



Stichting
Kennisontwikkeling
Kennisoverdracht
Bodem



Combinatie van bodemenergie en saneren in Apeldoorn

Inventarisatie en onderzoek naar risico's en oplossingen voor
combinatiesystemen van bodemenergie en bodemsanering –

Kanaalzone Apeldoorn

SKB project PT 8441

OPDRACHTGEVER: SKB (PT 8441)
 PROJECTTITEL: Combinatie van bodemenergie en saneren
 in Apeldoorn – Inventarisatie en onderzoek
 naar risico's en oplossingen voor
 combinatiesystemen van bodemenergie en
 bodemsanering – Kanaalzone Apeldoorn
 PROJECTCODE: 20083180/6548
 DOCUMENTTYPE: Eindrapportage
 PUBLICATIEDATUM: 24 december 2009
 PROJECTMANAGER: J.B.M. van Bommel (Bioclear)
 PROJECTLEIDERS: J.B.M. van Bommel (Bioclear), M.S.
 Godschalk (IF)
 AUTEURS: M.S. Godschalk (IF), T. Aalten (IF), H.
 Matthijssen (IF), E. Dijkhuis (Bioclear),
 J.B.M. van Bommel (Bioclear)

Bioclear b.v.*Postadres:*

Postbus 2262; 9704 CG Groningen

Bezoekadres:

Rozenburglaan 13C; 9727 DL Groningen

Telefoon: 050 571 84 55

Fax: 050 571 79 20

Email: info@bioclear.nlWebsite: www.bioclear.nl

Bioclear werkt met het INK kwaliteitssysteem (Instituut Nederlandse Kwaliteit), een managementmodel, dat is afgeleid van het Europese EFQM Excellence model.

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

© Bioclear b.v.

Bioclear adviseert bedrijven, overheden en dienstverlenende organisaties op het terrein van de milieutechnologie.

Op opdrachten aan Bioclear zijn van toepassing de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan Bioclear, zoals gedeponeerd bij de Kamer van Koophandel te Groningen.

Inhoudsopgave

Hoofdstuk 1	Inleiding	1
	1.1 Inleiding	2
	1.2 Ambities gemeente Apeldoorn	2
	1.3 Uitgevoerde werkzaamheden	3
	1.4 Uitwerking voor de Kanaalzone Apeldoorn	4
	1.5 Leeswijzer	5
Hoofdstuk 2	Locatie-informatie Kanaalzone	7
	2.1 Bodemopbouw	6
	2.2 Geohydrologie	7
	2.3 Redoxcondities	8
	2.4 Verontreinigingssituatie	9
	2.5 Potentie voor biologische afbraak	10
	2.6 Bodemenergiesysteem	11
Hoofdstuk 3	Modulair concept voor combinatiesystemen	15
	3.1 Modulair concept voor combinatiesystemen	16
Hoofdstuk 4	Risico's, beheersmaatregelen en afgeleide onderzoeksvragen	19
	4.1 Inleiding	20
	4.2 Risico's en beheersmaatregelen module 1	20
	4.2.1 Inleiding module 1	20
	4.2.2 Risico's module 1	20
	4.2.3 Bespreking van de risico's	21
	4.3 Risico's en beheersmaatregelen module 2	24
	4.3.1 Inleiding module 2	24
	4.3.2 Risico's module 2	24
	4.4 Risico's en beheersmaatregelen module 3	26
	4.4.1 Inleiding module 3	26
	4.4.2 Risico's module 3	26
	4.4.3 Bespreking van de risico's	27
	4.5 Risico's en beheersmaatregelen module 4a en 4b	28
	4.5.1 Inleiding module 4	28
	4.5.2 Risico's module 4	29
	4.6 Samenvatting belangrijkste risico's en definitie onderzoeksvragen	31
	4.6.1 Overzicht belangrijkste risico's	31
	4.6.2 Onderzoeksvragen	32
Hoofdstuk 5	Nadere uitwerking ontwerp	33

	5.1	Nadere uitwerking modules	34
	5.2	Detaillering module 1 freatisch onttrekken en infiltreren	34
	5.3	Detaillering module 2 ondiep onttrekken en infiltreren	37
	5.4	Detaillering module 3 zuiveren en lozen (peilbeheer)	40
	5.5	Detaillering module 4a geïntegreerd Bioscherm	42
	5.6	Detaillering module 4b separaat Bioscherm	46
	5.7	Concept voor de Kanaalzone Apeldoorn	50
Hoofdstuk 6		Tot slot	53
	6.1	Slot	54
Bijlage 1		Rapportage literatuuronderzoek	
Bijlage 2		Verslag RISMAN sessie	
Bijlage 3		Evaluatie RISMAN sessie	
Bijlage 4		Concepttekeningen (A3 formaat)	



Hoofdstuk 1

Inleiding



1.1 Inleiding

In de komende tijd staat de maatschappij voor de belangrijke uitdaging om de uitstoot van koolstofdioxide te beperken en zuiniger met energie om te gaan. Er zijn allerlei mogelijkheden om te werken aan verduurzaming van onze energievoorziening. Eén van de belangrijke mogelijkheden daarbij is het gebruik maken van bodemenergie. Omdat bodem een zeer goede isolator is kan grondwater in de zomer worden gebruikt voor koeling en in de winter voor verwarming. Daarnaast is het mogelijk om warmte of koude in de bodem op te slaan. Door deze mogelijkheden kan een grote reductie in het energieverbruik worden bereikt. Andere mogelijkheden voor benutting van bodemenergie zijn het onttrekken van grondwater van constante temperatuur, zodat dit 's zomers voor koeling en 's winters voor verwarming kan worden gebruikt.

Het grondwater in Nederland is echter niet altijd schoon. Vooral in het stedelijk gebied waar herontwikkeling plaatsvindt en waar kansen zijn voor duurzame energievoorziening is het grondwater vaak verontreinigd. In de huidige situatie werkt dit belemmerend voor de toepassing van bodemenergiesystemen. En dat is een gemiste kans. Voor deze grondwaterverontreinigingen ligt er sowieso een uitdaging: hoe gaan we ermee om? Hoe kunnen we werken aan gebiedsgerichte aanpak en beheer van deze verontreinigingen? Hoe kunnen we trendomkering realiseren? Het zijn de vragen die in veel gemeentes, met name de gemeentes op zandgronden actueel zijn.

De vraag ligt voor de hand in hoeverre combinatiesystemen voor benutting van bodemenergie en sanering van grondwater mogelijk zijn. Dat zou betekenen dat er twee problemen tegelijk kunnen worden aangepakt. Er zijn verschillende technische knelpunten en risico's die vooraf per project moeten worden beoordeeld en gewaardeerd. In dit SKB project zijn de technische knelpunten en risico's geïnventariseerd en uitgewerkt voor de Kanaalzone in Apeldoorn. Op basis van deze inventarisatie kunnen ook risico-beoordelingen voor andere locaties worden uitgevoerd, zodat kan worden vastgesteld of de technische knelpunten en risico's aanvaardbaar en beheersbaar zijn. Ook op andere locaties in Nederland wordt gewerkt aan combinatiesystemen, zoals op de locatie Strijp-S (het sanergy concept, zie www.sanergy.nl), de locatie Utrecht Stationsgebied en ook op de locatie Hoenderparkweg (eveneens in Apeldoorn).

1.2 Ambities gemeente Apeldoorn

Apeldoorn energieneutraal 2020

De gemeente Apeldoorn heeft een ambitieus energie- en klimaatbeleid gericht op met name de beperking van het energiegebruik en grootschalige toepassing van duurzame energie. Dit beleid wordt mede gestalte gegeven door het opstellen en uitvoeren van een BANS-klimaatprogramma. Daarmee draagt Apeldoorn bij aan de gewenste vermindering van vooral de uitstoot van het klimaatbeïnvloedende broeikasgas CO₂.

Apeldoorn streeft daarbij voor de korte termijn naar een DE-doelstelling van 10% in 2008 als tussendoelstelling op weg naar energieneutraliteit in 2020. Om deze doelstellingen te bereiken zijn diverse energieopties in beeld. Bodemenergie heeft een belangrijk aandeel binnen dit scala.

Gebiedsgerichte saneringsaanpak Apeldoorn

Naast de energiedoelstelling wil de gemeente Apeldoorn een gebiedsgerichte aanpak stimuleren om tot sanering van de verontreinigingen te komen. In de volgende documenten staat deze aanpak verder uitgewerkt:

- Gebiedsgericht grondwaterbeheer, Gemeente Apeldoorn, 2008;
- Notitie Bodemenergiemodule Apeldoorn. Gebiedsgerichte saneringsaanpak, 2008.

1.3 Uitgevoerde werkzaamheden

In dit SKB project is een inventarisatie uitgevoerd naar de technische risico's en knelpunten van combinatiesystemen. We hebben dat gedaan aan de hand van de situatie aan de Kanaalzone te Apeldoorn. Bij de herontwikkeling van de Kanaalzone in Apeldoorn wordt toepassing van duurzame energie actief gestimuleerd. Bodemenergie is daarbij één van de geschikte mogelijkheden. Toepassing van bodemenergie biedt tegelijkertijd een kans om aanwezige grondwaterverontreiniging te saneren. Duurzame energievoorzieningen werken zodoende niet belemmerend, maar bieden juist mogelijkheden voor de aanpak van verontreinigingen in de gemeente Apeldoorn. Aangezien de Kanaalzone grootschalig wordt herontwikkeld gaat de gedachte uit naar een gebiedsgerichte aanpak met betrekking tot energieopslag en bodemsanering. In het SKB project zijn de risico's geïnterviewd door middel van een literatuuronderzoek en telefonische interviews. Dit heeft een overzicht opgeleverd van allerlei technische risico's die zich voor kunnen doen bij combinatiesystemen. Dit overzicht is ook relevant bij de ontwikkeling van combinatiesystemen voor andere locaties in Nederland.

Vervolgens is aan de hand van dit risico-overzicht een beoordeling van de risico's uitgevoerd met behulp van een RISMAN sessie. Daarbij hebben experts uit verschillende werkvelden de risico's voor de situatie Kanaalzone te Apeldoorn systematisch beoordeeld. Op deze sessie is zowel gesproken over de concepten die kansrijk zijn voor de combinatie van bodemenergie en sanering, als over de specifieke technische risico's die zich voor kunnen doen bij de uitvoering van deze concepten. Uit de sessie is naar voren gekomen dat een flexibel, modulair concept het meeste kans heeft om succesvol te kunnen worden toegepast. In dit modulaire concept komen verschillende doelstellingen bij elkaar:

- gebruik van bodemenergie;
- bovengronds herbenutten van grondwater;
- saneren van grondwaterverontreiniging.

In deze eindrapportage wordt dit modulaire concept op hoofdlijnen gepresenteerd. De risico's en technische knelpunten die zich bij de toepassing van het modulaire concept voor kunnen doen zijn vervolgens aan de hand van de situatie Kanaalzone Apeldoorn per module uitgewerkt. Daarbij is ingegaan op de wijze waarop deze risico's kunnen worden beheerst en welke monitoring daarbij nodig is. Tenslotte is dit samengevoegd tot een eerste ontwerp van een pilotinstallatie voor een locatie aan de Kanaalzone te Apeldoorn.

De werkwijze die gevolgd is bij dit project is ook van belang voor andere eindgebruikers en kan generiek worden toegepast op verschillende situaties. Door al in een vroeg stadium na te denken over potentiële concepten en de bijbehorende risico's en beheersmaatregelen, kunnen zinvolle concepten voor combinatiesystemen worden ontwikkeld. Het overzicht van risico's dat in dit project is ontwikkeld kan dienen als een checklist bij andere situaties. Het modulaire concept kan voor andere locaties dienen als startpunt voor het ontwikkelen van een bruikbaar combinatiesysteem. Door toepassing van de RISMAN methode voor het evalueren van risico's en het vaststellen van beheersmaatregelen kan op een gestructureerde wijze worden gewerkt aan de ontwikkeling van combinatiesystemen in allerlei situaties. In deze rapportage is aangegeven op welke manier dit kan worden aangepakt, op basis van de ervaringen die in het project zijn opgedaan. Op deze manier verwachten we, dat de toepassing van combinatiesystemen voor bodemenergie en grondwatersanering een stap dichterbij is gekomen.

1.4 Uitwerking voor de Kanaalzone Apeldoorn

Volgens het oorspronkelijke plan zou het voorontwerp van de pilotinstallatie gemaakt worden voor een concrete locatie in Apeldoorn (locatie Haven Centrum). Bij aanvullend onderzoek, uitgevoerd in de zomer van 2009, is echter vastgesteld dat op deze locatie relatief weinig verontreiniging aanwezig is in de diepere ondergrond. Hierdoor vervalt de mogelijkheid om het combinatiesysteem met verontreinigingen te kunnen testen. Daarom is in overleg met SKB en de Gemeente Apeldoorn besloten om het voorontwerp voor de pilotinstallatie te maken voor een nog niet nader gespecificeerde locatie aan de Kanaalzone te Apeldoorn. Ten behoeve van deze generiekere uitwerking zijn aannames gedaan voor de redoxcondities en de verontreinigingsgraad. Deze aannames zijn beschreven om de paragrafen 2.3 en 2.4.

Tijdens het project is gesproken over de doelstelling ten aanzien van de saneringsmaatregelen. Zo is het mogelijk om een systeem te ontwerpen met als doel zoveel mogelijk vracht te verwijderen. Ook is het denkbaar om een systeem te maken dat de verontreiniging beheerst. Voor de situatie in Apeldoorn is duidelijk dat we willen werken aan trendomkering in het gehele gebied. Dit betekent dat geen strikte saneringsdoelstellingen in de zin van bijvoorbeeld te behalen concentratieniveaus op een bepaalde termijn worden gehanteerd. Wel is ervoor gekozen om een systeem te ontwerpen dat werkt aan daadwerkelijke verwijdering van VOCl, waarbij de intensiteit van deze maatregelen gevarieerd kan worden, zodat de saneringsinspanning gevarieerd kan worden van zeer beperkt tot zeer intensief.

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is de situatie aan de Kanaalzone te Apeldoorn nader toegelicht. Vervolgens is in hoofdstuk 3 het modulaire concept voor combinatiesystemen op hoofdlijnen weergegeven. De risico's en beheersmaatregelen zijn daarna in hoofdstuk 4 per module nader uitgewerkt. In hoofdstuk 5 is het ontwerp van de afzonderlijke modules voor de Kanaalzone te Apeldoorn met de bijbehorende monitoring weergegeven. In hoofdstuk 6 (slotbeschouwing) zijn de leerpunten en aanbevelingen voor toepassing op andere locaties weergegeven.



Hoofdstuk 2

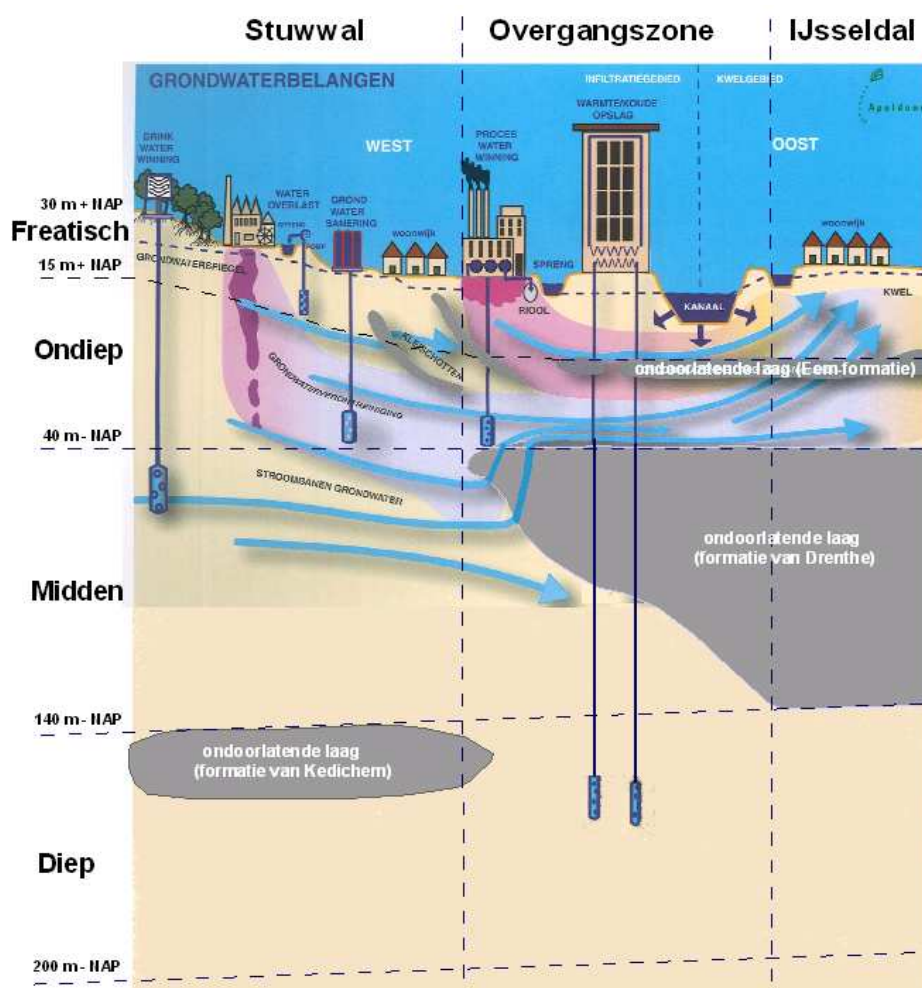
Locatie-informatie Kanaalzone



2.1 Bodemopbouw

Apeldoorn bevindt zich geologisch gezien op een bijzondere locatie. Het westen van Apeldoorn ligt op de gestuwde formaties van de Veluwe. Het oosten van Apeldoorn behoort tot het IJsseldal. Figuur 1 geeft de globale, schematische opbouw van de Apeldoornse ondergrond weer. Het Kanaalzonegebied bevindt zich in het westelijk gedeelte van de Overgangszone. Uit figuur 1 blijkt dat in Apeldoorn globaal drie watervoerende lagen aanwezig zijn:

- Het freatisch pakket;
- Het ondiep pakket;
- Het gecombineerd midden/diep pakket.



Figuur 1. Geohydrologische schematisatie ondergrond Apeldoorn, west-oostprofiel (Naar: Werken aan Water - Apeldoorns Waterplan, Gemeente Apeldoorn)

Het freatisch pakket bestaat uit matig fijn tot zeer grof zand. De dikte van het freatische pakket bedraagt circa 15 m.

Het ondiepe pakket wordt van het freatisch pakket gescheiden door de weerstandslaag van de Eem-formatie. In het noordelijke gedeelte van het Kanaalzonegebied is deze scheidende laag afwezig. Het freatisch en ondiep pakket vormen hier één watervoerende laag. Het ondiepe pakket bestaat overwegend uit matig tot zeer grove zanden en heeft een dikte van circa 30 m. Daar waar het freatisch pakket en ondiep pakket één pakket vormen is de dikte circa 55 m. Op de pilotlocatie Haven-Centrum is niet met zekerheid vast te stellen dat de Eemformatie als aaneengesloten scheidende laag aanwezig is. Wel wordt bij drie sonderingen verspreid over Haven-Centrum tussen 15 en 20 m-mv weerstand aangetroffen.

Het gecombineerd midden/diep pakket wordt van het ondiepe pakket gescheiden door de weerstandslaag van de formatie van Drenthe. De dikte van deze scheidende laag in het Kanaalzonegebied varieert. Als gevolg hiervan varieert de diepte ligging (en hiermee ook de dikte) van het midden/diep pakket. In het meest zuidelijk gelegen gedeelte van het Kanaalzonegebied ontbreekt de formatie van Drenthe en vormen het ondiepe pakket en gecombineerde midden/diep pakket één geheel. Op de pilot locatie Haven-Centrum is de formatie van Drenthe naar verwachting wel aanwezig.

Het gecombineerd midden/diep pakket wordt in deze studie buiten beschouwing gelaten. De combinatie van saneren en bodemenergie vindt plaats in het freatisch en ondiep pakket.

De term freatisch wordt in dit rapport gebruikt gebruikt voor het grondwater boven de Eemklei (tot ca 20 m-mv), de term ondiep wordt gebruikt voor het grondwater beneden de Eemklei, maar boven de formatie van Drenthe.

2.2 Geohydrologie

Zowel GMN+ (Grondwatermodelstudie Oost-Veluwe, Iwaco 1992), de geohydrologische beschrijving van de provincie Gelderland als de Grondwaterkaart van Nederland geven aan dat de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket in oostelijke tot noordoostelijke richting afneemt met ongeveer 3 m per km. Volgens GMN+ geldt dit ook voor het stijghoogteverloop in het freatisch watervoerend pakket.

Hieruit kan worden afgeleid dat de grondwaterstroming naar het oostnoordoosten gericht is met een stroomsnelheid van ongeveer 50 m/jaar in het freatisch watervoerend pakket en ongeveer 180 m/jaar in het eerste watervoerende pakket. Deze stromingsrichting wordt bevestigd door de richting van de verspreiding van de grondwaterverontreiniging in het freatisch watervoerend pakket.

2.3 Redoxcondities

De redoxcondities zijn van invloed op het functioneren van het bodemenergiesysteem en de toepasbaarheid van biologische afbraak als saneringsaanpak voor de aanwezige grondwaterverontreinigingen.

De redoxomstandigheden in het freatische en ondiepe grondwater zijn als matig gereduceerd (licht anaeroob) ingeschat en zijn overwegend ijzerreducerend, mogelijk plaatselijk sulfaatreducerend tot methanogeen. Dit hangt onder meer samen met de aan- of afwezigheid van een bodemverontreiniging (minerale olie en/of vluchtige aromaten (VAK)). Het freatische grondwater is over het algemeen wat minder gereduceerd dan het ondiepe grondwater.

In boorbeschrijvingen van de locatie Haven-Centrum en omgeving wordt in het ondiepe grondwaterpakket zowel grijs als geel bodemmateriaal genoemd. Deze kleuren duiden op de aanwezigheid van zowel gereduceerd (grijs) als (sub)oxisch grondwater (geel). De ijzergehalten in het ondiepe grondwater variëren van relatief laag (0,27 mg/l) tot zeer hoog (46 mg/l). In het ondiepe grondwater is sprake van een verhoogd risico op het aantrekken van zowel gereduceerd als (sub)oxisch grondwater. Bij menging van deze waterstromen in de bronnen worden ijzerneslagen gevormd die bij retournering van het grondwater kunnen leiden tot putverstopping.

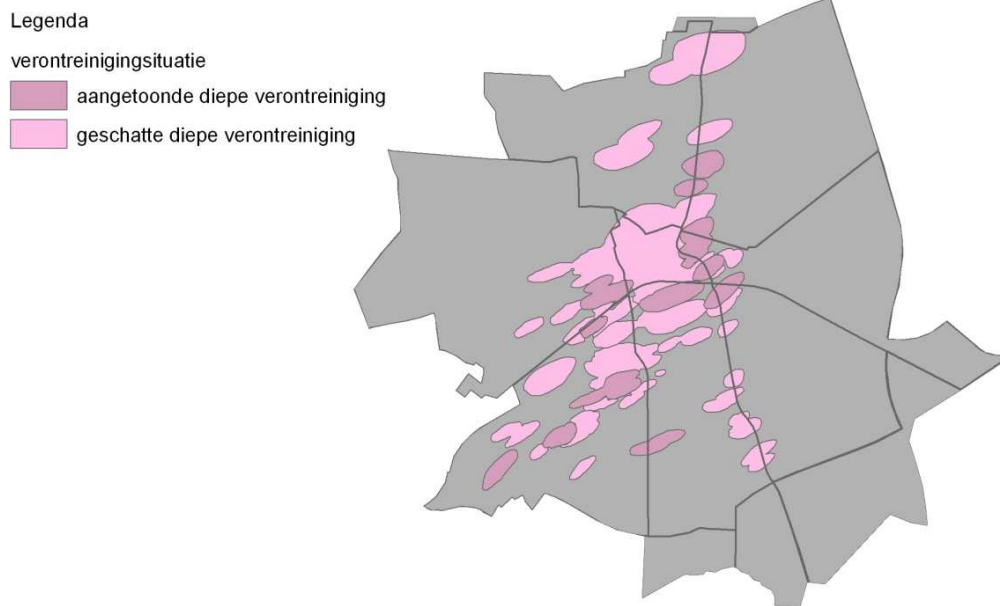
In onderstaande tabel zijn de aannames met betrekking tot de redoxcondities in het freatische en het ondiepe pakket, zoals gebruikt bij de uitwerking van de concepten voor de Kanaalzone in Apeldoorn weergegeven.

Tabel 1. Aannames van de redoxcondities ten behoeve van de uitwerking

	Freatisch grondwater	Ondiep grondwater
omschrijving redoxpotentiaal	oxisch tot suboxisch	suboxisch tot gereduceerd
zuurstof (mg/l)	< 1	< 0,1
nitraat (mg/l)	0 – 1	0 – 3
ijzer (mg/l)	0 – 10	0 – 50
sulfaat (mg/l)	25 - 100	25 – 100
methaan (mg/l)	< 1	< 1

2.4 Verontreinigingssituatie

De Gemeente heeft de belangrijkste aangetoonde en geschatte grondwaterverontreinigingen in Apeldoorn in beeld gebracht (zie figuur 2). Er ligt circa 75 miljoen m³ verontreinigd grondwater onder de kanaalzone en andere delen van de stad, vooral in het zuidwesten.



Figuur 2. Verontreinigingskaart (Naar: Werken aan water – Apeldoorns Waterplan, Gemeente Apeldoorn)

Om een beeld te verkrijgen van de in het grondwater aanwezige verontreinigingen en orde grootte van de aanwezige concentraties zijn in het onderzoek naar kansen voor bodemenergie en bodemsanering in de Kanaalzone te Apeldoorn (IF Technology, referentie 1/57443/BG, d.d. 30 juni 2008) de bodemonderzoeken van een negental locaties doorgenomen.

De meest voorkomende verontreinigingen in het grondwater zijn VOCI's (Vluchtige organische gechloroerde koolwaterstoffen). Dichlooretheen (DCE), een afbraakproduct van tetra- en trichlooretheen (PER en TRI) komt daarbij het meest voor. Het gaat veelal om omvangrijke VOCI pluimen met concentraties die liggen in de range van 10 tot 1.000 µg/l. Plaatselijk zijn indicaties voor de aanwezigheid puur product zones (zaklagen) die kunnen zorgen voor (langdurige) nalevering naar het grondwater.

Op de locatie Haven-Centrum en de naastgelegen Stadskade bevindt de VOCI verontreiniging zich met name in het freatische pakket en in minder mate in de top van het ondiepe grondwater onder de eemklei. Waarschijnlijk is dit beeld generiek voor de meeste locaties die gelegen zijn in de Kanaalzone.

Verontreinigingen met minerale olie, vluchtige aromaten (VAK), PAK en zware metalen komen minder vaak voor. Deze beperken zich veelal tot de bovengrond. Daar waar eveneens sprake is van een grondwaterverontreiniging met deze componenten gaat het veelal om vlekken met een relatief beperkte omvang en diepte.

Ten behoeve van de uitwerking van onderhavige studie is ervan uitgegaan dat het freatische en ondiepe grondwater verontreinigd is met VOCl en dat nevenverontreinigingen met VAK, minerale olie en zware metalen geen rol van betekenis spelen.

In onderstaande tabel zijn de aannames ten behoeve van de uitwerking voor de Kanaalzone samengevat.

Tabel 2. Aannames VOCl concentraties ten behoeve van de uitwerking

	Freatisch grondwater	Ondiep grondwater
VOCl-totaal	1.000 – 10.000 µg/l	100 - 1.000 µg/l

2.5 Potentie voor biologische afbraak

De potentie voor natuurlijke, dan wel gestimuleerde biologische afbraak van de in het Apeldoornse grondwater aanwezige VOCl verontreinigingen is ingeschat op basis van de redoxchemie van het grondwater ter plekke van de Kanaalzone (zie paragraaf 2.4). De redoxomstandigheden in beide watervoerende pakketten worden als matig gereduceerd (licht anaeroob) ingeschat en zijn overwegend ijzerreducerend, mogelijk plaatselijk sulfaatreducerend. Het freatische grondwater is over het algemeen wat minder sterk gereduceerd dan het ondiepe grondwater.

In de onderstaande tabel is de afbreekbaarheid van gechloroerde ethenen onder de huidige en gestimuleerde omstandigheden samengevat.

Tabel 3. Samenvatting afbreekbaarheid VOCl onder natuurlijke en gestimuleerde omstandigheden.

Component	Natuurlijke omstandigheden	Gestimuleerde omstandigheden
PER en TRI	+/-	+
DCE en VC	- (+)	+

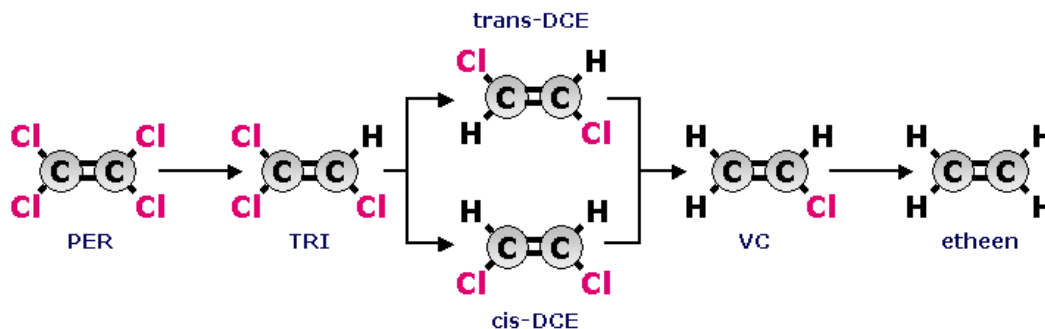
+ afbraak mogelijk

+/- gedeeltelijke (onvolledig) afbraak mogelijk, omstandigheden voor afbraak suboptimaal

- geen afbraak mogelijk

Het belangrijkste afbraakproces, waarbij PER wordt omgezet in achtereenvolgens TRI, DCE, VC en uiteindelijk het onschadelijke etheen en/of ethaan, is anaërobe reductieve dechlorering. Dit proces is weergegeven in figuur 3. Voor dit proces moet het grondwater sterk gereduceerd zijn, omstandigheden die zich kenmerken door onder andere de afwezigheid van sulfaat. Onder de huidige matig gereduceerde omstandigheden stagneert de afbraak van PER bij DCE. Dit verklaart waarom DCE de pluimbepalende component is. Dit proces kan worden gestimuleerd door het toedienen van een koolstofbron.

Uit onderzoek op de locatie Haven-Centrum is gebleken dat er tevens een specifiek VOCl afbrekende bacteriepopulatie moet worden toegediend (bioaugmentatie). Deze specifieke bacteriepopulatie ontbreekt van nature in zowel het freatische als ondiepe grondwater. Waarschijnlijk is dit beeld generiek voor de meeste locaties die gelegen zijn in de kanaalzone.



Figuur 3. Afbraakroute PER via het reductieve dechloreringsproces

Er is echter nog een ander afbraakproces mogelijk: anaerobe mineralisatie. Bij dit proces worden DCE en VC onder matig gereduceerde omstandigheden omgezet in het onschadelijke koolstofdioxide. PER en TRI zijn met dit proces niet afbreekbaar. De afbraakroute is echter nog niet geheel opgehelderd en het proces is moeilijk aan te tonen en meestal erg langzaam.

Ten behoeve van de uitwerking van onderhavige studie is ervan uitgegaan dat:

- Natuurlijke afbraak van de pluimbepalende component DCE treedt niet op;
- De afbraak van DCE (en overige VOCl componenten) kan worden gestimuleerd door het toedienen van een koolstofbron en specifiek VOCl afbrekende bacteriën.

2.6 Bodemenergiesysteem

In Apeldoorn zijn het freatische en ondiepe watervoerende pakket goed doorlatend. Het grondwater heeft in met name het ondiepe watervoerende pakket een hoge stromingssnelheid (ca 150 m/jaar). Hierdoor is het opslaan van energie (warm en koud grondwater) in de bodem, met de bedoeling dit later weer op te pompen en te gebruiken, niet mogelijk. De variant van bodemenergie die in dit rapport wordt toegepast is een recirculatiesysteem. Met de onttrekkingsbronnen wordt grondwater uit de bodem onttrokken. Met de natuurlijke temperatuur van het grondwater kan koude worden geleverd voor koeling in de zomersituatie. Tevens kan, in combinatie met een warmtepomp, de natuurlijke grondwatertemperatuur worden gebruikt voor warmtelevering in de wintersituatie. Het grondwater wordt in de bodem geretourneerd maar zal niet opnieuw gebruikt worden.

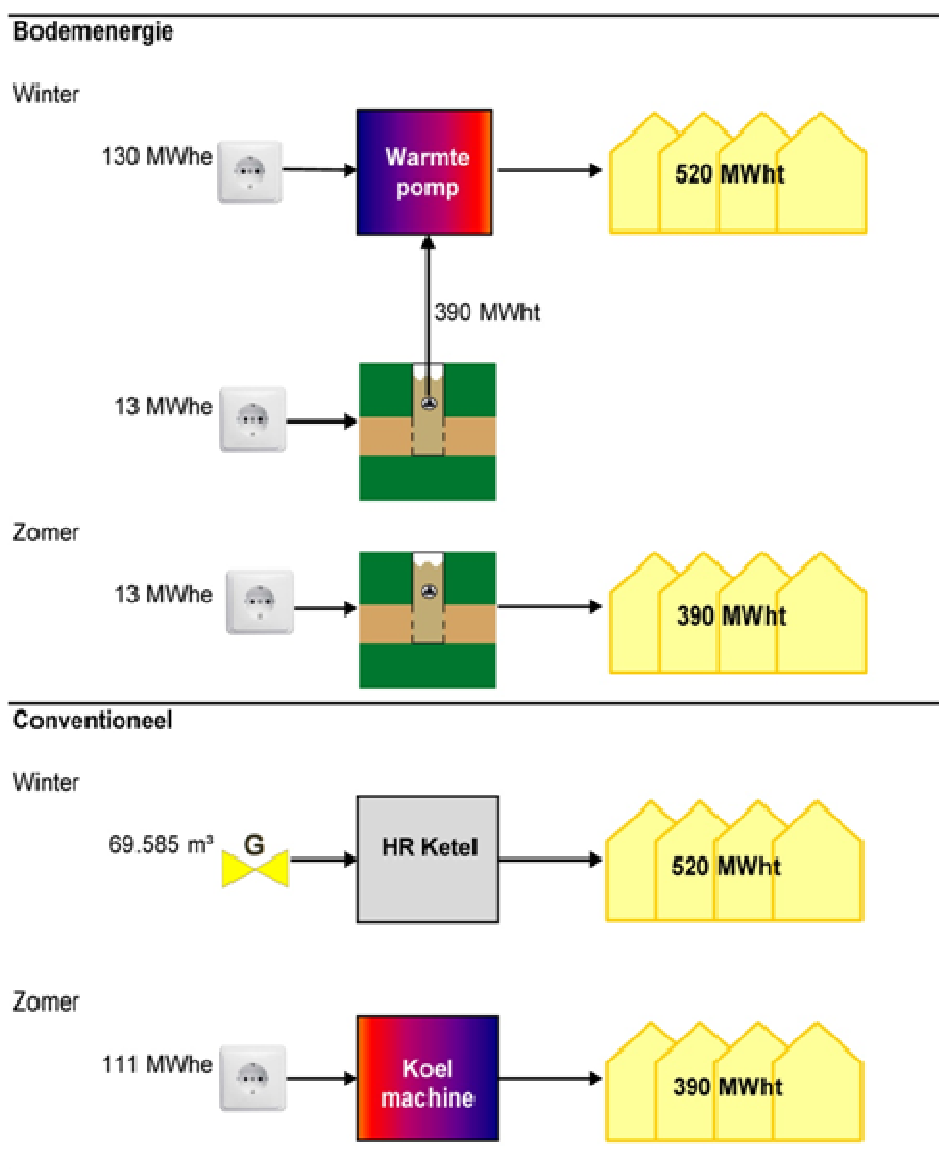
Het bodemenergiesysteem heeft als primair doel een energiebesparing tot stand te brengen bij de klimatisering van gebouwen. Het bodemenergiesysteem zoals wordt besproken in dit rapport heeft op dit moment nog geen concreet gebouwssysteem waaraan gekoppeld wordt.

Om toch een indicatie te geven van de energieprestatie van het bodemenergiesysteem, wordt de potentiële energiebesparing van het bodemenergiesysteem van 70 m³/uur hieronder besproken.

Voor het bepalen van de maximale energiebesparing en de maximale CO₂-emissiereductie wordt de warmte- en koudelevering met een bodemenergiesysteem in combinatie met warmtepompen vergeleken met een conventionele installatie voor koeling en verwarming. Conventionele koeling en verwarming bestaat uit koelmachines (airconditioning) voor de koeling en een HR-ketel voor de verwarming.

Het beoogde bodemenergiesysteem van 70 m³/uur kan in de zomer potentieel 390 MWh koude leveren vanuit de bodem en in de winter 390 MWh warmte. Per jaar kan de bodem dus een energiebijdrage leveren van 780 MWh. Om deze energie nuttig in te zetten dient in de winter warmte geleverd te worden in combinatie met een warmtepomp. Deze warmtepomp heeft een 130 MWh elektrische energie nodig om 390 MWh om te zetten in 520 MWh nuttige warmte voor het verwarmen van het gebouw (zie figuur 4). Koelen in de zomer gebeurt direct vanuit het bodemenergiesysteem, zonder tussenkomst van warmtepomp. Om dezelfde hoeveelheid warmte en koude te leveren door middel van conventioneel koelen en verwarmen, is in figuur 4 ook het energieverbruik bij deze variant weergegeven.

Figuur 4. Energieverbruik bij bodemenergie en conventioneel koelen en verwarmen



Tabel 4 geeft een overzicht van het verbruik van elektriciteit en aardgas en de bijbehorende uitstoot van CO₂. Het verbruik van elektriciteit is omgerekend naar de hoeveelheid aardgas die nodig is voor de elektriciteitsopwekking. Hierdoor kan het totale primaire aardgasverbruik worden bepaald en de totale energiebesparing worden berekend.

Tabel 4. Energieverbruik en emissie bodemenergie versus conventionele koelen en verwarmen

	bodemenergie	conventioneel	besparing	besparing %
aardgas [m ³]	0 m ³	69.585	69.585	100
elektriciteit [MWh]	156	111	-45	128
totaal uitgedrukt in aardgasequivalenten [m ³]	42.819	100.170	57.351	57
CO ₂ [ton]	88	187	99	53

Samengevat bedraagt de potentiële energiebesparing van het bodemenergiesysteem 57% ten opzichte van conventioneel koelen en verwarmen. Deze energiebesparing resulteert in een jaarlijkse CO₂-emissiereductie 99 ton (53%).



Hoofdstuk 3

Modulair concept voor
combinatiesystemen



3.1 Modulair concept voor combinatiesystemen

Naar aanleiding van de RISMAN sessie, uitgevoerd op 31 maart 2009 (zie bijlage 2), is vastgesteld dat een modulaire opbouw van combinatiesystemen het meest zinvol is. Voor nieuwe locaties waarvoor een combinatiesysteem ontworpen moet worden, kan uit deze modules een oplossing worden samengesteld. Daarbij hoeven niet alle modules gebruikt te worden. Op basis van de locatiespecifieke omstandigheden kunnen de benodigde modules worden geselecteerd.

De modules gaan uit van een integrale benadering van waterbeheer. Voor de Kanaalzone in de gemeente Apeldoorn betekent dit dat het combinatiesysteem wordt ingezet voor drie verschillende doelen:

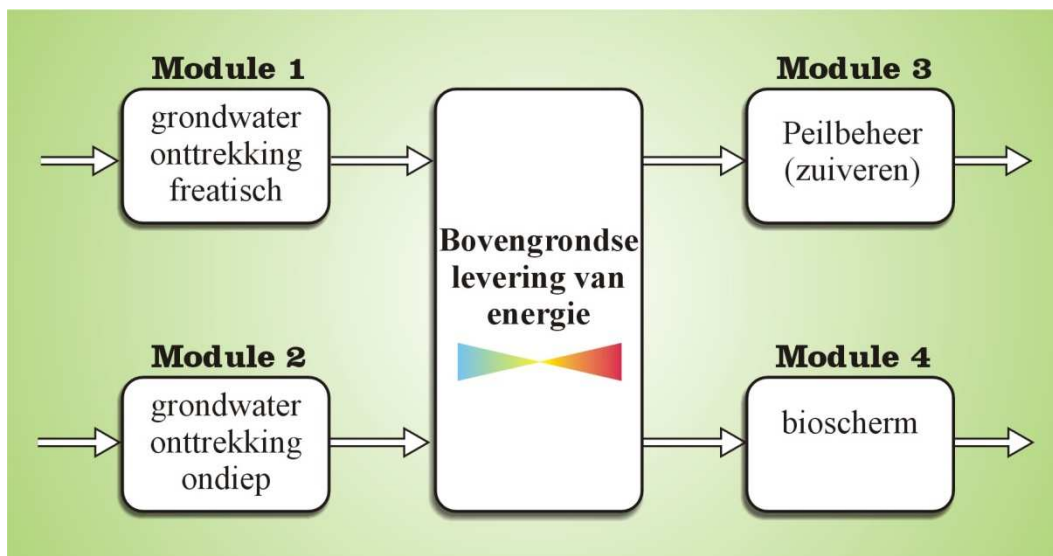
- Energiebenutting van de ondergrond**, met als achterliggend doel: een bijdrage leveren aan het bereiken van CO₂ doelstellingen;
- Positief beïnvloeden van de grondwaterverontreiniging**, namelijk binnen het gebiedsgerichte beheer werken aan trendomkering als gevolg van het sanerend effect van het combinatiesysteem;
- Peilbeheer** in het Apeldoorns kanaal en eventueel benutting van het water voor beekherstel.

Deze drie doelen komen bij elkaar in het combinatiesysteem. De eerste twee doelen zullen in de meeste andere stedelijke situaties in Nederland op vergelijkbare wijze gesteld kunnen worden. Het derde doel (peilbeheer van oppervlaktewater) zal niet overal gerealiseerd kunnen worden of benodigd zijn. Wel kan het overtollige water in andere situaties wellicht zinvol benut worden en als zodanig kan hergebruik van grondwater meerwaarde opleveren. Te denken valt dan bijvoorbeeld aan hergebruik ten behoeve van industrie (koel- of spoelwater), doorspoeling of doorstroming van grachtsystemen, benutting ten behoeve van natte natuur en dergelijke.

Het concept voor combinatiesystemen bestaat uit de volgende vier modules:

- Module 1.** Freatisch onttrekken en infiltreren
- Module 2.** Ondiep onttrekken en infiltreren
- Module 3.** Peilbeheer of herbenutting van grondwater
- Module 4.** Bioscherm

Dit concept is weergegeven in figuur 5.



Figuur 5. Modules van het concept voor combinatiesystemen

Hieronder volgt een beknopte toelichting per module.

Toelichting module 1. Freatisch onttrekken en infiltreren

Ten behoeve van een optimale werking van een bodemenergie systeem ligt freatisch onttrekken van grondwater niet voor de hand. Dit omdat bij freatische pakketten de mogelijkheid om grotere debieten te onttrekken beperkt is en omdat het aantrekken van de redoxgrens zich bij freatisch onttrekken gemakkelijk kan voordoen. Anderzijds is het vanuit de maximalisatie van het saneringseffect wel gewenst om ondiep te onttrekken, aangezien over het algemeen de meeste verontreinigingsvracht zich in het freatisch pakket bevindt. Met andere woorden: freatisch onttrekken is vanuit de energiedoelstelling niet gewenst, maar wel voor het bereiken van een sanerend effect. Vanwege de risico's voor de langdurige en stabiele onttrekking van grondwater voor WKO dient de energieleverantie niet van module 1 afhankelijk te zijn. Dit betekent dat module 1 voor wat betreft het te onttrekken debiet klein gehouden moet worden ten opzichte van module 2. Het water uit module 1 wordt wel gebruikt voor energieleverantie, maar heeft vanwege het lage(re) debiet een kleine bijdrage aan de energieopbrengst van het systeem. Module 1 heeft daarentegen wel een grote(re) bijdrage in het sanerend effect van het combinatiesysteem.

Toelichting module 2. Ondiep onttrekken en infiltreren

Ten behoeve van een robuuste en betrouwbare levering van energie is het gewenst om te onttrekken uit diepe(re) watervoerende lagen, omdat die strikt anaeroob zijn en meer constant van samenstelling. In de situatie van Apeldoorn betekent dit in ieder geval dat onttrokken moet worden in de lagen onder de Eemklei (op ca 20 m-mv) in het ondiepe pakket. In Apeldoorn is het ondiepe watervoerende pakket goed doorlatend en heeft het grondwater van nature een hoge stromingsnelheid (ca 150 m/jaar), waardoor het opslaan van energie (warm en koud grondwater) in de bodem, met de bedoeling dit later weer op te pompen en te gebruiken, niet mogelijk is. De variant die in dit rapport wordt toegepast is in principe een recirculatiesysteem. Met de onttrekkingsbronnen wordt grondwater uit de bodem onttrokken. Met de natuurlijke temperatuur van het grondwater kan koude worden geleverd voor koeling in de zomersituatie.

Tevens kan, in combinatie met een warmtepomp, de natuurlijke grondwatertemperatuur worden gebruikt voor warmtelevering in de wintersituatie.

Het afgekoelde warme of koude water wordt in de bodem geïnfiltrerd en zal niet opnieuw gebruikt worden. Door toepassing van meerdere warmtewisselaars wordt voorkomen dat verschillende waterkwaliteiten met elkaar vermengen, waardoor neerslagen kunnen ontstaan die een negatieve werking op het systeem hebben. De ondiepe onttrekking heeft dus vooral als doel de energieleverantie op robuuste en betrouwbare wijze mogelijk te maken. Daarnaast wordt de verontreiniging die zich in dit onttrokken grondwater bevindt verwijderd middels de module 4.

Toelichting module 3. Peilbeheer of herbenutting na aanvullende zuivering

Grondwater dat overtollig is na energiebenutting (bovengronds bodemenergie systeem) wordt in module 4 bovengronds herbenut. Afhankelijk van de plaatselijke situatie en de vraag naar water kan het water voor verschillende doeleinden worden gebruikt. In de Apeldoornse situatie kan het water gebruikt worden voor peilbeheer in het Apeldoorns kanaal (waar een watertekort is) en mogelijk ook voor herstel van beken en strengen. Voordat het water voor deze toepassingen kan worden gebruikt wordt het door aanvullende zuivering ontdaan van VOCI verontreinigingen en indien nodig van ijzer.

Toelichting module 4. Bioscherm

In module 4 wordt met VOCI verontreinigd grondwater in de bodem geherinfiltrerd en voorzien van koolstofbron en eventueel ook dechlorerende biomassa, waardoor de afbraak van de verontreiniging in de bodem wordt gestimuleerd. De verwijdering van de verontreiniging vindt daarmee dus in de bodem plaats, op basis van reductieve dechlorering. De herinfiltratie vindt bij voorkeur plaats op dezelfde diepte als waarop het water onttrokken is. Dit om redoxeffecten bij herinfiltratie zoveel mogelijk te voorkomen. De dosering van koolstofbron kan op verschillende manieren plaatsvinden, te weten in de infiltratiestroom zelf of in afzonderlijke doseerfilters in het veld, welke dicht bij de infiltratieputten worden geplaatst. Hierdoor wordt biologische activiteit in het infiltratiefilter en op de boorgatwand voorkomen, waardoor de infiltratieput naar verwachting langer in stand kan worden gehouden.

In hoofdstuk 4 en 5 is dit modulaire concept nader uitgewerkt voor de Kanaalzone in Apeldoorn.



Hoofdstuk 4

Risico's, beheersmaatregelen en
afgeleide onderzoeksvragen



4.1 Inleiding

In hoofdstuk 3 is de modulaire opbouw van het combinatiesysteem voor de Kanaalzone in de gemeente Apeldoorn beschreven. Dit combinatiesysteem wordt ingezet voor energiebenutting van de ondergrond, saneren van de grondwaterverontreiniging en peilbeheer.

Het concept voor combinatiesystemen bestaat uit de volgende vier modules:

Module 1. Grondwateronttrekking ondiep;

Module 2. Grondwateronttrekking diep;

Module 3. Peilbeheer of herbenutting van grondwater;

Module 4. Bioscherm.

In paragraaf 4.2 tot en met 4.5 worden per module de risico's en mogelijkheden om deze risico's te beheersen besproken. Daarbij is gebruik gemaakt van de uitkomsten van de RISMAN sessie (zie bijlage 2). In paragraaf 5.6 zijn de belangrijkste risico's samengevat en zijn onderzoeksvragen geformuleerd die de basis vormen voor de in hoofdstuk 5 uitgewerkte pilot.

4.2 Risico's en beheersmaatregelen module 1

4.2.1 Inleiding module 1

Module 1 gaat uit van een systeem waarin net boven de Eemklei grondwater wordt onttrokken. Het onttrokken water wordt, na benutting van de energie, geïnfiltreerd in de bodem middels twee infiltratiebronnen.

Voor de onttrekking wordt er van uitgegaan dat het grondwater aeroob tot matig gereduceerd is (zie paragraaf 2.3).

4.2.2 Risico's module 1

De belangrijkste risico's bij de toepassing van module 1, zoals in de Risman sessie is beoordeeld zijn weergegeven in tabel 5. De nummering van de risico's komt overeen met die van het totale risico-overzicht (bijlage 1).

Tabel 5. Belangrijkste risico's behorend bij module 1

Risico's
Risico's onttrekkingszijde
1A. Bronverstopping door biologisch versnelde ijzer oxidatie (bij lage zuurstof spanning) vaak met slijmvorming
1B. Bronverstopping door neerslag van ijzer(II)(hydr-)oxiden of ijzercarbonaten (bij infiltratie is dit een groter risico dan bij onttrekken)
1C. Als gevolg van het onttrekken kunnen in de bodem versnelde redoxreacties plaatsvinden, met name ijzerreductie en / of sulfaatreductie. Dit leidt tot een toename van het ijzergehalte en / of het sulfide gehalte en vergroot de kans op verstopping van het onttrekkingsfilter
1D. Als gevolg van het onttrekken kan menging plaatsvinden van waterstromen met verschillende chemische kwaliteit (o.a., pH, hardheid, temperatuur, druk). Hierdoor kunnen neerslagen worden gevormd (bijvoorbeeld Calcium- of Magnesiumcarbonaat)
Risico' bovengronds
2D. Biologisch gevormde ijzeroxides / slijmvorming bij lage zuurstof spanning
2E. Fouling door neerslag van ijzer (II)(hydr-)oxiden
Risico' infiltratiezijde
3C. Biologisch gevormde ijzeroxides / slijmvorming (<i>Gallionella</i> sp. of <i>Leptothrix</i> sp.)
3H. Neerslag van ijzer(II)(hydr-)oxiden door menging van ijzer- en mangaanhoudend water met nitraat- en /of zuurstofhoudend water een significant risico

4.2.3 Bespreking van de risico's

Risico 1A. Bronverstopping door biologisch versnelde ijzer oxidatie, vaak met slijmvorming

Dit risico doet zich vooral voor in situaties waarin zuurstof- of nitraatrijk grondwater wordt gemengd met (ijzerrijk) anaeroob en meer gereduceerd grondwater. In de freatische watervoerende laag boven de Eemklei komt deze situatie voor omdat verontreinigd grondwater vaak meer gereduceerd is dan het niet verontreinigde grondwater.

De menging vindt plaats in de onttrekkingsput. De verstopping vindt dan met name plaats op de ingang (zeefje) van de onderwaterpomp, in de pomp zelf en kan ook verderop (bovengronds) nog aangroei van biomassa (slijmvorming) geven.

De oorzaak van het probleem zijn micro-organismen uit de groepen *Leptothrix* en *Gallionella*. Deze micro-organismen kunnen gereduceerd ijzer (Fe(II)) dat zich in opgeloste vorm in het meer gereduceerde grondwater bevindt, bij lage zuurstofspanningen (in de range van 0,1 – 1,0 mg/l) oxideren tot ijzer (III). Deze bacteriën maken exopolymeren aan, waardoor ze zich kunnen hechten op plaatsen waar veel water langs stroomt. De exopolymeren vormen samen met de vlokken driewaardig ijzer (roest) een hardnekkige slijmlaag met een diep oranje kleur (zie de foto in figuur 6).



Figuur 6. Foto van biologisch gevormde ijzeroxide slijmafzetting op een kaarsenfilter

De slijmafzetting leidt er toe dat de onderwaterpompen teruglopen in opbrengst en op een gegeven moment schoongemaakt moeten worden. Dat kan al binnen enkele maanden het geval zijn.

Risico 1B. Bronverstopping door neerslag van ijzer(II)(hydr-)oxiden of ijzercarbonaten

Dit risico gaat uit van de fysisch-chemische neerslag van ijzeroxides en/of ijzercarbonaten. In die situatie waarin ijzeroxides gevormd kunnen worden (menging van anaeroob ijzerrijk water met licht zuurstofhoudend water) zal risico 1A een veel groter probleem vormen. De kans dat vorming van ijzercarbonaten in de onttrekkingsput zal leiden tot problemen (teruglopen van het debiet, putverstopping, etc.) wordt minder groot geacht.

Bij module 1 is de kans dat dit risico zich voordoet aanwezig omdat de redox omstandigheden in het freatische pakket erg wisselend zijn.

Risico 1C. Door onttrekking verhoogde dynamiek neemt kans op bronverstopping toe.

Dit risico gaat uit van een grotere dynamiek in de bodem als gevolg van de onttrekking. Hierdoor worden biologische reductiereacties versneld. Binnen het invloedsgebied van onttrekking neemt de stroomsnelheid van het grondwater toe. Hierdoor komen er per tijdseenheid voor bacteriën die gehecht zijn aan de bodemdeeltjes meer voedingsstoffen langs dan in de natuurlijke situatie. Dit leidt tot een verhoogde biologische activiteit. Dit kan in extreme situaties leiden tot verstopping van de bodem en een afname van de doorlatendheid.

Bij module 1 is de kans dat dit risico zich voordoet in of bij het onttrekkingsfilter erg klein. Met name omdat de onttrekkingsdebieten in de freatische laag klein zijn (max. 5m³/h).

Risico 1D. Verstopping door carbonaatneerslagen

Dit risico gaat uit van de vorming van neerslagen door menging van grondwater van een verschillende chemische samenstelling (pH, redoxpotentiaal, hardheid). De vorming van neerslagen kan zowel in de put, op de pomp als bovengronds plaatsvinden. De oorzaak van risico 1D is vergelijkbaar met die van risico 1A en 1B, namelijk de menging van verschillende grondwaterkwaliteiten.

Risico 2D/E. Verstopping bovengronds systeem door ijzer(II)(hydr-)oxiden of biologisch gevormde ijzeroxides

Deze risico's kunnen zich voordoen als de genoemde risico's 1A en 1B optreden. Hierdoor kunnen onderdelen van het systeem (zoals leidingen, warmtewisselaars en (injectie) kleppen) vervuilen en mogelijk verstopten. Het systeem zal hierdoor mogelijk minder goed functioneren, na enige tijd kunnen componenten hierdoor beschadigen of defect raken. De kans dat een onttrekkings- of infiltratiebron zal verstopten is veel groter dan de kans op het uitvallen van componenten.

Risico 3C. Verstopping infiltratiebronnen door biologisch gevormde ijzeroxides/slijmvorming

Dit risico doet zich vooral voor wanneer uit de freatische watervoerende laag zuurstof- of nitraatrijk grondwater wordt gemengd met (ijzerrijk) anaeroob en meer gereduceerd grondwater.

De oorzaak van het probleem zijn dezelfde micro-organismen als beschreven in Risico 1A. De micro-organismen zullen meegevoerd worden tot in het leidingwerk van het systeem. Doordat in het zomerseizoen warmte wordt toegevoegd aan het infiltratiewater, zullen micro-organismen in dit seizoen nog beter groeien. De bacteriën maken exopolymeren aan, waardoor ze zich kunnen hechten aan het infiltratiefilter.

De menging van grondwater vindt plaats bij de onttrekking en de bacteriën worden meegetrokken in het leidingsysteem. Bij het infiltreren van het grondwater bestaat kans op verstopping van de infiltratiebronnen.

Risico 3H. Verstopping infiltratiebronnen met ijzer(II)(hydr-)oxiden door menging waterstromen.

Dit risico gaat uit van het feit, dat als gevolg van de onttrekking verschillende waterkwaliteiten worden gemengd. Zowel aeroob als anaeroob water zullen de infiltratiebronnen en het leidingsysteem bereiken.

Menging van aeroob en anaeroob water heeft als gevolg dat ijzer en zuurstof reageren tot ijzerhydroxiden in de vorm van ijzervlokken. Bij het infiltreren zorgen de ijzervlokken voor verstopping van de filterspleet.

Bij module 1 is de kans dat dit risico zich voordoet in het freatische filter zeker aanwezig vanwege de gemengde redoxomstandigheden van verontreinigd en niet verontreinigd grondwater.

4.3 Risico's en beheersmaatregelen module 2

4.3.1 Inleiding module 2

Module 2 gaat uit van een systeem waarin op verschillende dieptes onder de Eemklei grondwater kan worden onttrokken. Het onttrokken water wordt, na benutting van de energie, geïnfiltreerd in de bodem middels infiltratiebronnen. Daarbij vindt onttrekking en infiltratie op dezelfde dieptes plaats en vindt geen menging van deelstromen plaats.

4.3.2 Risico's module 2

De belangrijkste risico's bij de toepassing van module 2, zoals in de Risman sessie is beoordeeld, zijn weergegeven in tabel 6. De nummering van de risico's komt overeen met die van het totale risico-overzicht (bijlage 1). De risico's in module 2 komen in grote mate overeen met de risico's zoals beschreven in module 1. In de beschrijving wordt derhalve vaak verwezen naar module 1.

Tabel 6. Belangrijkste risico's behorend bij module 2

Risico's
Risico's onttrekkingszijde
1A. Bronverstopping door biologisch versnelde ijzer oxidatie (bij lage zuurstof spanning) vaak met slijmvorming
1B. Bronverstopping door neerslag van ijzer(II)(hydr-)oxiden of ijzercarbonaten (bij infiltratie is dit een groter risico dan bij onttrekken)
1C. Als gevolg van het onttrekken kunnen in de bodem versnelde redoxreacties plaatsvinden, met name ijzerreductie en / of sulfaatreductie. Dit leidt tot een toename van het ijzergehalte en / of het sulfide gehalte en vergroot de kans op verstopping van het onttrekkingsfilter
1D. Als gevolg van het onttrekken kan menging plaatsvinden van waterstromen met verschillende chemische kwaliteit (o.a., pH, hardheid, temperatuur, druk). Hierdoor kunnen neerslagen worden gevormd (bijvoorbeeld Calcium- of Magnesiumcarbonaat)
Risico's bovengronds
2D. Biologisch gevormde ijzeroxides / slijmvorming bij lage zuurstof spanning
2E. Fouling door neerslag van ijzer (II)(hydr-)oxiden
Risico's infiltratiezijde
3C. Biologisch gevormde ijzeroxides / slijmvorming (<i>Gallionella sp.</i> of <i>Leptothrix sp.</i>)
3H. Neerslag van ijzer(II)(hydr-)oxiden door menging van ijzer- en mangaanhoudend water met nitraat- en /of zuurstofhoudend water een significant risico

Risico 1A. Bronverstopping door biologisch versnelde ijzer oxidatie, vaak met slijmvorming

Dit risico doet zich vooral voor in situaties waarin uit een ondiepe watervoerende laag zuurstof- of nitraatrijk grondwater wordt gemengd met (ijzerrijk) anaeroob en meer gereduceerd grondwater. In de ondiepe watervoerende laag onder de Eemklei komt van nature een ruimtelijke variatie voor van zowel aerob als anaerobe waterkwaliteit.

Menging van de twee waterkwaliteiten kan leiden tot verstopping door biologische slijmvorming op de ingang (zeefje) van de onderwater pomp, in de pomp zelf in de warmtewisselaar, zoals reeds beschreven onder module 1.

Risico 1B. Bronverstopping door neerslag van ijzer(II)(hydr-)oxiden of ijzercarbonaten

Dit risico gaat uit van fysisch-chemische neerslag van ijzeroxides en/of ijzercarbonaten door menging van anaeroob ijzerrijk water met licht zuurstofhoudend water. Zoals reeds genoemd in module 1, zal risico 1A bij onttrekken een veel groter probleem vormen. De kans dat vorming van ijzercarbonaten rondom de onttrekkingsput zal leiden tot problemen (teruglopen van het debiet, putverstopping, etc.) wordt minder groot geacht.

Risico 1C. Door onttrekking verhoogde dynamiek neemt kans op bronverstopping toe

Risico 1C gaat uit van het feit, dat als gevolg van de onttrekking een grotere dynamiek in de bodem ontstaat, waardoor biologische reductiereacties versneld worden. Dit kan in extreme situaties leiden tot verstopping van de bodem en een afname van de doorlatendheid (zie ook module 1).

Bij module 2 is de kans dat dit risico zich voordoet kleiner dan bij module 1 omdat het ondiepe pakket minder voedingsstoffen bevat en daarmee minder bacteriologische activiteit heeft.

Risico 1D. Verstopping door carbonaatneerslagen

Dit risico gaat uit van de vorming van neerslagen door menging van grondwater van een verschillende chemische samenstelling (pH, redoxpotentiaal, hardheid). De vorming van neerslagen kan zowel in de put, op de pomp als bovengronds plaatsvinden. De oorzaak van risico 1D is vergelijkbaar met die van risico 1A en 1B, namelijk de menging van verschillende grondwaterkwaliteiten. In module 2 doet dit risico zich vooral voor in het ondiepere filters omdat hier suboxische omstandigheden voorkomen.

Risico 2D/E. Verstopping bovengronds systeem door ijzer(II)(hydr-)oxiden of biologisch gevormde ijzeroxides

Voor bespreking van deze risico's zie paragraaf 4.2.3.

Risico 3C. Verstopping infiltratiebronnen door biologisch gevormde ijzeroxides/slijmvorming

Risico 3C doet zich voor in situaties waarin uit een ondiepe watervoerende laag zuurstof- of nitraatrijk grondwater wordt gemengd met (ijzerrijk) anaeroob en meer gereduceerd grondwater. De oorzaak van het probleem is de slijmafzetting door micro-organismen zoals beschreven in Risico 1A. Menging van de waterkwaliteiten vindt plaats bij het onttrekken, de micro-organismen worden meegenomen in het leidingsysteem. Bij het infiltreren van het grondwater kunnen de bacteriën zich hechten aan het infiltratiefilter waar ze een verstoppende slijmlaag achterlaten.

Risico 3H. Verstopping infiltratiebronnen met ijzer(II)(hydr-)oxiden door menging waterstromen.

Dit risico gaat uit van het feit, dat als gevolg van de onttrekking verschillende waterkwaliteiten worden gemengd. Zowel aerob als anaerob water zal de infiltratiebronnen en het leidingsysteem bereiken. Menging van aerob en anaerob water heeft als gevolg dat ijzer en zuurstof reageren tot ijzerhydroxiden in de vorm van ijzervlokken (chemische reactie). Bij het infiltreren zorgen de ijzervlokken voor verstopping van de filterspleet.

Bij module 2 is de kans dat dit risico zich voordoet het grootst in de ondiepste filters vanwege de suboxische omstandigheden.

4.4 Risico's en beheersmaatregelen module 3

4.4.1 Inleiding module 3

Module 3 gaat uit van een systeem waarin net boven en net onder Eemklei grondwater wordt onttrokken. Dit water wordt, na benutting van de energie, aanvullend gezuiverd en gebruikt voor peilbeheer.

De aannames voor de redoxcondities en verontreinigingsgehalten zijn weergegeven in paragraaf 2.3 en 2.4.

4.4.2 Risico's module 3

De belangrijkste risico's bij de toepassing van module 3, zoals in de Risman sessie beoordeeld zijn weergegeven in tabel 7. De nummering van de risico's komt overeen met die van het totale risico-overzicht (bijlage 1). De risico's in module 3 komen in grote mate overeen met de risico's zoals beschreven in module 1 en 2. In de beschrijving wordt derhalve vaak verwezen naar deze modules.

Tabel 7. Belangrijkste risico's behorend bij module 3

Risico's
Risico onttrekkingszijde
Gelijk aan de risico's bij module 1 en 2, worden hier niet apart besproken
Risico bovengronds zuiveren / peilbeheer
2A. Te laag verwijderingsrendement van VOCI
2B. Hoog ijzergehalte van het grondwater, vorming ijzerslib
2C. Hoog rendement benodigd (grote stripper), ijzer neerslagen (fouling)
2D. Biologisch gevormde ijzeroxides/slijm bij lage zuurstof spanning (<i>Gallionella sp.</i> of <i>Leptothrix sp.</i>)
5B. Zeer grote capaciteit nodig voor bovengrondse zuiveringsinstallatie, voldoen aan specifieke eisen (temperatuur, ijzer, ecologie)

4.4.3 Bespreking van de risico's

Risico 2A. Te laag verwijderingsrendement VOCl van de bovengrondse zuivering

Dit risico kan zich vooral voordoen in situaties waarin gekozen wordt voor een alternatief (niet-conventioneel) zuiveringsconcept of in de gevallen waarin de conventionele zuivering is ondergedimensioneerd of niet goed wordt onderhouden).

Een alternatief zuiveringsconcept kan bestaan uit toepassing van beluchte (langzame) zandfiltratie, zoals bij drinkwater bereiding wordt toegepast. Bij zo'n stap kan in principe tegelijkertijd ontijzering en verwijdering van VOCl plaatsvinden, mits de VOCl bestaat uit de aerob afbreekbare componenten DCE en VC. Ervaring van drinkwaterbedrijven geeft aan dat lage concentraties VOCl in zo'n zandfilter inderdaad verdwijnen.

Uitgaande van een conventionele zuivering, bestaande uit zandfiltratie en een strippertoren, is risico 2A uitstekend beheersbaar. Een alternatief zuiveringsconcept zal eerst (op pilotschaal) nader onderzocht moeten worden.

Risico 2B. Vorming ijzerslib

Voor lozing op het oppervlaktewater dient het ijzergehalte te worden teruggebracht tot beneden de 5 mg/l. De techniek voor ontijzering (beluchte zandfiltratie) is een goed ontwikkelde, conventionele techniek. Bij een te lage pH kan het moeilijk zijn om de gewenste ontijzering te verkrijgen, dat is het geval als de pH van het onttrokken grondwater te laag is (beneden de 6). De ontijzering verloopt het beste bij een neutrale pH (pH van 7). Op de locatie Haven-centrum zijn pH-waarden gemeten die liggen in de range van 5,9 tot 6,9 (gemiddeld 6,2). De pH van het grondwater bevindt zich in de kanaalzone dus rond de kritische grens.

Als het ijzergehalte erg hoog is, dan wordt er veel ijzerslib gevormd. Op zichzelf is dit geen technisch onoverkomelijk probleem, maar het werkt wel kostenverhogend bij de toepassing van het concept.

Risico 2B is uitstekend beheersbaar, aangezien er technische oplossingen zijn voor de meest reële problemen (een te lage pH en een afvoer van ijzerslib). De technische oplossingen werken wel sterk kostenverhogend.

Risico 2C. Hoog rendement benodigd (grote stripper)

Naarmate de te behandelen waterstroom groter is, de VOCl concentratie hoger is en het ijzergehalte hoger is, zal een installatie met een grotere capaciteit moeten worden gebouwd. Dit is geen technisch knelpunt, maar werkt wel kostenverhogend bij toepassing van het concept.

Risico 2D. Verstopping bovengronds systeem door biologisch gevormde ijzeroxides

Risico 2D is de bovengrondse equivalent van risico 1A. Als in de onttrekkingsput menging plaatsvindt van ijzerrijk, anaeroob grondwater met licht zuurstofrijk grondwater, dan zullen ook bovengronds problemen kunnen optreden met de groei van ijzeroxiderende micro-organismen. Hierdoor kunnen kleppen en warmtewisselaars dichtgroeien (biofouling), wat hoge onderhoudskosten met zich meebrengt.

Als de waterstromen van verschillende redoxkwaliteit afzonderlijk worden onttrokken en beide gescheiden worden gehouden in het bovengrondse systeem (doordat beide stromen een aparte warmtewisselaar krijgen) dan kan dit probleem worden ondervangen. Voorafgaand aan de zuivering kunnen waterstromen wel worden gemengd, omdat in de zuivering het ijzerslib zal worden afgevangen. Bij module 3 wordt dit risico beheerst door de waterstromen afzonderlijk (niet gelijktijdig) te onttrekken.

Risico 5B. Grote capaciteit zuiveringsinstallatie, voldoen aan specifieke eisen

Het feit dat bij behandeling van grote waterstromen een grote capaciteit voor ontijzering en strippen benodigd is, is in feite geen technisch knelpunt. Wel kan het de praktische haalbaarheid van zo'n toepassing verkleinen als gevolg van de hoge kosten en het ruimtebeslag.

De eisen die gesteld zullen worden aan het water dat voor peilbeheer in de Kanaalzone wordt gebruikt, zijn nog niet definitief vastgesteld, maar zullen waarschijnlijk als volgt zijn:

- VOCl totaal: < 20 µg/l;
- IJzer < 5 mg/l en geen visuele roodkleuring;
- Temperatuur < 25 graden Celsius;
- Verwaarloosbare ecologische risico's.

De eisen aan de VOCl en IJzer concentratie zijn in principe technisch realiseerbaar (zie onder 2A en 2B). In de zomertijd zal het te lozen water een hogere temperatuur hebben dan het onttrokken water. De temperatuurstijging zal echter niet zo groot zijn, dat niet aan het criterium van 25 graden Celsius kan worden voldaan.

Voor wat betreft de ecologische risico's is het onduidelijk (onbekend) of die zich kunnen voordoen, maar het ligt niet voor de hand. Immers, de VOCl concentratie is teruggebracht tot ver onder de MTR (Maximaal Toelaatbaar Risico) waarden en het ijzergehalte is ook tot onder de toxiciteitsgrenzen teruggebracht. Er zou in theorie sprake kunnen zijn van nevenverontreinigingen; het is verstandig om dit voorafgaand aan de toepassing van het concept middels analyses (NEN pakket op andere verontreinigingen) uit te sluiten.

4.5 Risico's en beheersmaatregelen module 4a en 4b

4.5.1 Inleiding module 4

Module 4 gaat uit van een systeem waarin op verschillende dieptes onder de Eemklei grondwater wordt onttrokken. Dit water wordt, na benutting van de energie, geïnfilterd en gebruikt voor het creëren van een bioscherm. De module is opgesplitst in twee submodules. In module 4a wordt ten behoeve van het bioscherm de noodzakelijke koolstofbron rechtstreeks gedoseerd in het te infiltreren water. In module 4b vindt dosering van koolstofbron op separate putten plaats.

4.5.2 Risico's module 4

De belangrijkste risico's bij de toepassing van module 4a en 4b, zoals in de Risman sessie beoordeeld zijn weergegeven in tabel 8. De nummering van de risico's komt overeen met die van het totale risico-overzicht (bijlage 1).

Tabel 8. Belangrijkste risico's behorend bij module 4a en 4b

Risico's
Risico onttrekkingszijde
Gelijk aan de risico's bij module 2, worden hier niet apart besproken (zie paragraaf 4.2)
Risico infiltratie in het bioscherm
3E. Metaalsulfides op de filterspleet en boorgatwand en 3K. Biologische vorming van metaalsulfides in de bodem
3A. Biomassa groei ter plaatse (filterspleet en boorgatwand)
5C. Verkrijgen van voldoende menging van koolstofbron, biomassa en verontreiniging
5H. Ontbreken specifiek VOCl afbrekende bacteriën
5I. Onvoldoende reductie van de bodem
5J. Onvoldoende koolstofbron

Risico 3E en 3K. Verstopping door vorming metaalsulfide neerslagen.

De risico's 3E en 3K hebben elk hetzelfde proces (biologische sulfaatreductie) als achterliggende oorzaak. Biologische sulfaatreductie is een proces dat onder strikt anaerobe omstandigheden kan optreden, wanneer er in het grondwater geen zuurstof en nitraat aanwezig is. In het grondwater te Apeldoorn is sulfaat aanwezig, zodat sulfaatreductie kan optreden. Bij sulfaatreductie wordt waterstofsulfide (H_2S , HS^- of S^{2-} , afhankelijk van de pH) gevormd, dat direct neerslaat met tweewaardig ijzer, dat over het algemeen ook in anaeroob grondwater aanwezig is (Apeldoorn: 0,2 tot 50 mg/l). Deze ijzersulfide neerslagen zijn zeer slecht wateroplosbaar en kunnen als zodanig voor verstoppingsproblemen zorgen. De verstopping kan plaatsvinden in of bij de put (risico 3E) of in de bodem zelf (risico 3K).

Verstopping in of bij het filter (risico 3E) kan zeker verwacht worden wanneer de dosering van koolstofbron rechtstreeks in de hoofdstroom van het te infiltreren grondwater plaatsvindt (module 4a). De continue aanvoer van zowel koolstofbron, sulfaat als gereduceerd ijzer, in combinatie met anaerobe omstandigheden en de afwezigheid van zuurstof en nitraat, zorgt voor de ideale condities voor sulfaatreducerende micro-organismen. In de praktijk van het bodemsaneren blijkt, dat de infiltratieputten op den duur door ijzersulfide neerslagen, met name op de boorgatwand, gaan dichtgroeien. Dit proces kan vrij snel en exponentieel verlopen (enkele maanden). In de praktijk van de bodemsanering wordt het optreden van deze verstopping beperkt door het gebruik van een zure koolstofbron en door het slechts periodiek doseren van de koolstofbronoplossing. Toch kunnen deze maatregelen sulfaatreductie niet geheel voorkomen en gaan de putten op wat langere termijn (0,5 – 1 jaar) toch dichtzitten. Voor de bodemsanering is deze termijn lang genoeg; voor een bodemenergie systeem dat gedurende vele jaren stabiel moet draaien is het risico dat de putten op termijn dichtgroeien aanzienlijk.

Regeneratie van de putten met zuur en/of oxidatiemiddelen is mogelijk, maar na regeneratie is de putcapaciteit meestal niet op het ontwerpniveau. Vanwege dit risico is module 4b ontworpen, waarbij de koolstofbron niet in de hoofdstroom, maar in separate filters wordt gedoseerd. Hierdoor wordt verstopping van de hoofdinfiltratieput voorkomen en daarmee de bedrijfszekerheid van de energie leverantie veiliggesteld.

Risico 3A Verstopping door biomassa groei.

Naast het risico op vorming van metaalsulfide (risico's 3E en 3K) bestaat tegelijkertijd het risico op biomassa groei. De biomassa zelf kan ook verstopping van filterspleet en boorgatwand veroorzaken. Het gaat dan met name om bacteriesoorten die de mogelijkheid hebben om zich te hechten. Hechting vindt bij voorkeur plaats op die plaatsen waar de meeste voeding en de benodigde electronacceptoren (nitraat, sulfaat) per tijdseenheid langskomt. Dat zijn met name de plekken met een verhoogde stroomsnelheid, dus op de filterspleet en aan de boorgatwand. Hier kunnen zich hoge dichtheden van biomassa ontwikkelen, de zogenaamde biofilms. De combinatie van de biofilm en van de metaalneerslagen vormt samen het verstoppingsprobleem.

Biomassa groei kan verminderd worden door de koolstofbron niet continue te doseren en door een zure koolstofbron te gebruiken. Het risico wordt veel beter beheerst bij module 4b, waar de dosering niet in de hoofdstroom plaatsvindt, zodat de stabiliteit van de energie leverantie niet in gevaar komt. Risico 3A is sterk gelieerd en niet strikt te onderscheiden van risico 3E en 3K en de beheersmaatregelen zijn daarom vergelijkbaar.

Risico 5C. Onvoldoende menging

Het bioscherm kan pas goed functioneren als in de bodem voldoende menging van de koolstofbron, biomassa en verontreiniging plaatsvindt. Deze menging is goed gegarandeerd bij module 4a, omdat de menging al plaatsvindt voordat het grondwater de bodem ingaat. Bij module 4b wordt de koolstofbron en biomassa afzonderlijk van de hoofdstroom (met VOCl) gedoseerd, zodat de menging nog in de bodem moet plaats vinden. Voor een goede menging moeten debieten worden toegepast die hoog genoeg zijn om voldoende menging te verkrijgen met de verontreiniging in de hoofdstroom. Ook moeten de separate infiltratiefilters op niet te grote afstand van de centrale infiltratieput worden geplaatst. Risico 5C is bij module 4B dus vooral een zaak van goed ontwerpen op basis van geohydrologische modellering en kan met een goed ontwerp voldoende worden beheerst.

Risico 5H/5I/5J. Niet voldoen aan randvoorwaarden voor afbraak

Als er onvoldoende VOCl afbrekende bacteriën aanwezig zijn (risico 5H), onvoldoende reductie van de bodem optreedt (risico 5I) en/of onvoldoende koolstofbron aanwezig is (risico 5J) dan treedt er geen of slechts in beperkte mate afbraak van VOCl op. De risico's 5H, 5I en 5J kunnen door middel van een goed ontwerp, afdoende monitoring van de processen in de bodem en bijsturing goed beheerst worden. Er is in de bodemsaneringspraktijk inmiddels een ruime ervaring op deze punten opgedaan. Feit is, dat in de kanaalzone in Apeldoorn tot nu toe geen specifiek VOCl afbrekende micro-organismen zijn aangetroffen. Dit betekent, dat deze bij opstart van het bioscherm, zowel in module 4a als in module 4b moeten worden toegediend.

Dit kan door gebruik te maken van op het laboratorium of on-site (bioreactor) gekweekte micro-organismen. Deze dosering van biomassa is waarschijnlijk slechts eenmaal, bij aanvang, nodig.

De bodem dient voldoende gereduceerd te zijn om volledige anaerobe biologische afbraak van VOCl tot onschadelijke eindproducten (etheen en ethaan) mogelijk te maken. Dit betekent dat in het bioscherm sulfaatreducerende tot methanogene condities moeten heersen. Dit wordt tot stand gebracht door de toevoeging van voldoende goed afbreekbare koolstofbron. De benodigde hoeveelheid koolstofbron wordt berekend op basis van de hoeveelheid nitraat, sulfaat en VOCl in het onttrokken grondwater. Uit kosten oogpunt wordt gestreefd naar een zo laag mogelijke dosering. Door monitoring wordt gecontroleerd of de toegepaste dosering van koolstofbron afdoende is. Op deze manier zijn de risico's 5I en 5J goed te beheersen.

4.6 Samenvatting belangrijkste risico's en definitie onderzoeksvragen

4.6.1 Overzicht belangrijkste risico's

De belangrijkste risico's zijn:

- Verstopping van onttrekkingsbronnen en bovengronds systeem door biologisch versnelde ijzeroxidatie, vaak met slijmvorming, als gevolg van menging van ijzerrijk anaeroob grondwater met (sub)oxisch (aeroob tot nitraatreducerend) grondwater;
- Verstopping van infiltratiebronnen door fysisch-chemische neerslagen van ijzeroxiden en/of ijzercarbonaten;
- Verstopping van infiltratieputten door de vorming van ijzersulfideneerslagen in het geval koolstofbronnen aan het grondwater worden gedoseerd;
- Vermindering van de doorlatendheid van de bodem als gevolg van gestimuleerde bacteriegroei. Dit speelt met name indien dosering van koolstofbronnen plaatsvindt;
- Problematische ontijzering waardoor lozingseisen (< 5 mg/l ijzer) niet worden gehaald. De pH van het grondwater in de kanaalzone (gemiddeld 6,2) bevindt zich rond de kritische grens (6) waar beneden ontijzering moeilijk verloopt;
- Onvoldoende opmenging van verontreiniging, koolstofbron en VOCl afbrekende biomassa of dosering van te weinig koolstofbron waardoor het bioscherm niet goed functioneert.

4.6.2 Onderzoeksvragen

Op basis van bovenstaande risico's zijn de volgende onderzoeksvragen gedefinieerd:

Ten aanzien van de grondwateronttrekking (module 1 en 2):

- A) Is het mogelijk om freatisch verontreinigd grondwater over een lange periode (tientallen jaren) stabiel te onttrekken ?
- B) Is het mogelijk om ondiep verontreinigd grondwater (onder de Eemklei) met wisselende redoxcondities over een lange periode (tientallen jaren) stabiel te onttrekken ?
- C) Welke monitoringsstrategie, inclusief criteria voor bijsturing, moet worden gevolgd om stabiele onttrekking langdurig (tientallen jaren) mogelijk te maken ?

Ten aanzien van zuivering en peilbeheer (module 3):

- D) Is het mogelijk om verontreinigd grondwater met verschillende redoxcondities, dat is onttrokken net boven en onder de Eemklei, te zuiveren en daarna te lozen op het Apeldoorns kanaal?
- E) Is pH-bijstelling noodzakelijk om een voldoende snelle ontijzering te bewerkstelligen ?
- F) Is langzame (beluchte) zandfiltratie een (goedkoper) alternatief voor een conventionele zuivering op basis van zandfiltratie en een strippertoren ?

Ten aanzien van het bioscherm (module 4):

- G) Is het mogelijk om het verontreinigde grondwater, onder toevoeging van koolstofbron en specifiek VOCl afbrekende bacteriën, gedurende lange tijd stabiel te infiltreren ?
- H) Wat is op lange termijn de beste methode van dosering: in separate filters, of rechtstreeks in het infiltratiewater ?
- I) Is het daarbij mogelijk om zowel freatisch als ondiep, vanwege verschillen in redoxcondities en stroomsnelheden, voldoende menging en reductie van het grondwater over een lange periode van tientallen jaren te creëren ?
- J) Wat is de minimaal benodigde hoeveelheid koolstofbron waarbij nog anaerobe afbraak van VOCl plaatsvindt ?

Ten aanzien van de grondwaterinfiltratie (module 1, 2 en 4):

- K) Welke monitoringsstrategie, inclusief criteria voor bijsturing, moet worden gevolgd om stabiele onttrekking langdurig (tientallen jaren) mogelijk te maken ?

De pilotinstallatie dient flexibel te worden ontworpen, zodat de bovenstaande onderzoeksvragen kunnen worden beantwoord én tegelijkertijd de levering van energie niet in gevaar komt. De pilot dient daarnaast representatief te zijn voor de gehele Kanaalzone.



Hoofdstuk 5

Nadere uitwerking ontwerp



5.1 Nadere uitwerking modules

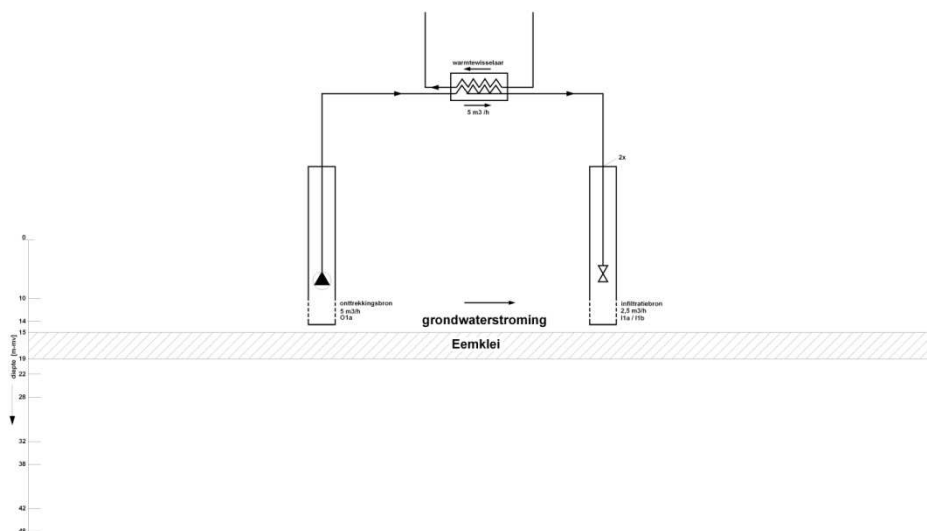
Algemeen

In dit hoofdstuk zijn de verschillende modules voor de pilot gedetailleerd beschreven en ontworpen. Het gedetailleerde principeschema van het totale systeem voor de pilotinstallatie aan de Kanaalzone te Apeldoorn wordt behandeld in paragraaf 5.7.

5.2 Detaillering module 1 freatisch onttrekken en infiltreren

Beschrijving module 1

De module bestaat uit één onttrekkingsbron en twee infiltratiebronnen die in het freatisch pakket worden geplaatst. Van nature is het grondwater op deze diepte aerob tot matig gereduceerd (zie paragraaf 2.5). Voor de pilot wordt er vanuit gegaan dat het grondwater verontreinigd is en dat hierdoor het water anaerob en meer gereduceerd is geworden. Door dit grondwater te onttrekken kan er uit de omgeving aerob water worden aangetrokken, waardoor de verschillende waterkwaliteiten worden gemengd. Na onttrekking van koude of warmte uit het grondwater, in de warmtewisselaar, wordt het water geïnfiltrerd in de bodem. Zie figuur 7 voor de principetekening van de module. Met deze module wordt antwoord gegeven op onderzoeksvragen A en C.



Figuur 7. Principetekening module 1 (deze figuur is in hoge kwaliteit weergegeven in bijlage 4a)

Het infiltreren van water dient met twee infiltratiebronnen te gebeuren. De reden hiervoor is dat er een risico op opbarsting is bij infiltratie in één infiltratiebron. Opbarsting kan plaatsvinden wanneer de injectiedruk te hoog wordt en het water onvoldoende in de bodem opgenomen kan worden. De hoge druk zal hierdoor een scheur in de bodem veroorzaken, waardoor het geïnfiltreerde water via deze scheur aan maaiveld komt. Berekend is dat bij toepassing van tenminste twee infiltratiebronnen het risico op opbarsting minimaal is. In de berekening is de bodemopbouw van de Kanaalzone als uitgangspunt gebruikt.

In het leidingwerk tussen de onttrekkingsbron en de infiltratiebron dienen aansluitingen opgenomen te worden, zodat het mogelijk is om een meeloopfilter te plaatsen. Een meeloopfilter is een met representatief zand gevuld filter, waar een klein deel van het onttrokken water doorheen wordt gepompt. Een dergelijk filter kan worden gebruikt om het verstoppingsproces te volgen/voorspellen, de aard van de verstopping eenvoudig vast te kunnen stellen en om eventuele regeneratiemiddelen te kunnen testen.

De onttrekkingsbronnen en infiltratiebronnen dienen minimaal 60 meter uit elkaar geplaatst te worden om te voorkomen dat de onttrekkingsbronnen het geïnfiltreerde water opnieuw onttrekken.

In tabel 9 zijn de belangrijkste kenmerken van de bronnen in de pilot opgenomen.

Tabel 9. Belangrijkste kenmerken onttrekkings- en infiltratiebronnen

	Onttrekkingsbron O1a	infiltratiebronnen I1a en I1b
debiet	5 m ³ /h	2,5 m ³ /h
boordiameter filter	400 mm	400 mm
filtertraject	10 – 14 m-mv	10 – 14 m-mv
filterlengte	4 m	4 m

Monitoring module 1

Bij oplevering van de module dient een uitgebreide 0-meting uitgevoerd te worden, waaraan de latere metingen getoetst dienen te worden. In onderstaande monitoringspunten is aangegeven waarvan een 0-meting uitgevoerd dient te worden.

Bij de onttrekkingsbron dient gemonitord te worden of er aantrekking van zuurstofrijk water plaatsvindt. Als gevolg hiervan kan er verstopping van de module plaatsvinden. De verschillende risico's zijn benoemd in paragraaf 3.2.3. Om te beoordelen of deze problemen optreden dienen de volgende zaken te worden gemonitord, gedurende het gebruik van de module:

- Waterkwaliteit analyseren van het onttrokken water, toetsing aan 0-meting (maandelijks);
- Monitoren capaciteit van de onttrekkingsbronnen (specifiek debiet), toetsing aan 0-meting (maandelijks);
- Monitoren capaciteit van de infiltratiebronnen, toetsing aan 0-meting (maandelijks);
- Metingen opvoerhoogte en debiet van de onderwaterpomp, toetsing aan 0-meting (continue meting);
- Drukval over de warmtewisselaar meten, toetsing aan 0-meting (continue meting);
- Drukval leidingen meten, toetsing aan 0-meting (continue meting);
- Functioneren injectieklep, druk en debiet, toetsing aan 0-meting (continue meting).

Om de waterkwaliteit van de onttrekkingsbron te monitoren dient een peilbuis geplaatst te worden ter hoogte van het filter. Door hieruit geregeld (maandelijks) watermonsters te nemen en te laten analyseren op ijzer, nitraat, mangaan, micro-organismen uit de groepen: *Leptothrix* en *Gallionella* kan geconcludeerd worden of er menging van oxidisch en gereduceerd water plaatsvindt.

Middels drukopnemers in de onttrekkings- en infiltratiebronnen kan de verlaging/verhoging worden gemeten. In combinatie met een debietmeter kan het specifiek debiet per bron worden bepaald en worden getoetst aan de 0-situatie. Een afname van het specifieke debiet duidt op verstopping van de bronnen.

De maximale opvoerhoogte van de onderwaterpomp dient gemonitord te worden. Hiervoor dient de nuldruk in het systeem bepaald te worden. Tevens dient het vermogen en het maximale debiet gemeten te worden. Het geteste dient aan de 0-meting getoetst te worden.

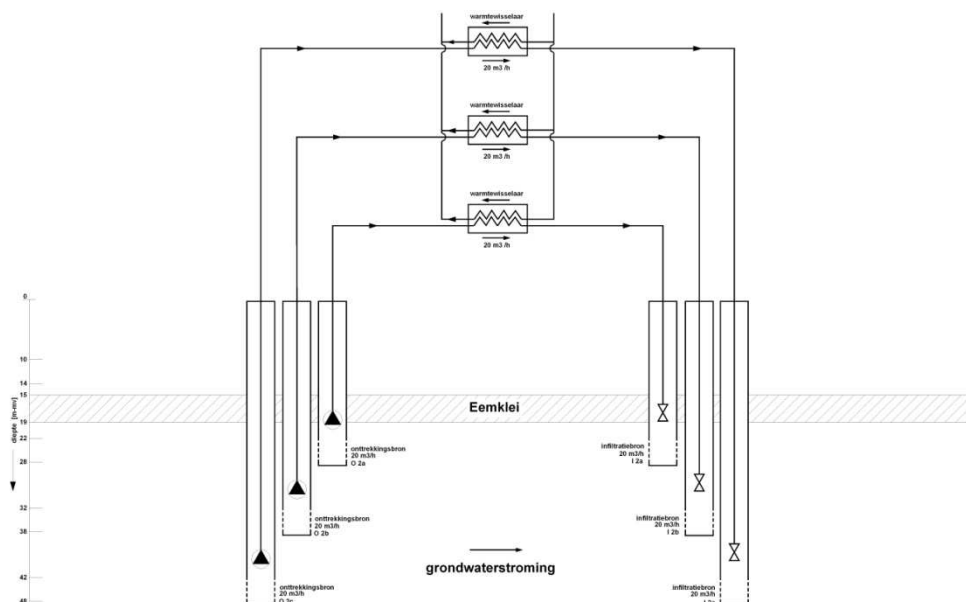
Net voor en net achter de warmtewisselaars dienen drukopnemers te worden geplaatst. Hiermee dient te worden gemonitord of het drukverschil over de warmtewisselaar bij eenzelfde debiet gelijk blijft. Een toename van de drukval over de warmte wisselaar duidt op een verstopping. De drukval dient aan de 0-meting getoetst te worden.

Het functioneren van de injectieklep dient gemonitord te worden, door bij verschillende debieten de druk voor de klep te meten. Hiermee kan worden gecontroleerd of de klep in staat is om de druk te handhaven. Wanneer zich verstoppend materiaal op de klep afzet zal deze minder goed regelen. Tevens dient bepaald te worden of de injectieklep geheel afsluit, wanneer de module uit staat. Het systeem dient op druk te blijven staan. De werking dient getoetst te worden aan de 0-situatie.

5.3 Detaillering module 2 ondiep onttrekken en infiltreren

Beschrijving Module 2

De module bestaat uit drie ondiepe bronnen welke op verschillende diepten onder de scheidende kleilaag worden aangebracht. Het ondiepe pakket kenmerkt zich door het voorkomen van suboxisch (zuurstof arm) en gereduceerd (zuurstofloos, ijzerrijk) water. De bronnen worden op verschillende diepten geplaatst waardoor, tijdens het onttrekken uit de bronnen bij gelijk debiet, het water in de bodem horizontaal toestroomt naar de bronnen. Zie figuur 8 voor de principetekening van de module. Deze module geeft antwoord op onderzoeksvragen B en C.



Figuur 8. Principetekening module 2 (deze figuur is in hoge kwaliteit weergegeven in bijlage 4b)

Doordat de bronnen op verschillende dieptes worden geplaatst wordt voorkomen dat de filters water van andere dieptes aantrekken. Menging van suboxisch water met gereduceerd water wordt hiermee naar verwachting geminimaliseerd. Als aan de onderzijde een kleilaag ontbreekt, dan zal filter O2c wel water van grotere diepte onttrekken, omdat er onder dit filter geen onttrekkingen plaatsvinden. Gezien de diepte van het filter wordt verwacht dat dit filter in gereduceerd grondwater staat. Aantrekking en menging van dieper gereduceerd grondwater zal dan niet leiden tot een ijzerneerslag, omdat er geen zuurstof wordt aangetrokken.

Belangrijk is dat bij bedrijfsvoering het water altijd gelijktijdig uit de drie bronnen wordt onttrokken. Het onttrokken water stroomt vervolgens door drie verschillende warmtewisselaars, waarmee koude en warmte aan een klimaatinstallatie van een gebouw kan worden geleverd. Het water wordt vervolgens weer op dezelfde diepte in de bodem geïnfiltreerd.

Wanneer het water van dezelfde kwaliteit is, en er geen menging van waterkwaliteiten heeft plaatsgevonden kunnen de infiltratiebronnen niet als gevolg van ijzernerslag verstopten. Tevens wordt de bedrijfszekerheid vergroot, omdat de warmte koude levering wordt verspreid over meerdere bronfilters en onderwaterpompen.

Als de infiltratiebronnen elk in een eigen boorgat worden geplaatst, dan kan worden overwogen om de filterstelling anders te kiezen dan die van de onttrekkingsbronnen. Langere infiltratiefilters kunnen voordelen bieden, omdat deze minder gevoelig zijn voor verstopping.

In het leidingwerk tussen elk van de onttrekkingsbronnen en de infiltratiebronnen dienen aansluitingen opgenomen te worden die het aansluiten van meeloopfilters mogelijk maken. Mocht blijken dat verstopping optreedt, dan kunnen deze meeloopfilters worden geïnstalleerd en gebruikt om de aard van de verstopping te kunnen onderzoeken.

De onttrekkingsbronnen en infiltratiebronnen dienen minimaal 110 meter uit elkaar geplaatst te worden om te voorkomen dat de onttrekkingsbronnen het geïnfiltreerde water opnieuw onttrekken.

In tabel 10 zijn de kenmerken van de bronnen in de pilot opgenomen.

Tabel 10. Kenmerken onttrekkings- en infiltratiebronnen

	bron O2a en I2a	Bron O2b en I2b	Bron O2c en I2c
debiet	20 m ³ /h	20 m ³ /h	20 m ³ /h
boordiameter filter	300 mm	300 mm	300 mm
filtertraject	22– 28 m-mv	32 – 38 m-mv	42 – 48 m-mv
filterlengte	6 m	6 m	6 m

Voor de onttrekkingsbronnen en de infiltratiebronnen geldt dat bij detaillering van de pilot overwogen kan worden om drie bronfilters in één boorgat te plaatsen, hetgeen mogelijk financiële voordelen oplevert.

Monitoring module 2

Bij oplevering van de module dient een uitgebreide 0-meting uitgevoerd te worden, waaraan de latere metingen getoetst dienen te worden. In onderstaande monitoringspunten is aangegeven waarvan een 0-meting uitgevoerd dient te worden.

Gemonitoord dient te worden of menging van oxisch en gereduceerd water plaatsvindt. De verschillende risico's bij deze module zijn benoemd in hoofdstuk 3.3.2. Om te beoordelen of deze problemen optreden dienen de volgende zaken te worden gemonitoord, gedurende het gebruik van de module:

- Waterkwaliteit analyseren van het onttrokken water, toetsing aan 0-meting;
- Monitoren capaciteit van de onttrekkingsbronnen (specifiek debiet), toetsing aan 0-meting;
- Monitoren capaciteit van de infiltratiebronnen, toetsing aan 0-meting;
- Metingen druk en debiet van de onderwaterpomp, toetsing aan 0-meting;
- Drukval over de warmtewisselaar meten, toetsing aan 0-meting;
- Drukval leidingen meten, toetsing aan 0-meting;
- Functioneren injectieklep, druk en debiet, toetsing aan 0-meting.

De waterkwaliteit kan worden gemonitoord door uit de onttrekkingsbron geregeld watermonsters te nemen en te laten analyseren op ijzer, nitraat, mangaan, micro-organismen uit de groepen: *Leptothrix* en *Gallionella*. Uit de analyseresultaten kan worden afgeleid of menging van oxisch en gereduceerd water plaatsvindt.

Middels drukopnemers in de onttrekkings en infiltratie bronnen kan de verlaging/verhoging worden gemeten. In combinatie met een debietmeter kan het specifiek debiet per bron worden bepaald en getoetst aan de 0-situatie. Een afname van het specifieke debiet duidt op verstopping van de bronnen.

De maximale opvoerhoogte van de onderwaterpomp dient gemonitoord te worden. Hiervoor dient de nuldruk in het systeem bepaald te worden. Tevens dient het vermogen en maximale debiet gemeten te worden. Het geteste dient aan de 0-meting getoetst te worden.

Net voor en net achter de warmtewisselaars dienen drukopnemers te worden geplaatst. Hiermee dient te worden gemonitoord of het drukverschil over de warmtewisselaar bij eenzelfde debiet gelijk blijft. Een toename van de drukval over de warmte wisselaar duidt op verstopping. De drukval dient aan de 0-meting getoetst te worden.

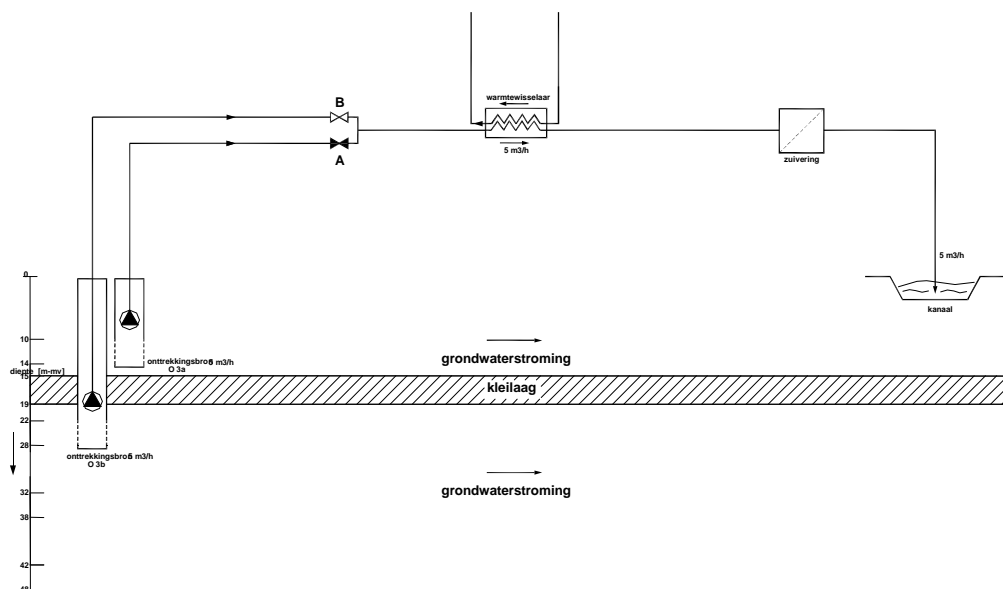
Het functioneren van de injectieklep dient gemonitoord te worden, door bij verschillende debieten de druk voor de klep te meten. Hiermee kan worden gecontroleerd of de klep in staat is om de druk te handhaven. Wanneer zich verstoppend materiaal op de klep afzet zal deze minder goed regelen. Tevens dient bepaald te worden of de injectieklep geheel afsluit, wanneer de module uit staat. Het systeem dient op druk te blijven staan. De werking dient getoetst te worden aan de 0-situatie.

5.4 Detaillering module 3 zuiveren en lozen (peilbeheer)

Beschrijving module 3

Module 3 gaat uit van freatisch of ondiep onttrekken en vervolgens zuiveren en lozen van het water op oppervlaktewater. De zuivering is alleen nodig als het water niet aan de kwaliteitseisen voor lozing op het oppervlaktewater voldoet. Onttrekkingsbron O3a is net boven de scheidende kleilaag gesitueerd. Dit filter is in het freatisch pakket geplaatst. Van nature is het grondwater op deze diepte aeroob en ijzerarm tot matig gereduceerd. Voor de pilot wordt er vanuit gegaan dat het grondwater verontreinigd is en dat hierdoor het water anaeroob en meer gereduceerd is geworden. Door dit grondwater te onttrekken kan er uit de omgeving aeroob water worden aangetrokken, waardoor de verschillende waterkwaliteiten worden gemengd. Omdat dit met name problemen oplevert bij infiltreren is in deze module gekozen voor lozen van het water. Hiermee kan tevens aan peilbeheer worden gedaan.

Het filter van onttrekkingsbron O 3b is net onder de kleilaag geplaatst en staat in het ondiepe pakket. Aangenomen wordt dat dit grondwater suboxisch is. Er kan een lage concentratie zuurstof in het water voorkomen. Tijdens onttrekking uit deze bron kan ook dieperliggend gereduceerd (ijzerhoudend) grondwater worden aangetrokken. Hierbij zal het water zich mengen met het suboxische water, waardoor een ijzerneslag kan plaatsvinden. Deze reactie zal naar verwachting geen nadelige invloed op de module hebben omdat het water (na zuivering) op het kanaal wordt geloosd. Herinfiltratie van het water in de bodem zou door de ijzerneslag sterk bemoeilijkt worden. In figuur 9 is het principe van de module weergegeven.



Figuur 9. Principe module 3 (deze figuur is in hoge kwaliteit weergegeven in bijlage 4c)

In onderstaande tabel 11 zijn de gegevens voor de pilot van de ontrekkingsbronnen opgenomen:

Tabel 11. Kenmerken bronnen in pilot, module 3

	Onttrekkingsbron O3a	Onttrekkingsbron O3b
debiet	5 m ³ /h	5 m ³ /h
boordiameter filter	400 mm	400 mm
filtertraject	9 – 14 m-mv	22 – 27 m-mv
filterlengte	5 m	5 m

Bij het nader uitwerken van de pilot kan overwogen worden om beide bronnen in één boorgat te plaatsen, hetgeen mogelijk financiële voordelen oplevert.

De zuivering bestaat uit een conventionele opstelling met beluchte zandfiltratie voor ontijzering, gevolgd door een strippertoren voor verwijdering van VOCl. De capaciteit is in de proefopstelling 5 m³/uur. De lozingseis van 5 mg/l aan ijzer kan met zo'n conventionele installatie worden behaald, mits de pH van het onttrokken grondwater niet te laag is. Als de pH lager dan 6 is, dan zal het nodig zijn om de pH bij te stellen middels loogdosering, wat de kosten voor de bedrijfsvoering verhoogt.

Het zandfilter wordt automatisch terugspoelbaar uitgevoerd. Het water dient in het zandfilter een verblijftijd te hebben van circa 15 minuten. Na verwijdering van het ijzer wordt het water via een stripper ontdaan van VOCl. De lozingseis voor VOCl is 20 µg/l (som VOCl). Deze eis is met een conventionele stripper in principe haalbaar. De grootte van de benodigde stripper hangt samen met de verwachte VOCl influent concentratie. In de kanaalzone te Apeldoorn kan een concentratie aan VOCl tot 1.000 µg/l worden verwacht.

Tabel 12. Kenmerken conventionele zuivering in pilot, module 3

Parameter	Waarde
debiet	5 m ³ /h
ontijzering	beluchte zandfiltratie, terugspoelbaar
verwijdering VOCl	strippertoren
influent	10 – 20 mg/l aan ijzer; tot 1.000 µg/l aan VOCl
effluent	< 5 mg/l aan ijzer; < 20 µg/l aan VOCl

Als alternatief voor de conventionele zuivering kan overwogen worden een innovatieve techniek toe te passen. Te denken valt dan bijvoorbeeld aan langzame zandfiltratie, zoals gebruikt in de drinkwaterbereiding. Bij langzame zandfiltratie wordt een veel langere verblijftijd in het zandfilter toegepast. Daardoor is het in theorie mogelijk dat niet alleen ontijzering, maar gelijktijdig ook aerobe biologische afbraak van CIS en VC plaatsvindt. Deze innovatieve techniek is te overwegen als er geen sprake meer is van hoger gechloroerde verbindingen (PER en TRI) en als de concentratie aan VOCl in het grondwater laag is.

Monitoring module 3

Bij onttrekkingsbron O3b dient gemonitord te worden of er menging van oxisch en gereduceerd water plaatsvindt. Hiervoor dienen de volgende zaken te worden gemonitord:

- Waterkwaliteit van het onttrokken water;
- Monitoren capaciteit van de bron (specifiek debiet) en toetsing aan 0-meting;
- Drukverschil over de warmtewisselaar meten, toetsing aan 0-meting.

De waterkwaliteit kan worden gemonitord door uit de onttrekkingsbron geregeld watermonsters te nemen en te laten analyseren op ijzer, nitraat, mangaan, micro-organismen uit de groepen: *Leptothrix* en *Gallionella*. Uit de analysesresultaten kan worden afgeleid of menging van oxisch en gereduceerd water plaatsvindt.

Middels een drukopnemer in de bron kan de verlaging worden gemeten, in combinatie met een debietmeter kan het specifiek debiet worden bepaald en worden getoetst aan de 0-situatie (situatie na ontwikkelen bron). Een afname van het specifieke debiet duidt op verstopping van de bronnen.

Net voor en net achter de warmtewisselaar dienen drukopnemers te worden geplaatst. Hiermee dient te worden gemonitord of het drukverschil over de warmtewisselaar bij eenzelfde debiet gelijk blijft. Een toename van de drukval over de warmte wisselaar duidt op verstopping.

De monitoring van het zuiveringssysteem bestaat uit:

- VOCl en IJzergehalte onttrokken grondwater;
- Zuurgraad (pH) van het onttrokken grondwater;
- Rendement van de installatie op VOCl en IJzer, zowel direct na het zandfilter als na de strippertoren.

Bij opstart van het systeem wordt deze monitoring wekelijks uitgevoerd, daarna tenminste maandelijks.

5.5 Detaillering module 4a geïntegreerd Bioscherm

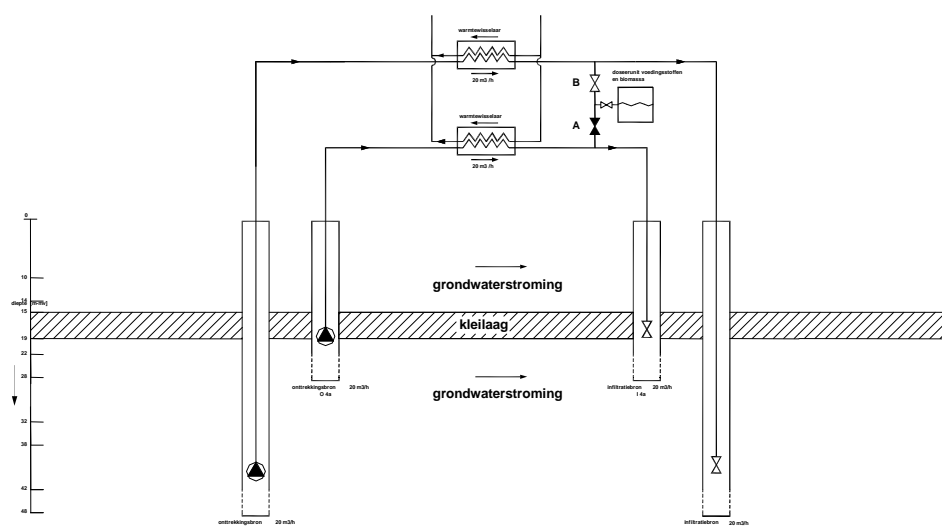
Beschrijving module 4a

Bij module 4a vindt dosering van koolstofbron en biomassa in de te infiltreren hoofdstroom plaats. Hierdoor is er kans op verstopping (met name de risico's 3A, 3E en 3K). Om deze risico's te vermijden is module 4b ontworpen. Echter, het is nog steeds zinvol om in een pilotsysteem na te gaan of dosering in de hoofdstroom daadwerkelijk tot de verwachte verstoppingsproblemen leidt. Daarom is ook module 4a uitgewerkt.

De module bestaat uit twee ondiepe bronnen welke op twee verschillende diepten onder de scheidende kleilaag worden aangebracht. Met onttrekkingsbron O4a kan suboxisch water worden onttrokken. Met onttrekkingsbron O4c kan gereduceerd water worden onttrokken. Bij deze twee waterkwaliteiten kan de werking van het bioscherm worden gemonitord.

De infiltratiebronnen I4a en I4b worden in principe op dezelfde diepte geplaatst als de bijbehorende onttrekkingsputten, zodat het onttrokken water op dezelfde diepte wordt geïnfiltreerd en geen menging van water met verschillende samenstelling plaatsvindt. Als beide infiltratiebronnen elk in een eigen boorgat worden geplaatst, dan kan worden overwogen om de filterstelling anders te kiezen dan die van de onttrekkingsbronnen. Langere infiltratiefilters kunnen voordelen bieden, omdat deze minder gevoelig zijn voor verstopping.

De onttrekkingsbronnen en infiltratiebronnen dienen minimaal 110 meter uit elkaar geplaatst te worden om te voorkomen dat de onttrekkingsbronnen het geïnfiltreerde water opnieuw onttrekken. Zie figuur 10 voor de principetekening van de module. Deze module geeft antwoord op de onderzoeksvragen D, E en F.



Figuur 10. principetekening module 4a (deze figuur is in hoge kwaliteit weergegeven in bijlage 4d)

In het leidingwerk tussen de doseerunit en de infiltratiebronnen dienen aansluitingen opgenomen te worden die het aansluiten van meeloopfilters mogelijk maken. Mocht blijken dat verstopping optreedt, dan kunnen deze meeloopfilters worden geïnstalleerd en gebruikt om de aard van de verstopping te kunnen onderzoeken.

In tabel 13 zijn de uitgangpunten van de bronnen in de pilot opgenomen.

Tabel 13. Kenmerken onttrekkings- en infiltratiebronnen module 4a

	bron O4a en I4a	bron O4b en I4b
debiet	20 m ³ /h	20 m ³ /h
boordiameter filter	300 mm	300 mm
filtertraject	22– 28 m-mv	32 – 38 m-mv
filterlengte	6 m	6 m

De dosering van koolstofbron en biomassa vind dus plaats in de hoofdstroom. Hiertoe wordt dagelijks pulsgewijze dosering toegepast. De dosering van dechlorerende biomassa (*Dehalococcoides sp.*) is nodig, aangezien deze bacterie benodigd is voor volledige reductieve dechlorering tot het onschadelijk etheen en ethaan. Op de locatie Haven Centrum te Apeldoorn kon dit organisme niet worden aangetoond (zie paragraaf 2.5). Deze dosering kan eenmalig bij opstart van het systeem plaatsvinden. Uitgaande van een totaal te be-enten bodemvolume van 50 bij 40 bij 20 meter en een dosering van $2 \cdot 10^3$ cellen per ml grondwater bedraagt het totaal aantal te doseren bacteriën tenminste $1,2 \cdot 10^{13}$ cellen *Dehalococcoides*. Dit kan worden toegevoegd door het tijdelijk plaatsen van een mobiel bioreactorsysteem. Bij een productie van $24 \text{ m}^3/\text{dag}$ met een dichtheid van $1 \cdot 10^4$ cellen/ml is dit reactorsysteem dan 50 dagen nodig. Als alternatief kan gekozen worden voor dosering van op het lab gekweekte biomassa. Bij een dichtheid van $1 \cdot 10^7$ cellen DHC per ml is dan 1.200 liter kweek benodigd.

De benodigde hoeveelheid koolstofbron hangt af van de concentratie electronacceptoren (nitraat, sulfaat en VOCl) in het te infiltreren grondwater. Als uitgangspunt voor de dimensionering van de pilotinstallatie is uitgegaan van de volgende gemiddelde samenstelling van het onttrokken grondwater:

- Nitraat: 0,5 mg/l;
- Sulfaat: 50 mg/l;
- Cis en VC: 1000 µg/l.

Voor volledige reductie van deze componenten is dan een TOC gehalte van 13 mg/l stoichiometrisch benodigd. Dit is de minimaal benodigde hoeveelheid. Bij een totaal debiet van $40 \text{ m}^3/\text{uur}$ betekent dit een koolstofbronverbruik van 12 kg TOC/dag. Als koolstofbron wordt een mengsel van Azijnzuur en Melkzuur met een TOC gehalte van 0,2 kg/L gebruikt. Van dit mengsel is 62 liter/dag benodigd.

Tabel 14. Kenmerken bioscherm in pilot, module 4a

Parameter	Waarde
debiet	40 m ³ /u
verwijdering VOCl	biologische reductieve dechlorering in de bodem
biomassa dosering	Bij opstart $1,2 \cdot 10^{13}$ cellen <i>Dehalococcoides sp.</i>
reductie van	Nitraat, sulfaat en VOCl (0,5 mg/l, 50mg/l en 1.000 µg/l VOCl)
koolstofbron	Minimaal 62 liter melkzuur/azijnzuur mengsel per dag
invloedsgebied	Ca. 40 bij 50 bij 20 meter (breedte * lengte * diepte)

De dosering van koolstofbron dient pulsgewijs plaats te vinden (bijvoorbeeld eenmaal per dag). De menging van koolstofbron en verontreinigd grondwater vind in de bodem plaats, gevolgd door de biologische reductie van nitraat, sulfaat en VOCl.

Monitoring module 4a

De monitoring van het bioscherm bestaat uit de volgende onderdelen:

- A. Monitoring van de kwaliteit van het infiltratiewater
- B. Monitoring van de kwaliteit van de biomassa
- C. Monitoring van de kwaliteit van de koolstofbron
- D. Monitoring van de putcapaciteit
- E. Monitoring van het grondwater in het bioscherm

Ad A.

De monitoring van het infiltratiewater bestaat uit on-line monitoring op de parameters Temperatuur, Redoxpotentiaal en Zuurstof. De monitoring op de Temperatuur is van belang voor het opstellen van een warmtebalans. De redoxpotentiaal is een belangrijke indicator voor de redoxconditie van het onttrokken grondwater en deze mag niet te hoog worden (niet hoger dan -100 mV). Het zuurstof gehalte dient laag te zijn (< 0,1 mg/l). Op deze on-line parameters kan continue sturing plaatsvinden.

Verder wordt het infiltratiewater regelmatig (circa eens per maand) gemonitord op nitraat, ijzer, sulfaat, methaan en VOCl. Deze parameters geven inzicht in de redoxconditie van het grondwater en op basis van deze gegevens kan de dosering van koolstofbron worden bijgesteld.

Daarnaast wordt het infiltratiewater maandelijks gemonitord op de aanwezigheid van zwevende delen. Zwevende delen mogen niet in het infiltratiewater aanwezig zijn. Aangezien er geen nauwkeurige methodes zijn voor de bepaling van zwevende stof wordt deze visueel uitgevoerd.

Tenslotte wordt het infiltratiewater maandelijks gemonitord op aanwezige biomassa (Dehalococcoides, totaal Eubacterien, totaal Archaea).

Door het hanteren van strikte criteria van de kwaliteit van het infiltratiewater kan de infiltratie zo lang als mogelijk in stand worden gehouden.

Ad B.

De kwaliteit van de eenmalig te doseren biomassa wordt vastgesteld middels qPCR analyses op Dehalococcoides sp.

Ad C.

De kwaliteit van de koolstofbron wordt vastgesteld door het TOC gehalte van de oplossing te bepalen. Daarnaast wordt gecontroleerd of de koolstofbron geheel vrij is van zwevende delen. Ook wordt regelmatig de pH van de oplossing gemeten. Deze dient een pH te hebben tussen de 3 en de 4.

Ad D.

Monitoring van de putcapaciteit vindt plaats door plaatsing van een diver in de filtergrindomstorting van de infiltratieput en plaatsing van een diver in de pompput zelf. Verder vindt monitoring van de stijghoogte in een monitoringsfilter in de bodem, op een afstand van circa 5 meter van de infiltratieput plaats. Door continue registratie van de druk middels deze drie divers kan in een vroeg stadium (beginnende) putverstopping worden gesignaleerd. Deze verstopping kan dan plaatsvinden op de filterspleten (druk in de put neemt toe), op de boorgatwand (druk in de put en in het meeloopfilter neemt toe) of in de bodem zelf. Als beginnende verstopping wordt gesignaleerd, dan dient direct een hypothese te worden gesteld over de oorzaak hiervan. Als die niet uit de reguliere monitoring is te achterhalen, dan worden aanvullende metingen op het infiltratiewater uitgevoerd. Als dit onvoldoende informatie oplevert, dan kan een onderzoek middels bovengrondse meeloopfilters worden gestart, waarin de verstopping kan worden gevolgd en de oorzaak kan worden vastgesteld. Daarnaast kan hierop ook de effectiviteit van eventuele toe te passen regeneratiemiddelen worden getest.

Ad E.

Monitoring van het grondwater in het bioscherm vindt maandelijks plaats op de parameters nitraat, ijzer, sulfaat, methaan (redoxparameters), VOCl, inclusief VC, etheen en ethaan (afbraakproducten), TOC (gehalte organisch stof) en qPCR op *Dehalococcoides* (aantal cellen/ml). Daarnaast worden bij bemonstering on-line analyses uitgevoerd op pH, zuurstof en redoxpotentiaal.

Met dit pakket aan analyses kan worden vastgesteld of de reductie van electronacceptoren (nitraat, sulfaat en VOCl) voldoende verloopt, of er voldoende TOC aanwezig is en of in het bioscherm inderdaad volledige dechlorering optreedt. Door strategische plaatsing van peilbuizen kan worden nagegaan hoe groot het invloedsgebied is van het bioscherm en of de bodem vlakdekkend wordt beïnvloed. Op grond van de resultaten kan de werking en status van het bioscherm worden vastgesteld en kunnen optimalisaties van de doseringen worden voorgesteld. Door tevens peilbuizen aan de bovenstroomse zijde van het bioscherm te plaatsen kan de redoxcondities in het bioscherm worden vergeleken met de condities van het instromende grondwater.

5.6 Detaillering module 4b separaat Bioscherm

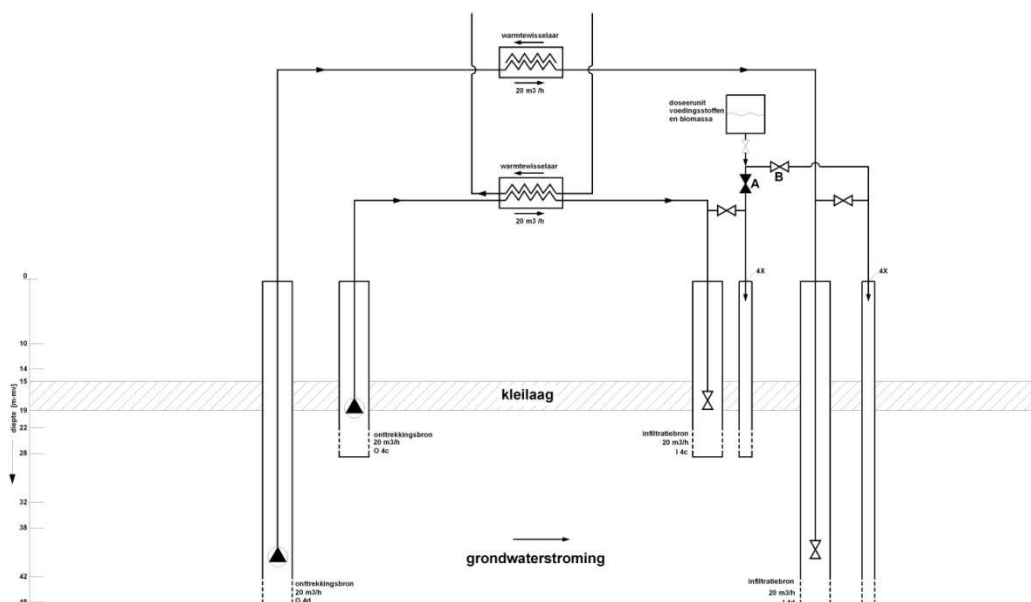
Bij module 4b vindt dosering van koolstofbron en biomassa niet in de te infiltreren hoofdstroom, maar in separate doseerfilters plaats. Hierdoor is de kans op verstopping (met name de risico's 3A, 3E en 3K) aanmerkelijk kleiner. Als toch verstopping optreedt, dan zal dit vooral plaatsvinden in de separate doseerfilters. Hoewel het functioneren van het bioscherm daaronder leidt, leidt dit niet tot stagnatie van de leverantie van energie, omdat infiltratie van de hoofdstroom gewoon door kan gaan.

De module bestaat uit twee ondiepe bronnen welke op twee verschillende diepten onder de scheidende kleilaag worden aangebracht. Met onttrekkingsbron O 4c kan suboxisch water worden onttrokken. Met onttrekkingsbron O 4d kan gereduceerd water worden onttrokken. Bij deze twee waterkwaliteiten kan de werking van het separate bioscherm worden gemonitord.

De infiltratiebronnen I4a en I4b worden op dezelfde diepte geplaatst als de bijbehorende onttrekkingsput, zodat het onttrokken water op dezelfde diepte wordt geïnfiltreerd en geen menging van water met verschillende samenstelling plaatsvindt. Bij zowel I4c als I4d worden separate doseerfilters geplaatst.

In het leidingwerk tussen elk van de onttrekkingsbronnen en de infiltratiebronnen dienen aansluitingen opgenomen te worden die het aansluiten van meeloopfilters mogelijk maken. Mocht blijken dat verstopping optreedt, dan kunnen deze meeloopfilters worden geïnstalleerd en gebruikt om de aard van de verstopping te kunnen onderzoeken.

De onttrekkingsbronnen en infiltratiebronnen dienen minimaal 110 meter uit elkaar geplaatst te worden om te voorkomen dat de onttrekkingsbronnen het geïnfiltreerde water opnieuw onttrekken. Hiermee wordt voorkomen dat er thermische kortsluiting ontstaat tussen de onttrekkings- en infiltratiebronnen.



Figuur 11. principetekening module 4b (deze figuur is in hoge kwaliteit weergegeven in bijlage 4e)

Tabel 15. kenmerken onttrekkings- en infiltratiebronnen

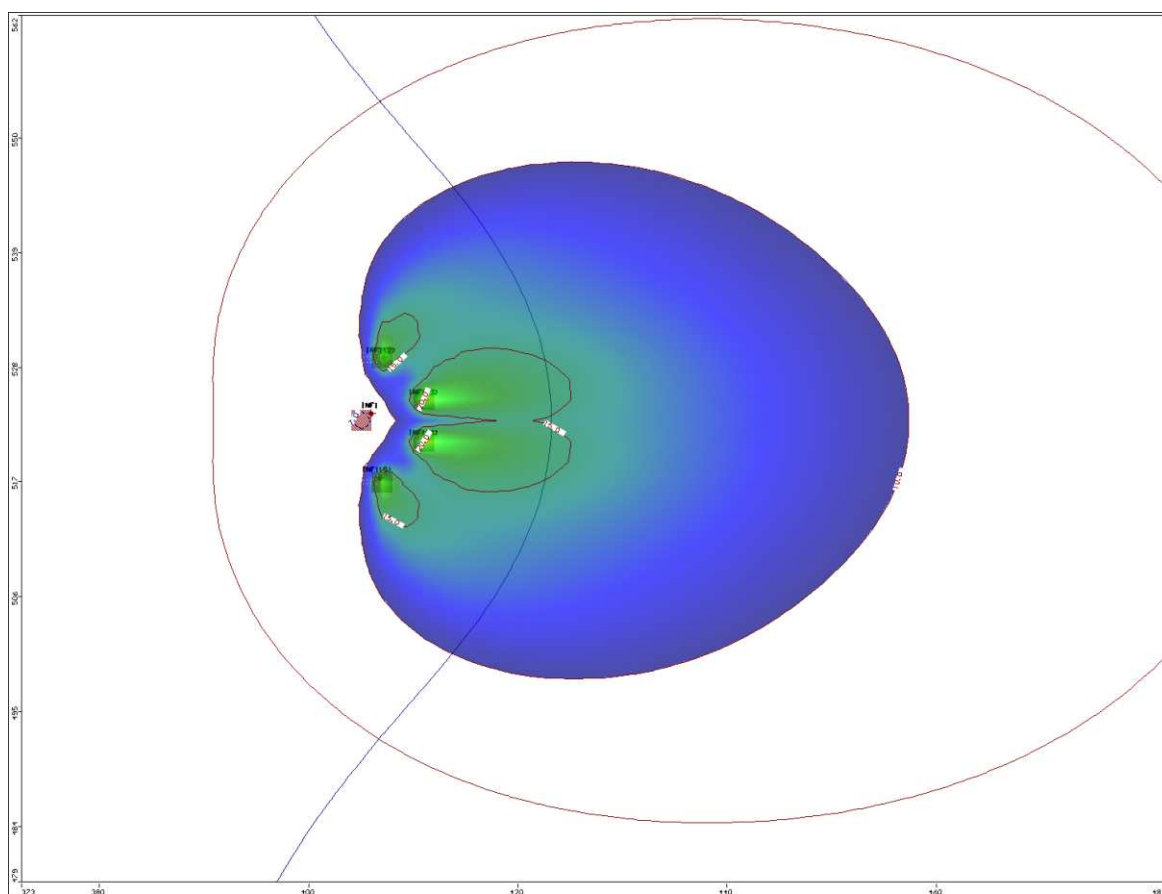
	bron O4c en I4c	Bron O4d en I4d
debiet	20 m ³ /h	20 m ³ /h
boordiameter filter	300 mm	300 mm
filtertraject	22– 28 m-mv	32 – 38 m-mv
filterlengte	6 m	6 m

Tabel 16. kenmerken separate doseerfilters

	Vier filters bij I4c	Vier filters bij I4d
debiet per filter	0,5 m ³ /h	0,5 m ³ /h
boordiameter filter	125 mm	125 mm
filtertraject	22– 28 m-mv	32 – 38 m-mv
filterlengte	6 m	6 m

De separate doseerfilters worden geplaatst op een afstand van zes meter van de infiltratiefilters I4c en I4d. Op deze separate filters vindt dagelijks dosering van koolstofbron plaats. De hoeveelheid te doseren koolstofbron is gelijk aan de dosering van module 4a. In module 4b wordt de dosering echter verdeeld over de separate doseerfilters.

Met behulp van geohydrologische modellering (MODFLOW/MT3D) met stoftransport is een simulatie uitgevoerd van de verspreiding van koolstofbron. De verspreiding en verdeling van koolstofbron na negentig dagen infiltreren is weergegeven in figuur 12.



Figuur 12. Verspreiding van de koolstofbron na 90 dagen op basis van modellering – bovenaanzicht. Het blauwe gebied geeft een concentratie TOC aan die groter is dan 10 mg/l

Bij de modellering is er van uitgegaan dat de koolstofbron afbreekt met een eerste-orde afbraaksnelheid van 0,01 /dag. De modelresultaten geven aan dat na ongeveer 90 dagen een steady-state is bereikt in de verspreiding van de koolstofbron. De pluim heeft een eivorm en heeft een lengte van ongeveer 60 meter en een breedte van ongeveer 40 meter. In dit gebied is actieve reductie van het geïnfiltreerde nitraat, sulfaat en VOCl mogelijk.

Uit de modelresultaten blijkt verder dat een goede menging van koolstofbron en verontreinigd grondwater plaatsvindt met het voorgestelde systeem. Verder is van belang dat de koolstofbron zich alleen aan de stroomafwaartse zijde van de put verplaatst.

Monitoring module 4b

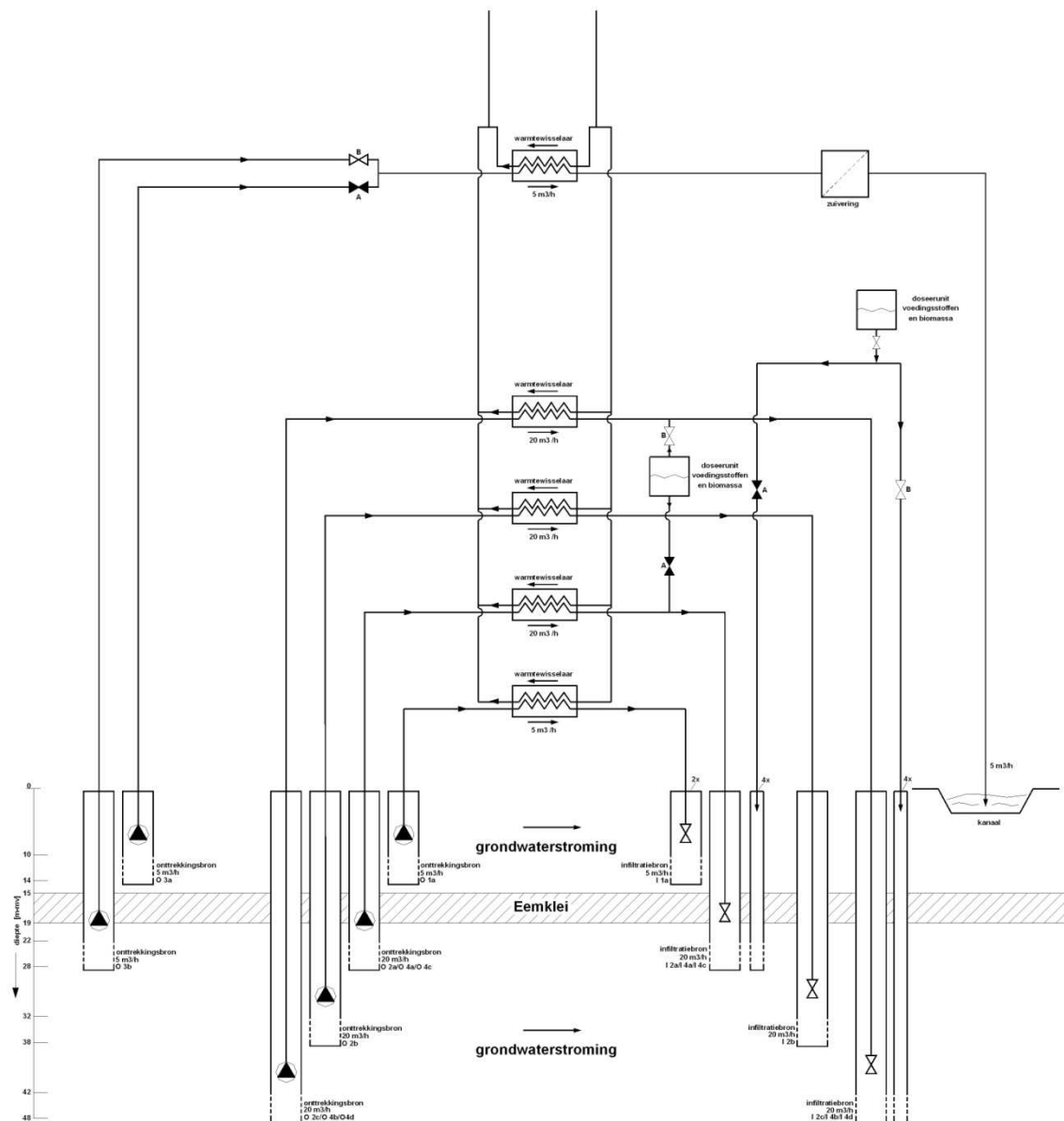
De monitoring van module 4b is vrijwel gelijk aan die van module 4a. Het enige verschil is dat nog monitoring van de stijghoogtes in (enkele van) de separate doseerfilters plaatsvindt. Deze monitoring vindt plaats in de putten zelf, op enige afstand van de putten in de bodem en eventueel in bovengrondse meeloopfilters.

Met behulp van module 4b kan onderzoeksvraag H worden beantwoord. Met behulp van de modules 4a en 4b kunnen de onderzoeksvragen G,I,J en K worden beantwoord.

5.7 Concept voor de Kanaalzone Apeldoorn

Bij de start van het SKB project was de doelstelling om een ontwerp te maken voor een pilotinstallatie voor een specifieke locatie (Haven Centrum). Omdat bij nader onderzoek in de zomer van 2009 is gebleken dat op deze locatie nauwelijks verontreiniging voorkomt, is besloten om deze specifieke locatie te laten vervallen en de pilotinstallatie te ontwerpen voor een andere locatie aan de Kanaalzone. In een later stadium kan door de Gemeente Apeldoorn een meer geschikte locatie worden gezocht voor het uitvoeren van de pilot. Dit conceptuele pilotsysteem betreft een systeem waarin de modules 1 t/m 4, zoals beschreven en uitgewerkt in bovenstaande paragrafen, zijn samengevoegd tot één pilotinstallatie voor de Kanaalzone te Apeldoorn. Het concept voor de pilotsinstallatie aan de Kanaalzone is schematisch weergegeven in figuur 13.

COMBINATIE VAN BODEMENERGIE EN SANEREN IN APeldoORN



Figuur 13. Conceptuele uitwerking van een combisysteem voor een pilotinstallatie aan de Kanaalzone te Apeldoorn (deze figuur is in hoge kwaliteit weergegeven in bijlage 4f)

Hieronder volgt een toelichting op hoofdlijnen van de pilotinstallatie.

Het belangrijkste onderdeel van het pilotsysteem is een robuuste en bedrijfszekere energiebenutting. Daarom wordt het overgrote deel van het benodigde grondwater via module 2 (ondiepe onttrekking) verkregen. Op basis van deze onttrekking wordt circa 92 % van de totale energieopbrengst van het systeem gerealiseerd.

Vanwege de hoge grondwaterstromingssnelheid vindt geen opslag van warm of koud water in de bodem plaats. Het grondwater wordt dus alleen na onttrekking voor energiebenutting gebruikt (constante natuurlijke grondwatertemperatuur).

Verder vindt de infiltratie ten behoeve van het bioscherm stroomafwaarts van de onttrekkingen plaats, zodanig dat het geohydrologisch onmogelijk is dat het geïnfiltreerde water de onttrekkingsputten zal bereiken. Hierdoor is het onmogelijk dat de gedoseerde koolstofbron de onttrekkingsbronnen bereikt en daar voor verstoppingsproblemen zorgt.

De pilotinstallatie is verder zo ontworpen dat alle belangrijke technische knelpunten, weergegeven in hoofdstuk 4, middels de pilotinstallatie kunnen worden beproefd en onderzocht. Daarom vind er zowel diep als ondiep onttrekking plaats, wordt er zowel diep als ondiep geïnfiltreerd en wordt een deel van het water herbenut voor peilbeheer.

Het is mogelijk om het systeem voor een specifieke locatie nog flexibeler te maken door het overtollige water naar keuze via module 3 (peilbeheer) of module 4 (bioscherm) af te voeren. Bij afvoer via module 3 wordt het water uit de verschillende putten gemengd; bij afvoer via het bioscherm (module 4) vind geen menging van waterstromen plaats. Deze uitvoeringswijze geeft veel extra sturingsmogelijkheden. Zo kan het meest geschikte water geselecteerd worden voor toepassing op het bioscherm (bij voorkeur verontreinigd water met een laag gehalte aan alternatieve electronacceptoren) of voor peilbeheer (bij voorkeur water met een lage verontreinigingsgraad en een laag ijzergehalte, zodat minder of geen zuivering nodig is). Ook is op deze manier het peilbeheer flexibel te maken (veel water naar het kanaal in droge periodes; minder in natte periodes) en kan bij de bedrijfsvoering met de verschillende doelstellingen van het combinatiesysteem rekening worden gehouden.



Hoofdstuk 6

Tot slot



6.1 Slot

Bij de herontwikkeling van de Kanaalzone in Apeldoorn wordt toepassing van duurzame energie gestimuleerd. Bodemenergie is daarbij één van de geschikte mogelijkheden. Toepassing van bodemenergie biedt tegelijkertijd een kans om aanwezige grondwaterverontreiniging te saneren. Duurzame energievoorzieningen werken zodoende niet belemmerend, maar bieden juist mogelijkheden voor de aanpak van verontreinigingen in de gemeente Apeldoorn. Aangezien de Kanaalzone grootschalig wordt herontwikkeld gaat de gedachte uit naar een gebiedsgerichte aanpak met betrekking tot bodemenergie, bodemsanering en peilbeheer. Afhankelijk van het uiteindelijk toe te passen bodemenergiesysteem kan bodemsanering worden gerealiseerd door het bovengronds zuiveren van onttrokken grondwater en/of het creëren van een actieve biologische zone in de ondergrond. In de praktijk zijn dergelijke combinaties nog niet operationeel, mede door een aantal technische risico's en knelpunten.

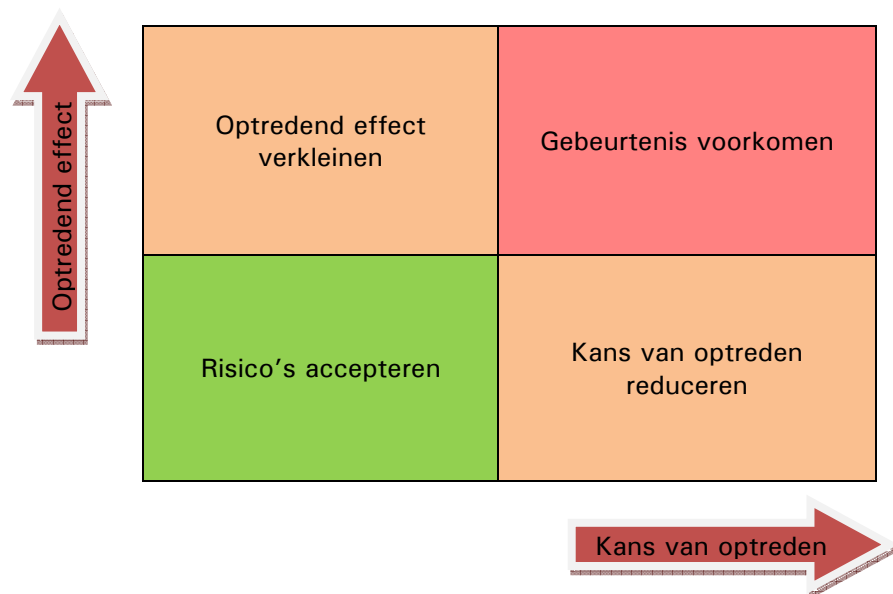
Om inzicht te krijgen in de technische mogelijkheden, knelpunten, risico's en mogelijke oplossingsrichtingen zijn in het onderliggende SKB project de volgende drie stappen doorlopen:

- Het opstellen van een overzicht van de technische risico's en knelpunten die van toepassing kunnen zijn bij de realisatie van combinatiesystemen van bodemenergie en bodemsanering;
- Het ontwikkelen van een systematiek waarmee een weloverwogen keuze kan worden gemaakt voor specifieke technische oplossingsrichtingen;
- Het opstellen van een eerste ontwerp van een pilotinstallatie voor een locatie aan de Kanaalzone te Apeldoorn om technische oplossingen in het veld te kunnen onderzoeken.

De technische risico's en knelpunten van combinatiesystemen zijn geïventariseerd door middel van een literatuuronderzoek en telefonische interviews. Dit heeft een overzicht opgeleverd (bijlage 1) van allerlei technische risico's die zich voor kunnen doen bij combinatiesystemen. Dit overzicht is ook relevant bij de ontwikkeling van combinatiesystemen voor andere locaties in Nederland. Een belangrijke conclusie die uit deze deskstudie naar voren kwam is dat praktisch onderzoek noodzakelijk is om de werkelijke mogelijkheden vast te stellen. Veel risico's zijn daarbij te voorzien, echter het is niet gemakkelijk in te schatten in welk mate deze zich ook daadwerkelijk zullen voordoen. Dit toont eens te meer aan dat het belangrijk is om de werkzaamheid van de meest kansrijke concepten in een pilotinstallatie te onderzoeken en te toetsen.

Vervolgens is aan de hand van dit risico-overzicht een beoordeling van de risico's uitgevoerd met behulp van een RISMAN sessie. De RISMAN systematiek gaat uit van ver uitgewerkte en in het werkveld bekende risico's welke door een panel van specialisten voor een specifieke situatie op kwantitatieve of kwalitatieve manier worden beoordeeld. Tijdens de RISMAN sessie hebben experts uit verschillende werkvelden zowel gesproken over de concepten die kansrijk zijn voor de combinatie van bodemenergie en sanering, als over de specifieke technische risico's die zich voor kunnen doen bij de uitvoering van deze concepten.

De risico's zijn daarbij systematisch beoordeeld aan de hand van de RISMAN risico-matrix (zie figuur 14). Beoordeling van de risico's is ons inziens voorlopig alleen nog in kwalitatieve zin mogelijk.



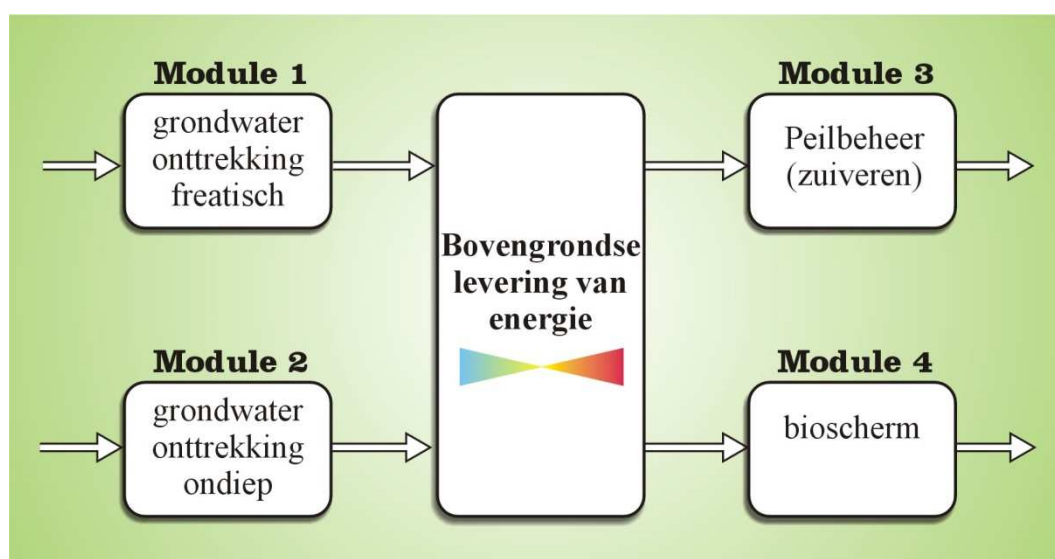
Figuur 14. De RISMAN risico-matrix

Hoewel de keuze van de combi-varianten en de specifieke risico's voorafgaand aan de sessie aan de deelnemers was verzonden bleek dat er bij aanvang van de sessie behoefte was bij de deelnemers om de keuze van de combi-varianten te bespreken en ter discussie te stellen. Dit is logisch gezien de technologische status van combisystemen van bodemenergie en bodemsanering. Dergelijke combinatiesystemen zijn nog nauwelijks aangelegd. Daarom ligt het voor de hand dat er vooral vragen zijn (en verschillen van inzicht) over de wijze waarop bodemsanering en bodemenergie kunnen worden gecombineerd. De vragen in de markt liggen momenteel vooral op conceptueel niveau. Het verdient daarom aanbeveling om de RISMAN-sessie op te knippen. In de eerste expert meeting wordt dan gesproken op conceptueel niveau, zodat niet op voorhand mogelijkheden worden uitgesloten. Na uitvoering van deze eerste expert meeting wordt de voorkeursvariant verder uitgewerkt, waarbij de mogelijke risico's in kaart worden gebracht. Vervolgens worden in een tweede meeting (met dezelfde expert groep) de specifieke risico's, behorend bij de geselecteerde combi-variant, met behulp van de RISMAN matrix afzonderlijk besproken.

De inventarisatie van de specifieke risico's bleek adequaat te zijn, aangezien er nauwelijks risico's aan de lijst werden toegevoegd. Aan de andere kant was de lijst mogelijk te lang en te specifiek. Vanwege het grote aantal specifieke risico's werden deze eerst geprioriteerd, waarna de belangrijkste risico's plenair werden besproken. Deze aanpak heeft goed gewerkt.

Uit de sessie is ook naar voren gekomen dat een flexibel, modulair concept het meeste kans heeft om succesvol te kunnen worden toegepast. Voor nieuwe locaties waarvoor een combinatiesysteem ontworpen moet worden, kan uit deze modules een oplossing worden samengesteld. Daarbij hoeven niet alle modules gebruikt te worden. Op basis van de locatiespecifieke omstandigheden kunnen de benodigde modules worden geselecteerd. De modules gaan uit van een integrale benadering van waterbeheer. Voor de Kanaalzone in de gemeente Apeldoorn betekent dit dat het combinatiesysteem wordt ingezet voor drie verschillende doelen:

- **Energiebenutting van de ondergrond**, met als achterliggend doel: een bijdrage leveren aan het bereiken van CO₂ doelstellingen;
- **Positief beïnvloeden van de grondwaterverontreiniging**, namelijk binnen het gebiedsgerichte beheer werken aan trendomkering als gevolg van het sanerend effect van het combinatiesysteem;
- **Peilbeheer** in het Apeldoorns kanaal en eventueel benutting van het water voor beekherstel (het water moet daarbij voldoen aan de gestelde kwaliteitseisen).



Figuur 15. Modules

Deze uitvoeringswijze geeft veel extra sturingsmogelijkheden. Zo kan het meest geschikte water geselecteerd worden voor toepassing op het bioscherm (bij voorkeur verontreinigd water met een laag gehalte aan alternatieve electronacceptoren) of voor peilbeheer (bij voorkeur water met een lage verontreinigingsgraad en een laag ijzergehalte, zodat minder of geen zuivering nodig is). Ook is op deze manier het peilbeheer flexibel te maken (veel water naar het kanaal in droge periodes; minder in natte periodes) en kan bij de bedrijfsvoering met de verschillende doelstellingen van het combinatiesysteem rekening worden gehouden.

Deze drie doelen komen bij elkaar in het combinatiesysteem. De eerste twee doelen zullen in de meeste andere stedelijke situaties in Nederland op vergelijkbare wijze gesteld kunnen worden. Het derde doel (peilbeheer van oppervlaktewater) zal niet overal gerealiseerd kunnen worden of benodigd zijn. Wel kan het overtollige water in andere situaties wellicht zinvol benut worden en als zodanig kan hergebruik van grondwater meerwaarde opleveren.

De risico's en technische knelpunten die zich bij de toepassing van het modulaire concept voor kunnen doen zijn vervolgens aan de hand van de situatie Kanaalzone Apeldoorn per module uitgewerkt. Daarbij is ingegaan op de wijze waarop deze risico's kunnen worden beheerst en welke monitoring daarbij nodig is. Op basis van dit overzicht zijn de belangrijkste risico's gedefinieerd en zijn onderzoeksvragen opgesteld. De pilotinstallatie is zo ontworpen dat alle belangrijke technische knelpunten en onderzoeksvragen kunnen worden beproefd en onderzocht.

Oorspronkelijk zou de pilot specifiek worden ontworpen voor de locatie Haven-Centrum. Omdat uit aanvullend onderzoek is gebleken dat de diepere ondergrond minder ernstig verontreinigd was, is het ontwerp veralgemeniseerd, zodat het ontwerp ook toepasbaar is op meer verontreinigde locaties aan de Kanaalzone. In de pilot kunnen verschillende combi-varianten worden onderzocht.

Samenvattend heeft het project de volgende resultaten opgeleverd:

- Een literatuuronderzoek met uitgebreid risico-overzicht, dat ook op andere locaties gebruikt kan worden;
- Een methode voor de ontwikkeling van pilotsystemen, op basis van risico-analyse middels de RISMAN methodiek;
- Een overzicht van de belangrijkste risico's en bijbehorende onderzoeksvragen voor toepassing van combi-systemen aan de Kanaalzone in Apeldoorn;
- Een technische uitwerking (voorontwerp) inclusief benodigde monitoring van vijf modules, die samen een pilotinstallatie vormen voor de Kanaalzone te Apeldoorn, waarin de onderzoeksvragen onderzocht en beantwoord kunnen worden en die in basis gebruikt kunnen worden voor andere locaties waar bodemsanering en bodemenergie gecombineerd kunnen worden.

Met behulp van deze resultaten verwachten wij dat de toepassing van combinatiesystemen, zowel voor de Kanaalzone te Apeldoorn als voor andere situaties in Nederland een stap dichterbij is gekomen.



Bijlagen

- Bijlage 1 Rapportage literatuuronderzoek
- Bijlage 2 Verslag RISMAN sessie
- Bijlage 3 Evaluatie RISMAN sessie
- Bijlage 4 Concepttekeningen (A3 formaat)



Bijlage 1 Rapportage literatuuronderzoek

WKO & Saneren Apeldoorn

PT 8441 Rapportage Inventarisatie van Risico's en oplossingen

Opdrachtgever: SKB

OPDRACHTGEVER: SKB
PROJECTTITEL: PT 8441, WKO & saneren
PROJECTCODE: 2008.3180
DOCUMENTTYPE: Deelrapport 1
PUBLICATIEDATUM: 16 december 2008
PROJECTLEIDER: M. van Bommel
AUTEUR(S): M van Bommel, E Dijkhuis, N Jellema

Bioclear b.v.*Postadres:*

Postbus 2262; 9704 CG Groningen

Bezoekadres:

Rozenburglaan 13C; 9727 DL Groningen

Telefoon: 050 571 84 55

Fax: 050 571 79 20

Email: info@bioclear.nl

Website: www.bioclear.nl



Bioclear werkt met het INK kwaliteitssysteem (Instituut Nederlandse Kwaliteit), een managementmodel, dat is afgeleid van het Europese EFQM Excellence model.



Bioclear beschikt over het procescertificaat BRL SIKB 6000, VKB-protocol 6002.

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

© Bioclear b.v.

Bioclear adviseert bedrijven, overheden en dienstverlenende organisaties op het terrein van de milieutechnologie.

Op opdrachten aan Bioclear zijn van toepassing de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan Bioclear, zoals gedeponeed bij de Kamer van Koophandel te Groningen.

Inhoudsopgave

Hoofdstuk 1	Inleiding	1
	1.1 WKO & saneren locatie Kanaalzone Apeldoorn	2
Hoofdstuk 2	Resultaten gesprekken	3
	2.1 Uitgevoerde gesprekken	4
	2.2 Resultaten van de gesprekken	5
	2.3 Conclusie interviews	6
Hoofdstuk 3	Literatuuronderzoek	7
	3.1 Literatuur onderzoek	8
	3.2 Samenvatting resultaten literatuuronderzoek	8
Hoofdstuk 4	Overzicht risico's en knelpunten	9
	4.1 Risico-overzicht	10
Hoofdstuk 5	Vervolg van het project	11
	5.1 Vervolg van het project	12
	1 Geraadpleegde bronnen	27
	2 Samenvatting gevonden literatuur	28
Bijlage 1	Presentatie Bodem Breed	
Bijlage 2	Notities bij interviews	
Bijlage 3	Literatuur – rapportage IF technology	
Bijlage 4	Literatuur – rapportage Bioclear	
Bijlage 5	Totaal overzicht van de risico's	



Hoofdstuk 1

Inleiding



1.1 WKO & saneren locatie Kanaalzone Apeldoorn

In november 2008 is het consortium bestaande uit de gemeente Apeldoorn, IF technology en Bioclear gestart met het SKB project "Inventarisatie en onderzoek naar risico's en oplossingen voor combinatiesystemen van Bodemenergie en Bodemsanering – Kanaalzone Apeldoorn".

Zoals weergegeven in het basisprojectplan (d.d. 26 september 2008) is de eerste fase van dit project het uitvoeren van een literatuuronderzoek en telefonische interviews. Doel van deze werkzaamheden is om te komen tot een overzicht van risico's en knelpunten voor de toepassingen van de verschillende denkbare combinatiesystemen.

In deze rapportage zijn de uitgevoerde werkzaamheden beschreven. Het betreft enerzijds de gesprekken met derden (m.n. universiteiten, kennisinstellingen en waterbedrijven) en de uitgevoerde literatuurstudie. Op basis van de resultaten van de gesprekken en literatuursearch is een totaaloverzicht gemaakt van de risico's en knelpunten. Dit overzicht zal worden gebruikt ten behoeve van de Risman sessie begin 2009.

Het project is gepresenteerd op Bodem breed 2008 door Bas Godschalk en Marc van Bommel. De presentatie is opgenomen in bijlage 1. Ook zijn hier kort de reacties van het publiek weergegeven.

In hoofdstuk 2 van deze rapportage zijn de resultaten opgenomen van de telefonische gesprekken met kennispartijen. In hoofdstuk 3 volgen de resultaten van de literatuurstudie. In hoofdstuk 4 worden alle geïnventariseerde risico's en knelpunten weergegeven. Hoofdstuk 5 geeft de richting aan die voor de vervolgfases van het project belangrijk zijn.



Hoofdstuk 2

Resultaten gesprekken



2.1 Uitgevoerde gesprekken

Er zijn een tiental telefonische interviews uitgevoerd. Ten behoeve van de telefonische gesprekken is een invulformulier gebruikt. Dit formulier is tijdens of na afloop van het gesprek ingevuld. De ingevulde formulieren zijn weergegeven in bijlage 2. In tabel 1 zijn de uitgevoerde gesprekken weergegeven.

Tabel 1. Gevoerde gesprekken

Gesprek nr	Naam	Organisatie
1	Boris van Breukelen	VU Amsterdam
2	C.A.J. Appelo	
3	R.D. Schuiling	Geochem research
4	Guus Loch	Universiteit Utrecht
5	Ruud Schotting	Universiteit Utrecht
6	Aiko Hensums	TTE
7	Peter Doelman	
8	Gosse Schraa	WUR
9	Harrie Timmer	Oasen
10	Huub Rijnaarts	Deltares
11	Majid Hassanizadeh	Universiteit Utrecht

2.2 Resultaten van de gesprekken

De samenvattingen van de gesprekken zijn weergegeven in bijlage 1. De belangrijkste ervaringen die uit de gesprekken komen zijn:

1. Risico van verstopping door alleen C-bron dosering niet zo groot, wel als er ook nutriënten worden toegevoegd (g1)
2. Bij alleen rondpompen zal verstopping t.g.v. een VOCl verontreiniging wel meevallen (g3)
3. Het is moeilijk bij koppeling van bovengronds saneren en KWO de stromen op elkaar af te laten stemmen (g3)
4. Mechanische putverstopping kan worden voorkomen door pompen regelmatig aan en uit te schakelen (onderzoek van Bert-Rik de Zwart, TU Delft) (g5)
5. Er zijn vragen over het effect van snelle T-wisselingen op de bodemecologie (g8)
6. Project Uden wordt genoemd als ervaringsproject, hier is middels horizontale drains over een lange periode protamylasse geïnfilteerd (g8)
7. Ervaring met ondergronds beluchten. Infiltratie van zuurstof rijk water is goed mogelijk, 20 jaar ervaring, daarbij ontstaan geen problemen met ijzerneerslagen (g9)
8. Als er toch een klein beetje (colloïdaal) ijzer achterblijft verstoppen putten heel snel (g9)
9. Bij bovengrondse ontijzering door beluchte zandfiltratie worden CIS en VC verwijderd (g9)
10. Onttrekken uit een horizontale drain ter voorkoming van het aantrekken vd redoxgrens wordt afgeraden (g9)
11. Er zijn knelpunten bij combinatie van KWO en sanering, praktijk onderzoek moet de omvang van de knelpunten uitwijzen (g11)

Verder is in de gesprekken gewezen op de volgende personen die verdere ervaring zouden kunnen hebben (voor zover nog niet gesproken):

- Bert-Rik de Zwart (proefschrift over mechanische putverstopping)
- Hans van Veen, ecogenomics (effect van bodemecologie)
- Piet Lens (WUR) over sulfaatreductie
- Fons Stams (WUR) over het effect van chloraat op verstopte bodems
- Patricia Colberg (univ. Wyoming) over ijzer oxiderende m.o.'s
- Ghiorse (univ. Cornell)
- Nanne Hoekstra (Deltares)

In de gesprekken zijn verder de volgende literatuur referenties genoemd als potentieel interessant:

- Hoofdstuk 10 uit "Geochemistry, Groundwater and pollution, 2nd edition. C.A.J. Appelo en D. Postma, 2005

- De Zwart, A.H., 2007: Investigation of clogging processes in unconsolidated aquifers near water supply wells (proefschrift, te downloaden via homepage TU Delft).
- Holliger, C. "Reductive Dehalogenation"
- H2O, artikel richtlijnen ondergronds beluchten (Kees van Beek, KIWA)
- H2O, artikel "het wonder van Nieuw-Lekkerland"
- H2O, artikel "diepere infiltratieproeven Langerak"

2.3 Conclusie interviews

Met name bij de drinkwaterbedrijven is relevante informatie en ervaring beschikbaar over het onttrekken en infiltreren op de schaal zoals die ook bij de combinatie bodemenergie en saneren benodigd is. Er is belangrijke ervaring met het op grote schaal infiltreren van zuurstofrijk water, wat een interessante optie vormt. Immers, als het water na benutting van de energie ontijzerd en gedechloriseerd kan worden, dan is het daarna voor meerdere toepassingen (hergebruik als oppervlaktewater of herinfiltratie in de bodem) beschikbaar. Dit lijkt voor de Apeldoornse situatie een relevante uitkomst. Ook de wijze waarop bovengrondse ontijzering plaats vindt bij de waterbedrijven kan van belang zijn voor Apeldoorn.

Het proefschrift van Bert-Rik de Zwart bevat belangrijke informatie over de optimale bedrijfsvoering van de onttrekkingsputten. Door de putten regelmatig aan en uit te schakelen kan mechanische putverstopping worden voorkomen of verminderd.

Verder is het van belang dat de installatie van een horizontale drain ter vervanging van meerdere verticale onttrekkingsputten wordt afgeraden. Het is beter om meerdere verticale putten te plaatsen, waarbij de kans bestaat dat er enkele onbruikbaar zullen zijn door het aantrekken van de redoxgrens, maar waarbij het restant wel benut kan worden.

Verder zijn er belangrijke vragen over het effect van (snelle) temperatuurwisselingen op de bodemecologie (g7). Deze vragen vallen in principe buiten de scope van dit project. Wel is het van belang om deze vragen te onderzoeken. Momenteel is een groot onderzoeksvoorstel in voorbereiding, waarin deze vragen een belangrijke rol spelen. Deze vragen zullen worden doorgespeeld aan dit project consortium. Verder kan de pilot die voor de locatie Apeldoorn wordt voorbereid benut worden als onderzoekslocatie, mogelijk ook binnen dit project.

Uit de gesprekken zijn nog een aantal nieuwe namen naar voren gekomen. Voor zover relevant voor de risicobenadering zullen deze nog worden benaderd.

De risico's die in de gesprekken naar voren zijn gekomen zijn opgenomen in het totale risico overzicht, dat als basis dient voor de nader uit te werken methodiek voor risicobeoordeling. Het risico-overzicht is opgenomen in hoofdstuk 4.



Hoofdstuk 3

Literatuuronderzoek



3.1 Literatuur onderzoek

Het literatuuronderzoek is in twee delen geknipt:

Deel 1. Risico's aan de onttrekkingszijde

Deel 2. Risico's bovengronds en aan de afvoerszijde (infiltratie of oppervlaktewater)

Deel 1 is uitgevoerd door IF technology en deel 2 door Bioclear. De rapportage van IF technology is opgenomen in bijlage 3. De rapportage van Bioclear staat in bijlage 4.

Naast de verzamelde wetenschappelijke literatuur is ook gebruik gemaakt van rapporten en documenten die intern beschikbaar zijn bij IF technology en Bioclear. De risico's en knelpunten uit deze documenten zijn aan de risicotabel (bijlage 5) toegevoegd.

3.2 Samenvatting resultaten literatuuronderzoek

Het literatuuronderzoek levert weinig nieuwe informatie op. De meeste mechanismen voor putverstopping zijn bekend. Wel zijn er een aantal internationale referenties gevonden over bioclogging van reactieve schermen. Veel relevante informatie bevindt zich in de volgende rapporten en documenten:

- NOBIS 96-3-06 "Ontwerp en onderhoud van infiltratie- en onttrekkingsmiddelen
- NOBIS 98-1-08 "Implementatie en beslissystematiek ontwerp en onderhoud van infiltratie- en onttrekkingsmiddelen"
- "Voorkomen en verwijderen van putverstopping door deeltjes op de boorgatwand", BTS project Senter Novem, via internet te raadplegen
- Het proefschrift van Bert-Rik de Zwart over het voorkomen van mechanische putverstopping

Deze informatie is voor een groot deel gefocust op het bedrijven en in stand houden van onttrekkingsputten. Een deel gaat ook over infiltratie. Er is geen informatie gevonden over het langdurig in stand houden van biologische schermen. Dit is een kennisleemte. Wel is duidelijk uit de referenties dat bioclogging van schermen een negatieve invloed heeft op de bodemdoorlatendheid (zie risico 3J uit bijlage 5).



Hoofdstuk 4

Overzicht risico's en knelpunten



4.1 Risico-overzicht

De risico's zoals die volgen uit de interviews, de literatuur en de kennis en ervaring van IF technology en Bioclear zijn in een totaal overzicht opgenomen. Daarbij zijn de risico's opgedeeld in hoofd- en subgroepen. Daarbij is er naar gestreefd het specifieke risico zo concreet en gedetailleerd mogelijk te benoemen.

De risico's zijn opgedeeld in de volgende hoofdgroepen:

1. Risico's onttrekkingszijde
2. Risico's bovengronds
3. Risico's afvoerszijde
4. Geologische risico's
5. Risico's door keuze concept

Uiteindelijk zijn er 23 specifieke risico's geïdentificeerd. Deze risico's zijn samengevat in de risicotabel in bijlage 5. Bij elk van de risico's is weergegeven voor welke combinatievariant het specifieke risico relevant is. Daarbij zijn de volgende combinatievarianten benoemd:

Tabel 1 Aanvoer, behandeling en afvoer van grondwater bij combinatiesystemen

Combinatiesysteem	Aanvoer	Behandeling	Afvoer
1	Onttrekken	Grondwaterzuiveringsinstallatie	Oppervlaktewater
2	Onttrekken	Grondwaterzuiveringsinstallatie	Herinfiltratie
3	Onttrekken	Bioreactor	Herinfiltratie
4	Onttrekken	Separate dosering	Herinfiltratie

Het risico overzicht dient als basis voor de RISMAN beoordeling die begin 2009 zal plaatsvinden.



Hoofdstuk 5

Vervolg van het project



5.1 Vervolg van het project

Begin 2009 zal een sessie worden gehouden met marktpartijen, belangstellenden en experts over de risico's en mogelijkheden voor de verschillende combinatie varianten van bodemenergie en saneren.

Op basis van de uitgevoerde interviews en literatuurstudie is het mogelijk om de combinatievarianten verder uit te breiden en concreter in te vullen.

Op basis van de ervaring van drinkwaterbedrijven zijn er mogelijkheden te zijn voor infiltratie van aerob water. Dit is een interessante, niet eerder voor Apeldoorn beoordeelde mogelijkheid. Op meerdere manieren kan toepassing van "ondergronds beluchten" de moeite waard zijn. Zo is een systeem denkbaar bestaande uit onttrekking van grondwater, benutten van de energie, ontijzering van het water en herbenutten op oppervlaktewater of herinfiltratie van dit water in de ondergrond. Zo zou het water kunnen worden gebruikt voor beekherstel mits het aan bepaalde temperatuur- en kwaliteitseisen voldoet en, op het moment dat het water niet voldoet, kunnen worden gebruikt voor herinfiltratie in de bodem. Daarnaast zijn er misschien positieve effecten op de in situ afbraak van CIS en VC bij de infiltratie van aerob water. Deze opties zullen in het vervolg van het project worden meegenomen en bestudeerd.

Verder zijn er nog vele andere ideeën en mogelijkheden die nadere aandacht verdienen. Deze zijn bijvoorbeeld:

- Mogelijkheden voor chlooraat dosering aan het infiltratiewater
- Mogelijkheden voor waterstofdosering als alternatieve electrondonor
- Gebruik van nano-ijzer
- Hergebruik van (gereinigd) grondwater voor beekherstel of andere ecologische doelen

Duidelijk is al wel uit de resultaten van de interviews en het literatuuronderzoek dat praktisch onderzoek noodzakelijk is om de werkelijke mogelijkheden vast te stellen. Veel risico's zijn daarbij te voorzien, echter het is niet gemakkelijk in te schatten in welk mate deze zich zullen voordoen. Dit toont eens te meer aan dat het belangrijk is om de werkzaamheid van de meest kansrijke concepten in een pilot installatie te onderzoeken en te toetsen.



Bijlagen

- Bijlage 1 Presentatie Bodem Breed
- Bijlage 2 Notities bij gevoerde gesprekken
- Bijlage 3 Literatuur – rapportage IF technology
- Bijlage 4 Literatuur – rapportage Bioclear
- Bijlage 5 Totaal overzicht van de risico's



Bijlage 1 Presentatie Bodem Breed

SKB project **Kanaalzone** **Apeldoorn** PT8441

- ➔ “Inventarisatie en onderzoek naar risico’s en oplossingen voor combinatiesystemen van bodemenergie en bodemsanering”



Stichting
Kennisontwikkeling
Kennisoverdracht
Bodem



if
technology



Apeldoorn



➔ Risico's en mogelijkheden van combinatiesystemen

- Technische knelpunten, risico's en mogelijkheden in kaart brengen
- Ontwikkelen van een systematiek voor het maken van een keuze voor technische oplossingen
- Ontwerpen van een proefopstelling ("Full scale pilot") om oplossingen in het veld te kunnen onderzoeken

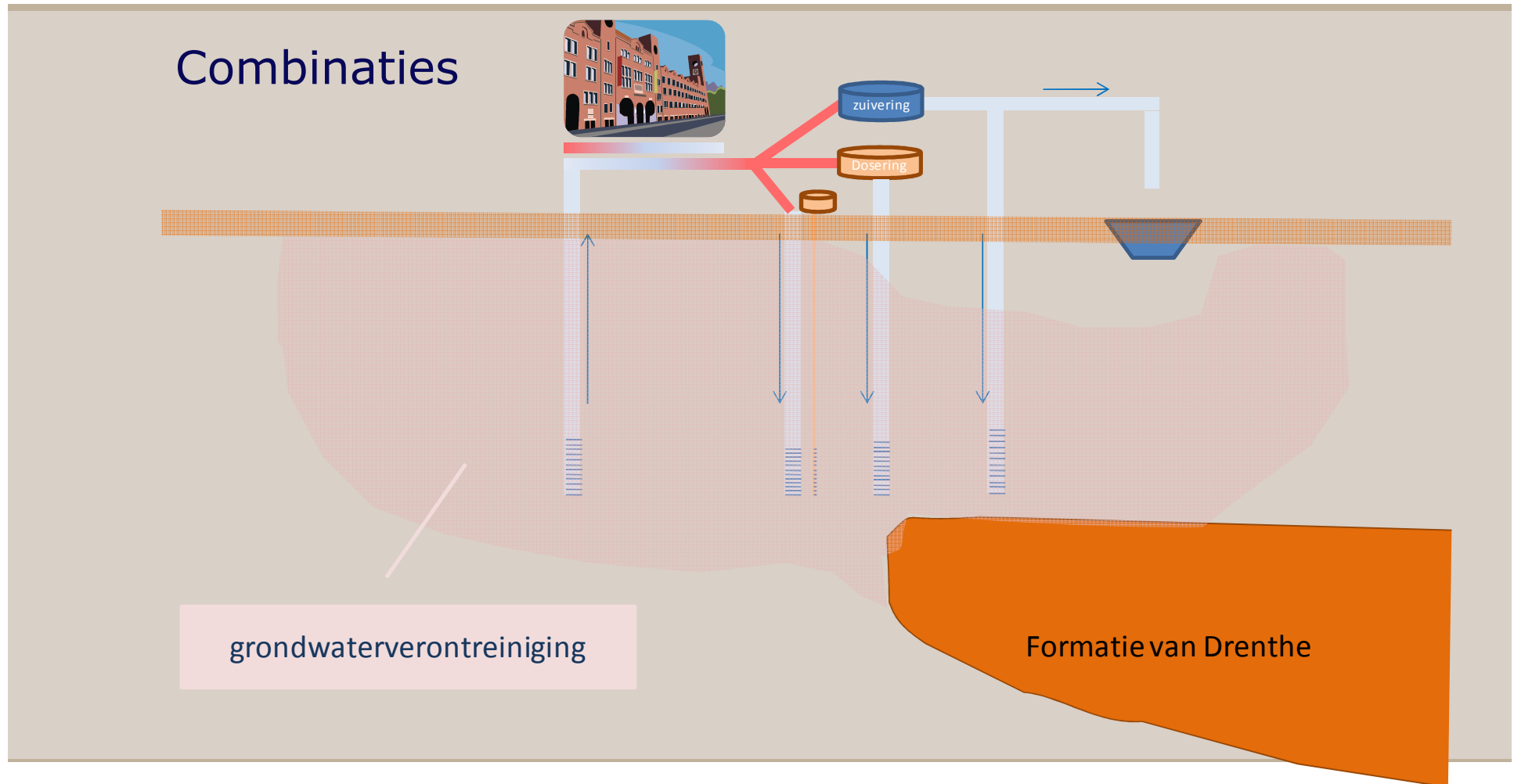
➔ Technische knelpunten analyse

- Literatuuronderzoek
- Interviews
- Eigen kennis en ervaring

Kennis van de risico's en knelpunten leidt tot inzicht in de mogelijkheden !

Tegenstrijdige doelen van bodemsanering en bodemenergie !

➔ Technische knelpunten analyse



➔ Technische knelpunten analyse

1. Risico's zo concreet mogelijk benoemen
2. Opgedeeld in vijf hoofdgroepen, met subgroepen en concrete risico's
3. Alleen technische risico's !

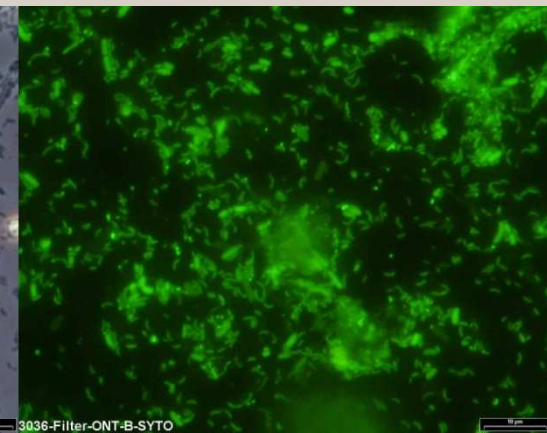
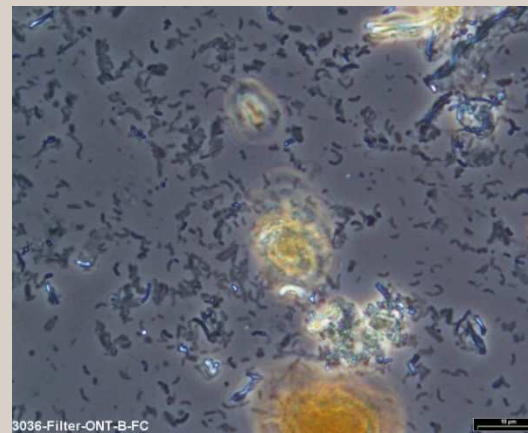
Dit levert een complete risico tabel (daaruit enkele voorbeelden bespreken)

➔ Risicotabel voorbeeld (hoofdgroep 1 en 2)

HOOFDGROEPEN	SUBGROEP 1	SUBGROEP 2	SPECIFIEK RISICO
Hoofdgroep 1. Risico's onttrekkingszijde	Aantrekken redoxgrens	Biologisch	1A. Bronverstopping door biologisch versnelde ijzer oxidatie (bij lage zuurstof spanning) vaak met slijmvorming
		Fysisch-Chemisch	1B. Bronverstopping door neerslag van ijzer(II)(hydr-)oxiden (bij infiltratie is dit een groter risico dan bij onttrekken) IF rapport nr. 2/9805/GW
	Verhoging dynamiek door stroming en menging	Biologisch / Chemisch	1C. Als gevolg van het onttrekken kunnen versnelde redoxreacties plaatsvinden, met name ijzerreductie en / of sulfaatreductie. Dit leidt tot een toename van het ijzergehalte en / of het sulfide gehalte en vergroot de kans op verstopping van het onttrekkingsfilter
		Chemisch	1D. Als gevolg van het onttrekken kan menging plaatsvinden van waterstromen met verschillende chemische kwaliteit (o.a., pH, hardheid, temperatuur, druk). Hierdoor kunnen neerslagen worden gevormd (bijvoorbeeld Calcium of magnesium carbonaat)
Invloed temperatuurschommeling en	Biologisch	1E. Een toename van de temperatuur kan een versnelde groei van micro-organismen veroorzaken IF rapport nr. 1/53232/GW	
Hoofdgroep 2. Risico's bovengronds	Fouling van leidingen, kleppen en systemen	Biologisch	2A. Biologisch gevormde ijzeroxides / slijmvorming bij lage zuurstof spanning (gallionella of leptothrix) IF rapport nr. 2/9805/GW
		Chemisch	2B. Fouling door neerslag van ijzer (II)(hydr-)oxiden 2C. Overige neerslagen (calcium, magnesium, aluminium, fosfaten etc)
		Gassen	2B. Ontgassing door drukval achter regelkleppen

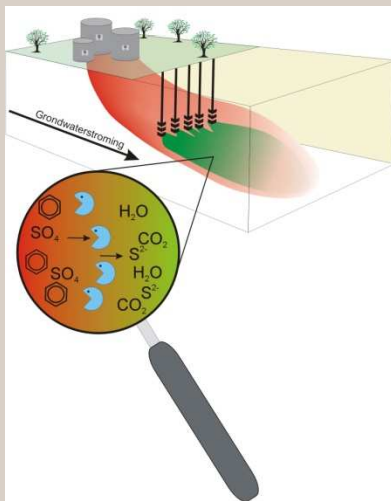
➔ Voorbeeld Risico Hoofdgroep 1 (onttrekkingszijde)

Hoofdgroep	Risico's onttrekkingszijde
Subgroep 1	Aantrekken redoxgrens
Subgroep 2	Biologisch
Specifiek risico	1A. Bronverstopping door biologisch versnelde ijzeroxidatie (bij lage zuurstofspanning) vaak met slijmvorming



➔ Voorbeeld Risico Hoofdgroep 3 (Infiltratiezijde)

Hoofdgroep	Risico's infiltratiezijde
Subgroep 1	Verstopping van de bodem
Subgroep 2	Biologisch
Specifiek risico	3K. Vorming van metaalsulfides, waardoor de doorlatendheid van de bodem afneemt



Continue aanvoer van
sulfaat, ijzer (II) en C-bron !
Lange termijn effect ?

➔ Voorbeeld Risico Hoofdgroep 5 (keuze concept)

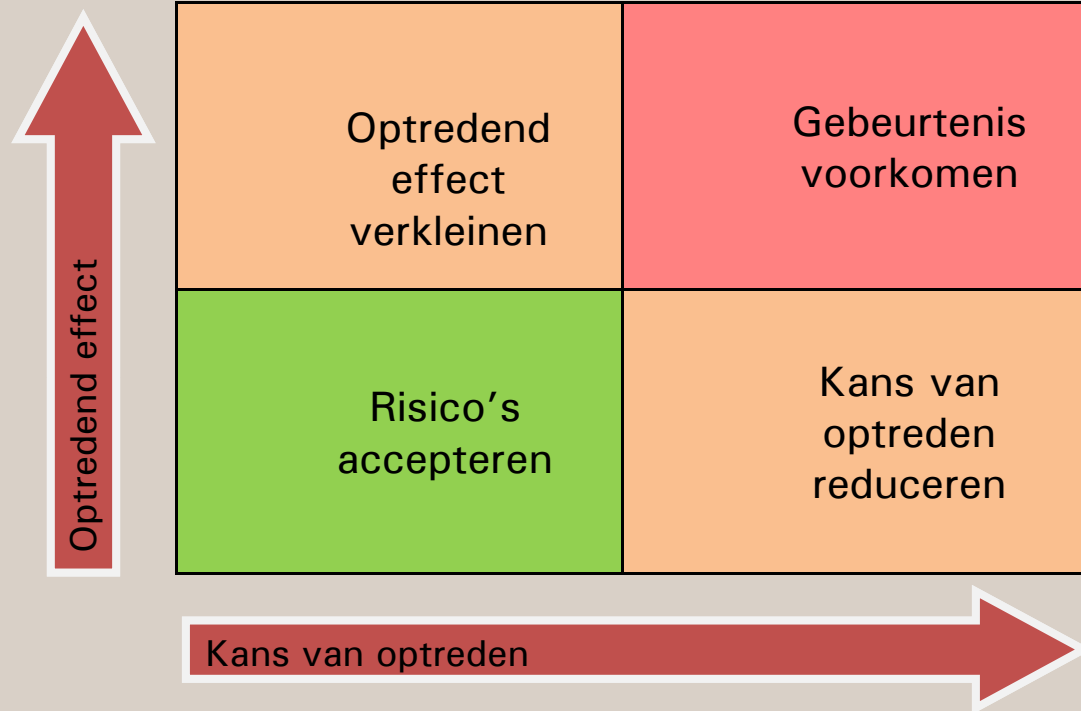
Hoofdgroep	Risico's door keuze concept
Subgroep 1	Concept keuze onttrekken, zuiveren en lozen op oppervlaktewater
Subgroep 2	Zuiveren
Specifiek risico	5B. Grote zuivering nodig, specifieke eisen aan oppervlakte water behalen (ijzer, temperatuur)

Uitdaging is het vinden van een extensief concept voor bovengrondse zuivering, waarmee de VOCl wordt verwijderd en ontijzering plaatsvindt.

➔ RISMAN analyse

Bepalen oplossingsrichting met risicomatrix

Bijeenkomst :
Eindgebruikers
Marktpartijen
Begin 2009



➔ Integraliteit en onverwachte combinaties

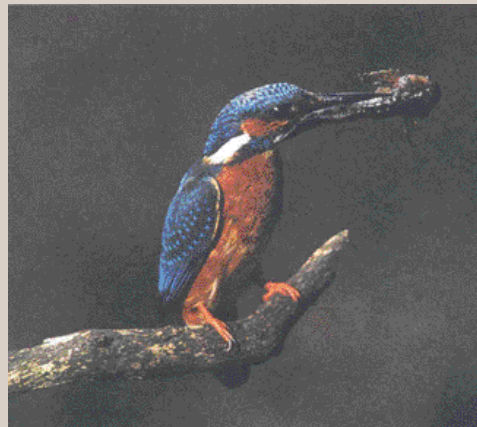
- Onverwachte combinaties wellicht mogelijk, zoals combinatie met beekherstel (hoge kwaliteit grondwater benutten voor ecologisch herstel) of combinatie met peilbeheer Apeldoorns kanaal
- Is ontijzering eigenlijk wel nodig (kwel !)?
- Helofytenfilter? Groene oevers met cascades / zandfiltratie?
- Integrale benadering is nodig!
- In ontwerp van de pilot deze kansen benutten

➔ Bodembreed vragen

Succes en faalfactoren (vooruitblik)

- Niet verstrikt raken in de risico analyse
- Voldoende integraliteit (geen mogelijkheden uitsluiten)
- Full scale laboratorium: betekent in praktijk beheersbaarheid risico's vast stellen
- Uitdaging is dit systeem zo te ontwerpen dat vragen beantwoord kunnen worden om zodoende praktische kennis op te doen

➔ Impressie



Bijlage 2 Notities bij interviews

Datum en tijd	17 november 2008
Naam van de beller	Nienke Jellema-Fortuin
Benaderde partij	VU Amsterdam
Benaderde persoon + tel nr	Boris van Breukelen, 020 -5987393
1. Introductie. Licht het project in grote lijnen toe. Leg uit dat we een risico-inventarisatie aan het doen zijn en dat het doel van het gesprek is om de risico's boven tafel te krijgen	
2. Wat zijn specifieke ervaringen van de persoon . Probeer deze zo concreet mogelijk te benoemen (dus zo gedetailleerd als mogelijk)	<p>Hij heeft twee keer een onderzoeksvoorstel ingediend voor een onderzoek naar de effecten van KWO op de microbiologische activiteit in de ondergrond en op de afbraakprocessen van verontreinigingen. Helaas is dit twee keer afgewezen (door grote concurrentie van andere onderzoeksvoorstellen).</p> <p>Hij schat het risico van verstopping door alleen koolstofbrondosering niet zo groot, maar wel als er ook nutriënten worden toegevoegd. Het effect van de temperatuurverandering speelt ook mee op de bacteriegroei, maar bij lage-temperatuur KWO zal dit niet heel groot zijn.</p> <p>Hij heeft met PHREEQC de natuurlijke situatie met microbiële groei gesimuleerd; dit gaat met fitting parameters. Dit kan wel gebruikt worden om achteraf metingen te fitten, maar niet voor voorspellingen, aangezien de fitting parameters vooraf niet bekend zijn.</p>
3. Vraag naar evt andere personen in zijn organisatie of beroepsgroep met specifieke ervaring of informatie	<p>Ze hebben vroeger met Huub Reijnaards van Deltares in Utrecht (voorheen TNO-MEP)gewerkt aan de koppeling van KWO met sanering. Delaters is hier nog mee bezig en willen hier mogelijk een promovendus opzetten. Ze hebben zelfs het idee om dit proces te patenteren.</p>
4. Vraag naar literatuur referenties	
5. Benoem dat er een kennisbijeenkomst zal zijn in week 2 of 3 van 2009. Vraag of de persoon daarvoor een uitnodiging wil ontvangen	<p>Dit heb ik genoemd, maar hiervoor is alleen tijd beschikbaar als er een kans bestaat dat er voor de VU een project uit zal rollen.</p>

Datum en tijd	17 november 2008; 16:30
Naam van de beller	Nienke Jellema-Fortuin
Benaderde partij	Hydrochemical consultant
Benaderde persoon + tel nr	Dr. C.A.J. Appelo; 020 - 6716366
<p>1. Introductie. Licht het project in grote lijnen toe. Leg uit dat we een risico-inventarisatie aan het doen zijn en dat het doel van het gesprek is om de risico's boven tafel te krijgen</p>	
<p>2. Wat zijn specifieke ervaringen van de persoon . Probeer deze zo concreet mogelijk te benoemen (dus zo gedetailleerd als mogelijk)</p> <p>Wel theoretische ervaring met transport en afbraak organische verontreinigingen; geen praktijk ervaring</p>	
<p>3. Vraag naar evt andere personen in zijn organisatie of beroepsgroep met specifieke ervaring of informatie</p> <p>Boris van Breukelen, hij heeft koolstof isotopen onderzoek gedaan naar afbraak van verontreinigingen. Bij modelleren hiervan in PHREEQC moet je fitting parameters gebruiken omdat de omzettingssnelheden afhangen van de specifieke eigenschappen van de bacterie populatie.</p>	
<p>4. Vraag naar literatuur referenties</p> <p>Hoofdstuk 10 uit "Geochemistry, Groundwater and pollution, 2nd edition. C.A.J. Appelo en D. Postma, 2005.</p>	
<p>5. Benoem dat er een kennisbijeenkomst zal zijn in week 2 of 3 van 2009. Vraag of de persoon daarvoor een uitnodiging wil ontvangen</p> <p>n.v.t.</p>	

Datum en tijd	17 november 2008; 16:10
Naam van de beller	Nienke Jellema-Fortuin
Benaderde partij	Geochem Research BV
Benaderde persoon + tel nr	Prof. Dr. R.D. Schuiling; tel. Nr. 030 – 253 5006
<p>1. Introductie. Licht het project in grote lijnen toe. Leg uit dat we een risico-inventarisatie aan het doen zijn en dat het doel van het gesprek is om de risico's boven tafel te krijgen</p>	
<p>2. Wat zijn specifieke ervaringen van de persoon . Probeer deze zo concreet mogelijk te benoemen (dus zo gedetailleerd als mogelijk)</p> <p>-bij alleen rondpompen zal de verstopping t.g.v. een VOCL verontreiniging naar zijn gevoel nog wel meevallen -het is moeilijk bij koppeling van bovengronds saneren en kwo de stromen op elkaar af te laten stemmen -VOCL verontreinigingen liggen buiten zijn expertise</p>	
<p>3. Vraag naar evt andere personen in zijn organisatie of beroepsgroep met specifieke ervaring of informatie</p>	
<p>4. Vraag naar literatuur referenties</p>	
<p>5. Benoem dat er een kennisbijeenkomst zal zijn in week 2 of 3 van 2009. Vraag of de persoon daarvoor een uitnodiging wil ontvangen</p> <p>-We kunnen overwegen een uitnodiging te sturen, maar VOCL verontreinigingen zijn niet zijn expertise</p>	

Datum en tijd	17 november 2008
Naam van de beller	Nienke Jellema-Fortuin
Benaderde partij	Universiteit utrecht, afdeling Geochemie
Benaderde persoon + tel nr	Guus Loch, 030 – 253 5042
<p>1. Introductie. Licht het project in grote lijnen toe. Leg uit dat we een risico-inventarisatie aan het doen zijn en dat het doel van het gesprek is om de risico's boven tafel te krijgen</p>	
<p>2. Wat zijn specifieke ervaringen van de persoon . Probeer deze zo concreet mogelijk te benoemen (dus zo gedetailleerd als mogelijk)</p> <p>Ze hebben geen specifieke ervaring met de biologische en chemische effecten van kwo. Ze hebben zich wel gericht op het bestuderen van biologische en chemische processen in drinkwater.</p>	
<p>3. Vraag naar evt andere personen in zijn organisatie of beroepsgroep met specifieke ervaring of informatie</p> <p>Hij raadt aan contact op te nemen met Ruud Schotting en dhr. Hassanizadeh, omdat die wel onderzoek hebben gedaan omtrent putverstopping (wel geënt op de drinkwaterwereld).</p>	
<p>4. Vraag naar literatuur referenties</p> <p>n.v.t.</p>	
<p>5. Benoem dat er een kennisbijeenkomst zal zijn in week 2 of 3 van 2009. Vraag of de persoon daarvoor een uitnodiging wil ontvangen</p> <p>n.v.t.</p>	

Datum en tijd	20 november 2008; 15:30
Naam van de beller	Nienke Jellema-Fortuin
Benaderde partij	Universiteit utrecht, Faculteit hydrogeologie
Benaderde persoon + tel nr	Ruud Schotting; 030 – 253 5112
<p>1. Introductie. Licht het project in grote lijnen toe. Leg uit dat we een risico-inventarisatie aan het doen zijn en dat het doel van het gesprek is om de risico's boven tafel te krijgen</p>	
<p>2. Wat zijn specifieke ervaringen van de persoon . Probeer deze zo concreet mogelijk te benoemen (dus zo gedetailleerd als mogelijk)</p> <p>Ze zijn zeer geïnteresseerd in de koppeling van energieopslag en sanering; dit past mooi in hun onderzoeksterrein. Ze willen in de toekomst best met ons samenwerken op dit gebied en bijvoorbeeld één of meerdere studenten leveren om specifieke thema's op dit terrein te onderzoeken.</p> <p>Ze hebben met Ben-Rik de Zwart een putverstoppingsonderzoek gedaan naar de mechanische verstopping van winputten, dat de Technology Transfer Award van de Leverhulme Trust in Engeland heeft gewonnen, omdat dit een uitmuntend wetenschappelijk onderzoek was met zeer relevante praktische toepassing. De Zwart liet zien dat waterbedrijven mechanische putverstopping kunnen voorkomen of sterk vertragen door de pompen regelmatig aan- en uit te schakelen.</p>	
<p>3. Vraag naar evt andere personen in zijn organisatie of beroepsgroep met specifieke ervaring of informatie</p> <p>-Bert-Rik de Zwart (wat betreft verstopping van onttrekkingsputten); -Huub Rijnaarts van Deltares (voor de koppeling van energieopslag en sanering)</p>	
<p>4. Vraag naar literatuur referenties</p> <p>De Zwart, A.H., 2007: Investigation of clogging processes in unconsolidated aquifers near water supply wells (proefschrift, te downloaden via homepage TU Delft).</p>	
<p>5. Benoem dat er een kennisbijeenkomst zal zijn in week 2 of 3 van 2009. Vraag of de persoon daarvoor een uitnodiging wil ontvangen</p> <p>Benoemd; pas relevant als we in de toekomst samen aan een project zouden gaan werken.</p>	

Datum en tijd	27 november 2008; 10:00
Naam van de beller	Nienke Jellema-Fortuin
Benaderde partij	TTE Deventer
Benaderde persoon + tel nr	Aiko Hensums; 0570 - 665870
1.	<p>Introductie. Licht het project in grote lijnen toe. Leg uit dat we een risico-inventarisatie aan het doen zijn en dat het doel van het gesprek is om de risico's boven tafel te krijgen</p>
2.	<p>Wat zijn specifieke ervaringen van de persoon . Probeer deze zo concreet mogelijk te benoemen (dus zo gedetailleerd als mogelijk)</p> <p>TTE heeft de 'aanvliegroute' van de grootschalige visie en financiële instrumenten. Nu zijn ze voor Zwolle in de fase van een praktisch plan voor de binnenstad met de gebiedskarakteristieken. Ze denken over nieuwe normen voor de wetgeving etcetera op dit gebied: een goede juridische 'kapstok' om later de technische uitwerking aan op te hangen.</p> <p>Via "Zandgemeenten" hebben Apeldoorn en Zwolle al contact met elkaar over o.a. de combinatie van kwo en sanering, en kenden ze onze naam ook al. Ze hebben nu in het offerteverzoek voor de gebiedsvisie Zwolle een aantal specialisten genoemd (o.a. Arcadis). Hier staat IF nu niet in, maar ze zouden in de toekomst ook wel van IF advies in willen winnen. Op hun beurt willen ze in de toekomst ook best Apeldoorn helpen met een financieel en juridisch kader waarin de technische plannen voor koppeling van sanering en kwo kunnen worden ingepast.</p>
3.	<p>Vraag naar evt andere personen in zijn organisatie of beroepsgroep met specifieke ervaring of informatie</p> <p>Hij gaf aan dat ze met IF, Bioclear, Deltares, SKB en WUR ook in een samenwerkingsverband zitten waarbij combinatie energieopslag en sanering aan de orde is (onderzoeksprogramma "Meer met bodemenergie").</p>
4.	Vraag naar literatuur referenties
5.	<p>Benoem dat er een kennisbijeenkomst zal zijn in week 2 of 3 van 2009. Vraag of de persoon daarvoor een uitnodiging wil ontvangen</p> <p>Ze gaan op woensdag 3 december op bodembreed samen met gemeente Zwolle (Reinder) een presentatie geven over dit onderwerp en komen ook graag naar onze presentatie → geven aan dat het leuk is om dan contact met elkaar op te nemen.</p>

Datum en tijd	10 december 2008
Naam van de beller	Marc van Bommel
Benaderde partij	
Benaderde persoon + tel nr	Peter Doelman, 0317-410148
<p>1. Introductie. Licht het project in grote lijnen toe. Leg uit dat we een risico-inventarisatie aan het doen zijn en dat het doel van het gesprek is om de risico's boven tafel te krijgen</p> <p>Gebeld naar aanleiding van Bodem breed.</p>	
<p>2. Wat zijn specifieke ervaringen van de persoon . Probeer deze zo concreet mogelijk te benoemen (dus zo gedetailleerd als mogelijk)</p> <p>PD merkt dat er veel gebeurt op het gebied van WKO, 2,5 – 20 % energie besparing, is goed maar wat zijn de effecten? Microbiologie, alles is overal en het milieu selecteert. Bij WKO ga je op snelle tijdschalen de temperatuur variëren (T omhoog en omlaag), je krijgt veranderingen van redox, 11 gr t verschil, heen en weer. Wat zijn de effecten hiervan op de (microbiele) bodemecologie ?, PD noemt het proefschrift van Holliger als voorbeeld. Bij bepaalde T doet halorespiratie het wel, bij andere niet. Met grote T verschillen ben je een systeem van slag aan het maken. Eén site is dan niet zo'n probleem, maar moeten we dit overal in NL toepassen ? Let op het gaat niet alleen om T verschillen, maar ook om stijle gradienten ! Oligotrofe bacteriën, we weten er eigenlijk weinig van. Alle psychrofiële bacteriën hieronder lijden. De bodem is van nature een evenwichtig T-systeem. De juiste vragen moeten nu gesteld worden aan de juiste personen. Wat is het effect op het organisch materiaal ? Kunnen we dat materiaal definiëren ?</p>	
<p>3. Vraag naar evt andere personen in zijn organisatie of beroepsgroep met specifieke ervaring of informatie</p> <p>Hans van Veen, ecogenomics ,</p>	
<p>4. Vraag naar literatuur referenties</p> <p>Holliger proefschrift, "reductive dehalogenation" blz 92, klassieke referentie</p>	
<p>5. Benoem dat er een kennisbijeenkomst zal zijn in week 2 of 3 van 2009. Vraag of de persoon daarvoor een uitnodiging wil ontvangen</p>	

Datum en tijd	10 december 2008
Naam van de beller	Marc van Bommel
Benaderde partij	WUR
Benaderde persoon + tel nr	Gosse Schraa. 0317-483620
<p>1. Introductie. Licht het project in grote lijnen toe. Leg uit dat we een risico-inventarisatie aan het doen zijn en dat het doel van het gesprek is om de risico's boven tafel te krijgen</p> <p>GS weet van verstoppingen, zelf geen specifieke ervaring, project Uden, horizontale drains, aanvankelijk verstopping van infiltratiedrains, is later opgelost, onder gunstige omstandigheden ontstaat veel groei, vroegere collega's (Han de Kreuk) bij TNO hebben specifiek gewerkt aan ijzeroxidatie</p> <p>Meer bekend over ijzeroxidatie ? bij welke zuurstof concentratie ?</p> <p>Verder gesproken over kans op verstopping van de bodem door sulfaatreductie</p> <p>Gereduceerd zwavel weer oxideren ? Mogelijkheid met chloraat ? Vorming van zuurstof, via zwaveloxiderende org ?</p> <p>Waterstofperoxide is ook een mogelijkheid om metaalsulfides te oxideren</p>	
<p>2. Wat zijn specifieke ervaringen van de persoon . Probeer deze zo concreet mogelijk te benoemen (dus zo gedetailleerd als mogelijk)</p> <p>Project Uden Zelf geen specifieke kennis van putverstopping. Wel van microbiologische activiteit onder specifieke omstandigheden</p>	
<p>3. Vraag naar evt andere personen in zijn organisatie of beroepsgroep met specifieke ervaring of informatie</p> <p>Mensen die werken aan de zwavelcyclus, Piet Lens, Fons Stams, Zuurstof , University Wyoming, Patricia Colberg, werkt aan ijzerox org Cornell, Ghiorse, microbiology</p>	
<p>4. Vraag naar literatuur referenties</p>	
<p>5. Benoem dat er een kennisbijeenkomst zal zijn in week 2 of 3 van 2009. Vraag of de persoon daarvoor een uitnodiging wil ontvangen</p> <p>Wil graag op de hoogte gehouden worden van het project en is geïnteresseerd in mogelijkheden van het doen van onderzoek en metingen in een proefinstallatie</p>	

Datum en tijd	11 december 2008
Naam van de beller	Marc van Bommel
Benaderde partij	Oasen
Benaderde persoon + tel nr	Harrie Timmer
1. Introductie. Licht het project in grote lijnen toe. Leg uit dat we een risico-inventarisatie aan het doen zijn en dat het doel van het gesprek is om de risico's boven tafel te krijgen	
2. Wat zijn specifieke ervaringen van de persoon . Probeer deze zo concreet mogelijk te benoemen (dus zo gedetailleerd als mogelijk)	<p>Ondergronds beluchten, geen problemen met ijzerneslag.</p> <p>Het gaat fout bij menging, andere kant op (verdringing van anaeroob water door zuurstofrijk water) is geen probleem (20 jaar ervaring Oasen). O₂ rijk water wordt geïnfiltreerd in diep pakket, het water is ontijzerd, een paar duizend m³ er in, daarna onttrek je tien tot twintig keer zo veel. Ontijzering door zand filters, verblijftijd circa 0,5 uur, een keer in de zoveel tijd wordt het ijzerslib afgevoerd.</p> <p>Ervaring van een put in Langerak is minuscule kleine beetjes ijzer in het infiltratiewater verstopen de put.(0,1 mg/l).</p> <p>Vinylchloride, cis-dichlooretheen, raak je kwijt na de beluchting/ontijzering !</p> <p>Risico op aantrekken redoxgrens kun je niet verlagen door horizontale putten, gevoel is: niet doen, horizontale boring niet helemaal zeker bij redoxgrens, dure put; liever paar kleintjes waarvan er een paar verstopen. Bij een horizontale put kan doorbraak op een plek genoeg zijn voor volledige verstopping; dit maakt een horizontale put erg kwetsbaar.</p>
3. Vraag naar evt andere personen in zijn organisatie of beroepsgroep met specifieke ervaring of informatie	<p>Brabant water, Vitens</p>
4. Vraag naar literatuur referenties	<p>H₂O artikel, richtlijnen, ondergronds beluchten (Kees van Beek- Kiwa – H₂O). het wonder van nieuw-lekkerland, H₂O diepere infiltratie proeven langerak 94-96.</p>
5. Benoem dat er een kennisbijeenkomst zal zijn in week 2 of 3 van 2009. Vraag of de persoon daarvoor een uitnodiging wil ontvangen	<p>Hoeft geen uitnodiging, ander vakgebied</p>

Datum en tijd	12 december 2008; 11:00
Naam van de beller	Nienke Jellema-Fortuin
Benaderde partij	Deltares Utrecht, Princetonlaan 6
Benaderde persoon + tel nr	Huub Rijnaarts; 030 - 2564750
<p>6. Introductie. Licht het project in grote lijnen toe. Leg uit dat we een risico-inventarisatie aan het doen zijn en dat het doel van het gesprek is om de risico's boven tafel te krijgen</p>	
<p>7. Wat zijn specifieke ervaringen van de persoon . Probeer deze zo concreet mogelijk te benoemen (dus zo gedetailleerd als mogelijk)</p> <p>Ze hebben een aantal onderzoeksprojecten gehad voor de combinatie van kwo en saneringen. Ze hebben hier vanuit ook een patent aanvraag gedaan voor de combinatie van kwo en de in situ sanering van organische verontreinigingen in watervoerende pakketten. Dit willen ze nog verder gaan ontwikkelen en toepassen.</p> <p>Ze hebben verschillende trajecten waarop ze hiermee te maken hebben:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. In samenwerking met Philips Eindhoven en Strijp S; 2. Studie met IF, Bioclear, Utrecht en Tilburg: verkenning van hoe kwo en sanering in situ toegepast kan worden in een stedelijke omgeving; 3. Studie voor VROM over mogelijkheden en randvoorwaarden voor grootschalige toepassing van kwo en het ondergronds gebruik -> wat zijn mogelijkheden en knelpunten (de studie wordt dit jaar afgerond); 4. Door Provincies worden ze wel gevraagd voor advisering bij vergunningen (bijv. Flevoland); 5. Ze maken geologische modellering (vanuit DINO data en modellen) en maken geschiktheidskaarten. <p>Ze hebben ook gekeken naar wat je voor stoffen kan toevoegen voor het saneren en wat voor knelpunten dit geeft. Conclusie: er zijn knelpunten; praktijk onderzoek moet de omvang van deze knelpunten uitwijzen.</p>	
<p>8. Vraag naar evt andere personen in zijn organisatie of beroepsgroep met specifieke ervaring of informatie</p> <p>Nanne Hoekstra</p>	
<p>9. Vraag naar literatuur referenties</p> <p>Ze hebben wel wat openbare rapporten hierover. Hij gaat dit intern na bij Nanne Hoekstra en enkele anderen en stuurt dit medio volgende week per mail toe.</p> <p>Hij gaf aan dat bij Guido Bakema ook in zijn mailbox wat projectvoorstellen zijn binnengekomen voor een masterplan en een AIO onderzoek waar we wellicht wat interessante informatie uit kunnen halen.</p>	
<p>10. Benoem dat er een kennisbijeenkomst zal zijn in week 2 of 3 van 2009. Vraag of de persoon daarvoor een uitnodiging wil ontvangen</p> <p>n.v.t.</p>	

Bijlage 3 Literatuur – rapportage IF technology

1 Geraadpleegde bronnen

[Science Direct](#); gebruikte zoektermen:

- Redox AND clogging;
- Redox AND horizontal AND well;
- Cooling AND heating AND biodegradation;
- Seasonal AND aquifer AND biodegradation;
- Energy AND thermal AND aquifer AND biodegradation;
- Aquifer AND bioremediation AND ethene;
- Clogging AND bioremediation
- Clogging AND Fe(II)oxide
- Seasonal thermal energy storage AND contamination
- Seasonal thermal energy storage AND clogging AND aquifer
- Aquifer AND contamination AND clogging

[Google](#); gebruikte zoektermen:

- Combinatie bodemsanering en WKO
- Koppeling energieopslag sanering

[Kennisbank H2O](#); gebruikte zoektermen:

- Energieopslag;
- Koude-/warmteopslag;
- Sanering combinatie;
- Sanering horizontaal;
- Biologische afbraak

bibliotheek WUR ; gebruikte zoektermen:

- Energieopslag AND sanering

[Scirus](#); gebruikte zoektermen:

- Energieopslag AND sanering

Nationale proefschriftensite ;

- Sanering
- Energieopslag
- Koude-/warmteopslag

[Relevante literatuur bij IF aanwezig](#)

2 Samenvatting gevonden literatuur

[IF Technology, 2004. Temperatureffecten op grondwaterkwaliteit – Samenvatting bestaande kennis, rapport nr. 1/53232/GW.](#)

De snelheid waarmee micro-organismen kunnen groeien, neemt significant toe bij een toename van de temperatuur. De biomassa van micro-organismen bestaat uit koolwaterstoffen. Micro-organismen hebben daarom assimileerbaar organisch koolstof nodig om te kunnen groeien. In grondwater is assimileerbaar organisch koolstof vaak niet of nauwelijks aanwezig. Een toename van de temperatuur zorgt daardoor zelden voor een toename van de microbiologische populatie. Als wel assimileerbaar organisch koolstof aanwezig is, kan wel een toename veroorzaakt worden. Ieder type micro-organisme kan alleen binnen een zeker temperatuurbereik overleven. Veelal is dit bereik ongeveer 30 °C groot. Door een significante verandering van de temperatuur kan daarom een verschuiving in de samenstelling van de microbiologische populatie optreden.

[IF Technology en Krachtwerktuigen, 1992 - Koudeopslag in de bodem. Vergunningverlening in het kader van de Grondwaterwet, rapport nr. 3/9002/GW.](#)

Bij geringe temperatuursverhogingen treden veelal zeer geringe tot verwaarloosbare veranderingen op in de samenstelling van water en sediment. Bij een toename van de temperatuur van 10 °C kan de groeisnelheid van de aanwezige micro-organismen in het grondwater met een factor 1,5 tot 4 toenemen. Het is niet te verwachten dat de populatie belangrijk zal veranderen. Rond injectie- en onttrekkingsputten wordt het voedselaanbod voor organismen die zich op de zandkorrels in de aquifer bevinden verhoogd. Dit verhoogde voedsel aanbod, gecombineerd met een verhoogde temperatuur, zou kunnen zorgen voor versnelde groei. Aangezien het grondwater in een opslag-aquifer vrijwel altijd anaeroob zal zijn, is alleen een anaeroob metabolisme mogelijk. Dit betekent dat als sulfaat aanwezig is sulfaatreductie op kan treden. Is sulfaat al volledig gereduceerd, dan kan, bij aanwezigheid van voldoende koolstof, methaangisting optreden. Verstopping van onttrekkingsputten door sulfaatreductie is in het westen van Nederland waargenomen in drinkwaterputten. Het lijkt erop dat deze verstoppingsproblemen alleen daar voorkomen waar het organisch koolstofgehalte in het grondwater voldoende hoog is en bovendien sulfaat in het grondwater aanwezig is. Overigens is het belang van dit proces voor de grondwaterkwaliteit gering, omdat het grondwater ter plaatse toch al sterk gereduceerd is.

De enige aanwezige koolstofbron in het grondwater in gereduceerde aquifers bestaat uit humuszuren en fulvozuren. Deze zijn zeer slecht afbreekbaar. Van meer belang voor de groei van microorganismen is het gedeelte van het organisch koolstof wat wel afbreekbaar is voor micro-organismen. Dit wordt uitgedrukt in het AOC (assimileerbaar organisch koolstof). Het AOC gehalte van grondwater ligt veelal in de orde van enkele microgrammen C per liter.

Bij de LUW zijn experimenten verricht met materiaal van de opslag aquifer bij Bunnik (HA en LUW, 1987). Uit deze experimenten blijkt dat bij verwarming van het aquifer materiaal van 10 naar 30 °C de CO₂ ontwikkeling toeneemt. Onder aerobe condities blijkt de Q₁₀ van deze CO₂ produktie 1,5 te bedragen. Ook blijkt dat bij verwarming het gehalte aan opgelost organisch koolstof in het water toeneemt. Dit is waarschijnlijk het gevolg van de mobilisatie van humuszuren. Deze toename in het organisch koolstof gehalte en in de CO₂ produktie is ook bij andere experimenten waargenomen (zie Brons en Zehnder, 1989).

Uit kolomexperimenten aan hetzelfde sediment is daarnaast gebleken dat zowel onder aerobe als onder anaerobe condities bij 10 en 30 °C geen slijmvorming van betekenis optreedt. Wel bleek wederom dat bij verwarming van 10 naar 30 °C humuszuren in oplossing komen. Uit het feit dat er geen slijmproductie optreedt kan geconcludeerd worden dat de biomassa die gevormd wordt per tijdseenheid gering is. Dit wordt veroorzaakt door het zeer lage AOC gehalte van het grondwater. Grondwater in Nederland heeft veelal een zeer laag AOC-gehalte.

Zowel bij de warmte opslag Bunnik als bij de warmte opslag Groningen is onderzoek verricht naar de microbiologische processen in de opslag. Bij Bunnik is gekeken naar de bacterie-populatie in het grondwater. Bij het project in Groningen is eveneens gekeken naar de populatie in het water maar ook naar de populatie die groeide op plaatjes welke in peilbuizen gehangen waren in de opslag. Ook de metingen bij SPEOS-Zwitserland geven vergelijkbare resultaten (i.e. vrijwel geen waarneembaar effect).

[IF Technology, 2002 - Well and Borehole Failures in UTESS. State of the Art 2000. Arnhem, rapport nr. 2/9805/GW.](#)

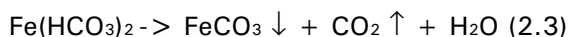
Chemical causes of clogging (mineral incrustation)

The quality of groundwater depends on its origin and of the aquifers through which it passes. As the groundwater flow is very slow, a quasi-equilibrium is often created between the minerals dissolved in the groundwater and the minerals of the grain skeleton. Effects of groundwater extraction can be an increased flow rate, a reduced pressure or the attraction of different types of water, which can entail disturbances in the chemical balance. Such disturbances will result in a precipitation reaction in the well or its immediate vicinity. In literature, this precipitation is often referred to as incrustation (or encrustation). If the precipitation is purely chemical, this will lead to a hard cement-like deposit. Often, however, microbiological activity will result in the formation of a softer gelatinous deposit. The absence of sufficient oxygen or too high pH levels will practically always prevent a complete chemical precipitation.

The most common precipitation reactions are those of calcium/magnesium and iron/manganese. In this study, we focus on iron/manganese precipitation. Iron and manganese are often found in groundwater in Fe²⁺ (ferrous) and Mn²⁺ (manganous) forms. Precipitation of iron and manganese will occur when the pH value and/or the redox potential (Eh) change. The following situations can then be distinguished:

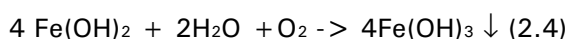
Pressure reduction

As explained above, a pressure reduction due to the extraction of groundwater will lead to the escape of CO₂. In groundwater with a relatively high iron content this may result in iron carbonate precipitation:



Access of oxygen

The access of oxygen brings about a raise in redox potential, as a result of which iron/manganese may precipitate (equation 2.4). When and if such a precipitation reaction occurs, will not only depend on the redox potential but also on pH value and CO₂ content.

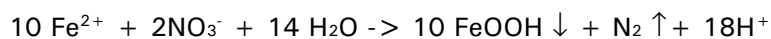


The access of oxygen may have various causes:

- the well is not sealed off from atmospheric influences at the top;
- the level of the groundwater table in the well is reduced to such an extent that part of the screen runs dry;
- both oxygen-containing (iron-less) and anoxic (iron-containing) waters are drawn in at the well. This may occur in phreatic aquifers where oxygen has reached greater depths (see box 'Oxygen in groundwater'). Three such situations can be distinguished:
 - The screen is located in both the oxygen-containing and the anoxic water. Here, mixing will take place primarily in the well proper, and a precipitation can be found on the screen
 - The screen is located in either the oxygen-containing or the anoxic water. As a consequence of prolonged groundwater extraction, however, a type of water can be drawn in that is different from that in which the screen is located. The mixing and subsequent precipitation will then take place on the bore hole wall. This will obstruct the inflow causing the other type of water to be drawn even more downward (or upward). As a result, the clogging will gradually extend.
 - The screen is located in an oxygen-containing layer which, however, in stagnant zones or dead-end pores contains anoxic water. As a consequence of groundwater extraction, the stagnant water is drawn in and a reaction with the oxygen-containing water can occur.

Access of nitrate

Like oxygen, nitrate can act as an oxidator resulting in dissolved iron (or manganese) to precipitate. Nitrate is especially found in phreatic aquifers.



Like with oxygen, precipitation will occur if a screen is located in both nitrate-containing (iron-less) and nitrate-less (iron-containing) water or when prolonged pumping has drawn in a different type of water.

Precipitation of iron will be visible as reddish brown (iron oxides) or brownish black (iron hydroxides) deposits, whereas manganese tends to produce brownish to blackish deposits. Most precipitation reactions will be due to iron. Manganese precipitation is found less often because this reaction requires approximately seven times as much oxygen to allow oxidation to occur (Muray, 1998) and moreover it proceeds much slower.

Biological causes (biofouling)

Biofouling of wells is the subject of many misunderstandings in literature on wells and drilling. The main mistake is the assumption that bacteria from outside the groundwater system are responsible for biological activity around wells. For that reason, many measures to prevent biofouling are focused on the disinfection of wells and drilling equipment (re. e.g. Driscoll, 1989, page 649). Extensive research by the US Department of Energy has demonstrated, however, that bacteria are naturally present at great depths. It is therefore not the bacteria that cause the problem, but disturbances in the natural system as a result of which bacteria obtain food and can start to grow.

The bacteria of which it has been demonstrated that they can bring about biofouling, can be divided into the following categories:

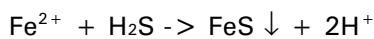
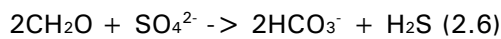
Iron-related bacteria (IRB)

These bacteria are able to accumulate iron and can be subdivided into:

- 'enzymatic' bacteria, which need iron for their growth. The most striking example is gallionella;
- 'non-enzymatic' slime-forming bacteria, which do not need iron for their growth but use it as a protection.

Sulphate-reducing bacteria (SRB)

These are anaerobic bacteria that - in the presence of organic material - are able to convert sulphate into H₂S (e.g. desulphovibrio, Appelo, 1993). The H₂S produced will to a large extent react with iron and produce an iron sulphide precipitation.



Slime-forming bacteria (SLYM)

This group of bacteria produces slime to protect the cells and to glue them to the soil grains. Minerals are captured by means of this slime. The most prominent group of slime-forming bacteria are iron bacteria.

Biofouling can have the following causes:

- The drilling of wells may increase the nutrient supply. This applies especially when drilling fluids are used which contain biologically degradable additives.
- An increased groundwater flow around the well will increase the nutrient supply. This will occur especially in aquifers that contain organic pollutants and in aquifers with a raised organic matter content.
- Different types of groundwater are drawn in, with oxidation-reduction processes occurring which are stimulated biologically.
- The well contains materials which can produce organic substances, or such materials are placed in the well. Examples are plastics.

These possible causes demonstrate that the decisive factor often is the increased nutrient supply. Consequently, if the bacteria problem is to be solved, attention shall be focused on removing the source of nutrients, not on killing the bacteria. The fact that the nutrient source is often not completely removed, explains that clogging problems recur (at a constantly higher rate).

Injection of water

More problems seem to arise with injection wells than with extraction wells, which is generally caused by the fact that the water to be infiltrated often strongly differs from the natural groundwater. The groundwater extracted from wells is the groundwater from the aquifer. The water to be infiltrated often differs from the receiving water in a several aspects. For instance, human interference has added oxygen, the dissolved gas content has been converted into gas bubbles, the nutrient supply and temperature have increased. These quality differences are responsible for all kinds of processes to be started in the well which considerably reduce the infiltration capacity.

The decrease in infiltration capacity can eventually result in total clogging of the well. Injecting water into such a well can make the well unstable (cracking). In a shallow aquifer this instability can also occur without clogging if injection is practised at too high capacities.

Many of the processes that accompany the clogging of extraction wells are also found in injection wells. Specific aspects for the clogging of injection wells are:

Mechanical clogging

Particulate matter originating from the extraction well will get into the injection well. Further particles may be added during transport to the injection well, such as corrosion products, adhesive remainders, rubber and plastics residues, solder etc. The degree to which an injection well becomes clogged as a result of particulate matter will largely depend on size distribution, particle properties and diversity. The more diverse and the more variation in size, the larger the clogging potential.

Biochemical clogging

Under specific circumstances the interaction between injected water and aquifer will result in clogging. One of these cases is a strong decrease in porosity due to the swelling of clay particles. Such strong swelling of clay may be anticipated in formations that contain clay (> 1%) and where the cation concentration is reduced or the ratio between monovalent and polyvalent cations is changed in favour of monovalent cations. A well-known example is the injection of fresh groundwater into a salt water aquifer. The problem could also arise in systems where the screens of the well are located in an aquifer with a sharp boundary between fresh and salt water. In the latter case the brackish mixing water in the salt part of the aquifer could create problems.

The infiltration of oxygen-containing groundwater into an anoxic iron-containing layer (or the other way around) also seems to be a potential clogging problem. Contrary to what happens in a screen or piping system, there will be hardly any mixing in the subsoil. The consequence will be that the oxygen-containing water gradually displaces the anoxic water and that there will be only a local mixing zone.

Thermal clogging

The permeability of a sand layer not only depends on the properties of the porous medium but also on the properties of the water. One of these is viscosity, which to some extent depends on temperature. A decrease in temperature from e.g. 10 to 0 °C will raise the viscosity by 25% and consequently lower the permeability by 25%. Especially in case a large delta T between natural and infiltration temperatures, this thermal clogging mechanism will be a factor to be taken into account.

Gas clogging

The surface tension in gas bubbles in porous media can be so strong that it prevents the transport of water. The largest tension is found in the smallest pores. This appears from the fact that e.g. gas clogging is found in the bore hole wall and not in the gravel pack of a well. Gas bubbles in injected water can obstruct a well within a minute. It is remarkable, however, that it is very well possible to extract water from a gas-clogged well. A possible explanation can be that the gas bubbles act as back-pressure valves; in case of injection they obstruct the pore space in the formation, and in case of extraction they are unable to obstruct the large pore space in the gravel pack.

Gas bubbles can be formed in injected water by the following mechanisms:

- The extraction of groundwater results in a lower pressure in the aquifer to such an extent that the saturation point can be exceeded and gas bubbles are formed. This type of bubble formation will be found especially in aquifers that are completely saturated with gas.
- The groundwater is pumped to the surface from a depth where a high hydrostatic pressure prevails. If the pressure in the piping system falls below the gas pressure, bubbles can be formed.
- The groundwater delivers its cold energy in the heat exchanger causing its temperature to be raised. If the pressure remains unchanged, the solubility of the gas will decrease and bubbles can be formed.
- Strong resistance losses in the piping system can bring about a pressure drop to a level that is lower than the gas pressure value.
- The groundwater is injected into the well under the influence of gravity or the injection tube is dimensioned large enough that underpressure is created.
- High flow rates can be created locally in the piping system (e.g. behind a control valve), with local lower pressures that can result in cavitation (implosion of gas bubbles due to under-pressure).

The degree to which gas bubbles in the injected water can cause clogging depends on several factors, such as:

- Distance between injection point and screen. With a very short distance, gas bubbles will not be able to rise in the well and they will be injected into the formation immediately.
- Depth of the aquifer. The pressure in deeper aquifers is higher, and in general the degree of gas saturation will be lower than in shallower aquifers. Deeper aquifers have a bigger chance that infiltrated gas bubbles become dissolved again.

[Zwart, A.H. de, 2007 - Investigation of clogging processes in unconsolidated aquifers near water supply wells. TU Delft. Delft.](#)

Generally two types of clogging are distinguished; chemical and mechanical clogging.

Chemical, biological and mechanical processes cause clogging of the well screen and in some cases within the aquifer itself. In the field, the type of clogging can be determined by measuring the water level in the well and in the gravel pack. There is a significant entrance resistance over the screen due to chemical clogging and therefore the water level at both measured locations differs by tens of centimeters. For mechanical clogging the water level is almost the same, but the specific capacity of the well, decreases in time due to clogging further away in the aquifer.

Typically chemical clogging of the well screen is caused by precipitation of iron and other oxides, sometimes in combination with biological activity. Most common is the precipitation of iron- and manganese (hydr)oxides as result of mixing of anoxic, iron or manganese rich water and oxygen rich groundwater. This mixing occurs in the well itself, resulting in chemical precipitation in and at the well screen, and in a later stage in the gravel pack.

[Breukelen, B.M. van, 2003 - Natural Attenuation of Landfill Leachate: a combined biogeochemical process analysis and microbial ecology approach. ISBN-nummer: 90-9016928-8. Uitgever: Vrije Universiteit. Amsterdam.](#)

Sanering van verontreinigde locaties met conventionele technieken zoals het afgraven van grond in combinatie met reiniging of gecontroleerde opslag, oppompen

van grondwater en zuivering, of het isoleren van vervuiling, zijn duur en vaak weinig effectief. Onderzoek heeft aangetoond dat vele soorten organische verontreinigingen onder specifieke omstandigheden biologisch afbreekbaar zijn. De afbreekbaarheid is sterk gerelateerd aan de redox condities. Afbraak door micro-organismen in combinatie met processen zoals verdunning en sorptie aan bodemdeeltjes leidt tot een afname van concentratie in de stromingsrichting van het grondwater. Dit verschijnsel wordt natural attenuation (letterlijk: natuurlijke afnemings) genoemd. Natural attenuation (NA) kan na verloop van tijd tot een evenwichtssituatie leiden waardoor verdere verspreiding niet plaatsvindt. Indien NA voldoende sterk is en een ontstane evenwichtssituatie toelaatbaar is, kan dit een aanzienlijke reductie in saneringskosten opleveren. De kennis over NA is echter nog te beperkt om met enige zekerheid de ontwikkeling van een pluim van grondwaterverontreiniging te kunnen voorspellen. Het in de gaten houden van een pluim door middel van monitoring blijft dan ook noodzakelijk.

[CUR/NOBIS, 1998. Ontwerp en onderhoud van infiltratie- en onttrekkingsmiddelen. Rapportnr. 96-03-06.](#)

Verstopping van win- en retourmiddelen kan door een aantal (micro-)biologische processen worden veroorzaakt. Dit gaat vaak samen met geochemische processen. Microbiologische verstoppingsverschijnselen kunnen pas een rol spelen als wordt voldaan aan een aantal randvoorwaarden. Algemene kritische parameters zijn: het type en de beschikbaarheid van substraat, elektronenacceptor en nutriënten, gunstige fysische omstandigheden (temperatuur, pH, redoxpotentiaal) en eventuele toxiciteit van verontreinigingen. De relevantste microbiële verstoppingsprocessen zijn accumulatie van biomassa en vorming van neerslagen. Bij biologische verstopping door neerslagreacties zijn oxidatie van ijzer(II) en mangaan(II) en sulfaatreductie in aanwezigheid van metaalionen het relevantst.

Preventieve maatregelen voor biologische verstoppingsverschijnselen kunnen zijn: waterbehandelingsmethoden of doseringsstrategieën (zoals dosering bij lage temperatuur, alternerend doseren of intermitterend doseren. Desondanks kan verstopping op termijn toch optreden. In dat geval heeft vroegtijdig periodiek reinigen de voorkeur boven curatief reinigen.

[Holländer, H.M. et al., 2005. Labor-Säulenversuche zur Untersuchung von Clogging-Effekten im Grundwasserleiter – Einfluss von physikalischen An- und Ablagerungen, Gasblasen und biologischer Aktivität. Grundwasser 4/2005, p. 205 – 215.](#)

Artificial recharge of surface water into deep aquifers using ASR-wells (Aquifer Storage Recovery) which allow infiltration and pumping with the same well encounters the problem of clogging at the filter and nearby aquifer material. This results in a decrease of infiltration capacity. The clogging effect is mainly caused by physical deposition of fine particles in the aquifer matrix, by geochemical reactions, air entrapment and growth of biofilms. The active pore volume is reduced by these processes and therefore the conductivity of the aquifer. A second aspect of the experiments was the investigation of the possibility of the redevelopment of the hydraulic conductivity by back-washing with clean water.

The results of the experiments show that the biological clogging process causes the largest reduction of the conductivity when using untreated surface water for infiltration. The influence of the deposition of particles, however, is relatively small. The deposition of particles could be reversed partly by backwashing periods. A biofilm could only be removed employing large abstraction rates. Bubbles in the

aquifer are not very important because they can dissolve especially during longer infiltration breaks.

[Albrechtsen, H.-J., Boe-Hansen, R., Henze, M., Mikkelsen, P.S. \(1998\): Microbial growth and clogging in sand column experiments simulating artificial recharge of groundwater.- In: Peters, J.H. et al.: Artificial recharge of groundwater: 73–77; Rotterdam.](#)

Clogging in sand columns infiltrated with untreated lake water was studied in laboratory experiments. During the clogging a substantial oxygen consumption in the sand, and reduction of the dissolved organic carbon (DOC) and assimilable organic carbon (AOC) over the column was observed. The co-occurrence of bacteria with the organic particles demonstrated a high bacterial activity in the clogging layer.

[I. D. Benekos, C. A. Shoemaker, J. R. Stedinger, 2007. Probabilistic risk and uncertainty analysis for bioremediation of four chlorinated ethenes in groundwater. Stoch Environ Res Ris Assess \(2007\) 21:375–390](#)

Groundwater contamination risk assessment for health-threatening compounds should benefit from a stochastic environmental risk assessment which considers the effects of biological, chemical, human behavioral, and physiological processes that involve elements of biotic and abiotic aquifer uncertainty, and human population variability. This paper couples a complex model of chemical degradation and transformation with movement in an aquifer undergoing bioremediation to generate a health risk analysis for different population cohorts in the community. A twostage Monte Carlo simulation has separate stages for population variability and aquifer uncertainty yielding a computationally efficient and conceptually attractive algorithm. A hypothetical example illustrates how risk variance analysis can be conducted to determine the distribution of risk, and the relative impact of uncertainty and variability in different sets of parameters upon the variation of risk values for adults, adolescents, and children. The groundwater example considers a community water supply contaminated with chlorinated ethenes. Biodegradation pathways are enhanced by addition of butyrate. The results showed that the contribution of uncertainty to the risk variance is comparable to that of variability. Among the uncertain parameters considered, transmissivity accounted for the major part of the output variance. Children were the most susceptible and vulnerable population cohort.

[David E. Ellis, Edward J. Lutz, J. Martin Odom, Ronald J. Buchanan, Craig L. Bartlett, Michael D. Lee, Mark R. Harkness and Kim A. De Weerd, 2000. Bioaugmentation for Accelerated In Situ Anaerobic Bioremediation. Environ. Sci. Technol., 2000, 34 \(11\), 2254-2260.](#)

A successful anaerobic bioaugmentation was carried out on a trichloroethene (TCE)-contaminated aquifer at Dover Air Force Base, DE, using a microbial enrichment culture capable of dechlorinating TCE to ethene. A hydraulically controlled pilot system 12 x 18 m was constructed 15 m below ground surface in an alluvial aquifer to introduce nutrients and substrate into the groundwater. Ambient TCE and cis-1,2-dichloroethene (cDCE) concentrations in groundwater averaged 4800 and 1200 µg/L. The pilot operated for 568 days. Results by day 269 confirmed previous laboratory work showing that dechlorination did not proceed past cDCE. By this time, most of the TCE was dechlorinated to cDCE, and cDCE was the predominant contaminant. An ethene-forming microbial enrichment culture from the Department of Energy's Pinellas site in Largo, FL, was injected into the pilot area. After a lag period of about 90 days, vinyl chloride and ethene began to appear in wells. The injected culture

survived and was transported through the pilot area. By day 509, TCE and cDCE were fully converted to ethene.

[Anne Kirketerp Friis, Julie L. L. Kofoed, Gorm Hero, Hans-Jørgen Albrechtsen and Poul L. Bjerg. Microcosm evaluation of bioaugmentation after field-scale thermal treatment of a TCE-contaminated aquifer. *Biodegradation* \(2007\) 18:661–674](#)

This paper investigates effects of combining thermal and biological remediation, based on laboratory studies of trichloroethene (TCE) degradation. Aquifer material was collected 6 months after terminating a full-scale Electrical Resistance Heating (ERH), when the site had cooled from approximately 100°C to 40°C. The aquifer material was used to construct bioaugmented microcosms amended with the mixed anaerobic dechlorinating culture, KB-1TM, and an electron donor (5 mM lactate). Microcosms were bioaugmented during cooling at 40, 30, 20, and 10°C, as temperatures continually decreased during laboratory incubation. Redox conditions were generally methanogenic, and electron donors were present to support dechlorination. For microcosms bioaugmented at 10°C and 20°C, dechlorination stalled at cis-dichloroethene (cDCE) and vinyl chloride (VC) 150 days after bioaugmentation. However, within 300 days of incubation ethene was produced in the majority of these microcosms. In contrast, dechlorination was rapid and complete in microcosms bioaugmented at 30°C. Microcosms bioaugmented at 40°C also showed rapid dechlorination, but stalled at cDCE

with partial VC and ethene production, even after 150 days of incubation when the temperature had decreased to 10°C. These results suggest that sequential bioremediation of TCE is possible in field-scale thermal treatments after donor addition and bioaugmentation and that the optimal bioaugmentation temperature is approximately 30°C. When biological and thermal remediations are to be applied at the same location, three bioremediation approaches could be considered: (a) treating TCE in perimeter areas outside the source zone at temperatures of approximately 30°C; (b) polishing TCE concentrations in the original source zone during cooling from approximately 30°C to ambient groundwater temperatures; and (c) using bioremediation in downgradient areas taking advantages of the higher temperature and potential release of organic matter.

[J. Islam, N. Singhal and M. O'Sullivan, 2001. Modeling Biogeochemical Processes in Leachate-Contaminated Soils: A Review. *Transport in Porous Media* 43: 407–440, 2001.](#)

During subsurface transport, reactive solutes are subject to a variety of hydrological, physical and biochemical processes. The major hydrological and physical processes include advection, diffusion and hydrodynamic dispersion, and key biochemical processes are aqueous complexation, precipitation/ dissolution, adsorption/desorption, microbial reactions, and redox transformations. The addition of strongly reduced landfill leachate to an aquifer may lead to the development of different redox environments depending on factors such as the redox capacities and reactivities of the reduced and oxidised compounds in the leachate and the aquifer. The prevailing redox environment is key to understanding the fate of pollutants in the aquifer. The local hydrogeologic conditions such as hydraulic conductivity, ion exchange capacity, and buffering capacity of the soil are also important in assessing the potential for groundwater pollution. Attenuating processes such as bacterial growth and metal precipitation, which alter soil characteristics, must be considered to correctly assess environmental impact. A multicomponent reactive solute transport model coupled to kinetic biodegradation and precipitation/dissolution

model, and geochemical equilibrium model can be used to assess the impact of contaminants leaking from landfills on groundwater quality. The fluid flow model can also be coupled to the transport model to simulate the clogging of soils using a relationship between permeability and change in soil porosity. This paper discusses the different biogeochemical processes occurring in leachate-contaminated soils and the modeling of the transport and fate of organic and inorganic contaminants under such conditions.

Bijlage 4 Literatuur – rapportage Bioclear

Gezocht via zoekmachines Scopus en PubMed met de volgende zoektermen:

- Well clogging
- Well clogging and groundwater
- Well clogging and chlorinated ethenes;
- Well fouling and chlorinated ethenes;
- Well cleaning and chlorinated ethenes;
- Well cleaning
- Well cleaning and chlorinated ethenes
- Well cleaning and infiltration
- Well clogging prevention
- Iron bacteria
- Iron bacteria and clogging
- Infiltration technology

Resultierend in twee relevante artikelen.

Via zoekmachine Google met de volgende zoektermen:

- Well clogging
- Clogging biobarrier
- Verstopping bioscherm
- Sustainable biobarrier
- Well cleaning
- Iron bacteria and clogging

Steeds de eerste 10 blz bekeken (meest relevante hits)

Veel achtergrondinfo op:

<http://www.groundwaterscience.com/free-article-library/free-article-library/well-performance-maintenance-and-rehabilitation/menu-id-134.html>

Interessante NL link over horizontale wintechnieken:

<http://www.oasen.nl/archief/Pages/Presentatiesvansymposiumhorizontalewintechnieken.aspx>

Artikelen en samenvattingen

Bioremediation of cis-DCE at a sulfidogenic site by amendment with propionate

[Abstract + Refs](#)

[Full Text](#)

[+ Show Abstract](#)

[Hoelen, T.P.](#),
[Cunningham, J.A.](#),
[Hopkins, G.D.](#),
[C.A.](#),
[Reinhard, M.](#)

2006 *Ground Water Monitoring and Remediation* 26 (3), pp. 82-91

Abstract The technical feasibility of in situ reductive dechlorination of cis-dichloroethene (cDCE) and vinyl chloride (VC) was demonstrated at a sulfidogenic ground water site. Preceding laboratory studies had indicated that dechlorination at the site was limited by the supply of electron donors, that dechlorinating activity was sparsely and heterogeneously distributed, and that dechlorination was strongly enhanced by mixing sediments from multiple locations at the site. Based on these observations, the remediation strategy consisted of amending the ground water with sodium propionate solution using a pair of recirculation wells as a mixing device. This strategy was able to overcome the sparse initial distribution of biological activity by creating a treatment zone. Dechlorination and sulfate reduction commenced within 10 and 4 d, respectively, after propionate amendment began. Dechlorination efficiency increased during the 2 months of continuous operation. By the end of the 2 months, treatment converted ~1000 µg/L cDCE nearly stoichiometrically into ethene, with only low concentrations of VC remaining. More than 90% of chlorinated ethenes were removed as the ground water traveled from one well to the other (travel time of ~1 to 2 weeks). Near-complete removal of ~250 mg/L sulfate accompanied the rapid dechlorination, but no methanogenesis was observed. Aquifer clogging in the vicinity of the propionate injection wells became evident after ~40 d of propionate amendment and was attributed to the growth of sulfate-reducing bacteria and/or the formation of insoluble metal sulfides. Clogging was mitigated by pulsed amendment of the propionate solution. Copyright © 2006 The Author(s).

Moderate Bioclogging Leading to Preferential Flow Paths in Biobarriers

Katsutoshi Seki¹, Martin Thullner², Junya Hanada³, Tsuyoshi Miyazaki⁴
Copyright 2006 *Ground Water Monitoring and Remediation* 26 (3)

Abstract Permeable reactive barriers (PRBs) are an alternative technique for the biological in situ remediation of ground water contaminants. Nutrient supply via injection well galleries is supposed to support a high microbial activity in these barriers but can ultimately lead to changes in the hydraulic conductivity of the biobarrier due to the accumulation of biomass in the aquifer. This effect, called bioclogging, would limit the remediation efficiency of the biobarrier. To evaluate the effects bioclogging can have on the flow field of a PRB, flow cell experiments were carried out in the laboratory using glass beads as a porous medium. Two types of flow cells were used: a 20- x 1- x 1-cm cell simulating a single injection well in a one-dimensional flow field and a 20- x 10- x 1-cm cell simulating an injection well gallery in a two-dimensional flow field. A mineral medium was injected to promote microbial growth. Results of 9 d of continuous operation showed that conditions, which led to a moderate (50%) reduction of the hydraulic conductivity of the one-dimensional cell, led to a preferential flow pattern within the simulated barrier in the two-dimensional flow field (visualized by a tracer dye). The bioclogging leading to this preferential flow pattern did not change the hydraulic conductivity of the biobarrier as a whole but resulted in a reduced residence time of water within barrier. The biomass distribution measured after 9 d was consistent with the observed clogging effects showing step spatial gradients between clogged and unclogged regions.

Gezocht: artikelen na 2000

Hydraulic conductivity change of bio-barrier formed in the subsurface by the adverse conditions including freeze–thaw cycles

Geonha Kim Department of Civil and Environmental Engineering, Hannam University, 133 Ojungdong, Daedukku, Daejeon 306-791, South Korea

Received 24 January 2002;

accepted 19 October 2003.

Available online 11 December 2003.

Abstract

Bio-barrier is an emerging technology to control subsurface contaminant plume by making microorganisms clog soil pore to form a subsurface barrier. Extracellular polymeric substances (EPS) of microorganisms play an important role to maintain decreased hydraulic conductivity. In this research, the hydraulic conductivity changes of biomass–soil mixtures by the adverse conditions were studied to evaluate the applicability to the field condition as an alternative barrier material. The microorganisms used in this research were bacterium, *Azotobacter chroococcum*, and fungus, *Aureobasidium pullulans*, respectively. The hydraulic conductivity decreased to 1–10% of the initial hydraulic conductivity of residual soil, 1×10^{-4} cm/s, and stayed constant while substrate was provided. Under adverse conditions such as no substrate available, chemical solution permeation and freeze–thaw cycles, the hydraulic conductivity increased by 30–50% compared to the lowest value. The decrease of hydraulic conductivity in a fungus–soil mixture was faster than that of a bacterium–soil mixture. The fungus–soil mixture, however, was more sensitive to the adverse conditions. After the adverse conditions, hydraulic conductivity shows even lower value compared to that of before the adverse conditions.

Title: Flow Characteristics in Permeable Reactive Barrier Affected by Biological Clogging

Authors: Seki, K.; Hanada, J.; Miyazaki, T.

Affiliation: AA(University of Tokyo, Yayoi 1-1-1, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8657 Japan ; seki@soil.en.a.u-tokyo.ac.jp), AB(University of Tokyo, Yayoi 1-1-1, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8657 Japan ; junya_hanada@nm.maff.go.jp), AC(University of Tokyo, Yayoi 1-1-1, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8657 Japan ; amiyat@soil.en.a.u-tokyo.ac.jp)

Publication: American Geophysical Union, Fall Meeting 2004, abstract #H11A-0290

Publication Date: 12/2004

Origin: AGU

AGU Keywords: 1800 HYDROLOGY, 1829 Groundwater hydrology, 1831 Groundwater quality, 1832 Groundwater transport

Bibliographic Code: 2004AGUFM.H11A0290S

Abstract

Permeable reactive barriers (PRB) are becoming popular for the in situ remediation of contaminated groundwater. The efficiency of the PRB is affected by permeability of the reactive zone, because when permeability decreases contaminants can bypass the reactive zone without degraded. One of the factors affecting permeability of the permeable reactive zone is biological clogging of soil pore, i.e., biomass buildup and resultant decrease in hydraulic conductivity. So far biological clogging in laboratory was mostly observed in one-dimensional flow field, but the actual flow field in PRB is better simulated in two-dimensional flow field. The objective of this study is to observe the flow characteristics in PRB by using simulated flow cells in laboratory, by comparing one-dimensional and two-dimensional flow field. One-dimensional flow field was simulated by 20 cm length and 1 cm width flow cell, and two-dimensional flow field was simulated by 20 cm length and 10 cm width flow cell. Each flow cell was operated under water-saturated conditions, in horizontal position, and at a constant temperature of 20 degree centigrade. Glass beads of 0.1 mm mean diameter was packed uniformly in the flow cells and inoculum was injected into the nutrient injection ports at the middle of the flow cells. After 24 h incubation time continuous flow was started. Background flow of de-ionized water was supplied to the inlet ports, and the mineral medium was supplied from the nutrient injection ports. The flux was measured every day and local hydraulic head distribution was measured by water manometer, and hydraulic conductivity was calculated. The flow cell experiments were continued for 9 days. In one-dimensional flow cell, hydraulic conductivity of the nutrient supplied part decreased to about half of the initial value in 9 days flow period, where the hydraulic conductivity of the part where nutrient was not supplied remained constant. Bacterial and fungal number in the moderately clogged zone, where nutrient was supplied, increased in two orders of magnitude and the decrease in the hydraulic conductivity was associated with biomass buildup. In two-dimensional flow cell, biomass buildup of the nutrient supplied zone was also observed and moderately clogged biobarrier was formed. Unlike one-dimensional flow cell, where flux was kept uniform throughout the flow cell, the flux decreased at the biobarrier and the preferential flow between biobarriers was invoked. Flux at the preferential flow path was higher than average flux in the whole cell. This result suggests that biological clogging of PRB wells can cause changes in flow field pattern of contaminant plume, even if the extent of clogging is moderate

Moderate Bioclogging Leading to Preferential Flow Paths in Biobarriers

Katsutoshi Seki ¹, Martin Thullner ², Junya Hanada ³, Tsuyoshi Miyazaki ⁴

Abstract

Permeable reactive barriers (PRBs) are an alternative technique for the biological in situ remediation of ground water contaminants. Nutrient supply via injection well galleries is supposed to support a high microbial activity in these barriers but can ultimately lead to changes in the hydraulic conductivity of the biobarrier due to the accumulation of biomass in the aquifer. This effect, called bioclogging, would limit the remediation efficiency of the biobarrier. To evaluate the effects bioclogging can have on the flow field of a PRB, flow cell experiments were carried out in the laboratory using glass beads as a porous medium. Two types of flow cells were used: a 20- × 1- × 1-cm cell simulating a single injection well in a one-dimensional flow field and a 20- × 10- × 1-cm cell simulating an injection well gallery in a two-dimensional flow field. A mineral medium was injected to promote microbial growth. Results of 9 d of continuous operation showed that conditions, which led to a moderate (50%) reduction of the hydraulic conductivity of the one-dimensional cell, led to a preferential flow pattern within the simulated barrier in the two-dimensional flow field (visualized by a tracer dye). The bioclogging leading to this preferential flow pattern did not change the hydraulic conductivity of the biobarrier as a whole but resulted in a reduced residence time of water within barrier. The biomass distribution measured after 9 d was consistent with the observed clogging effects showing step spatial gradients between clogged and unclogged regions.

[J Contam Hydrol. 2006 May 23; : 16725225 \(P,S,G,E,B\)](#)

Quantification of pore clogging characteristics in potential permeable reactive barrier (PRB) substrates using image analysis.

J Wantanaphong, S J Mooney, E H Bailey

Environmental Sciences, School of Biosciences, University of Nottingham, University Park, Nottingham, NG7 2RD, UK.

Permeable reactive barriers (PRBs) are now an established approach for groundwater remediation. However, one concern is the deterioration of barrier material performance due to pore clogging. This study sought to quantify the effect of pore clogging on the alteration of the physical porous architecture of two novel potential PRB materials (clinoptilolite and calcified seaweed) using image analysis of SEM-derived images. Results after a water treatment contaminated with heavy metals over periods of up to 10 months identified a decrease in porosity from c. 22% to c. 15% for calcified seaweed and from c. 22% to c. 18% for clinoptilolite. Porosity was reduced by as much as 37% in a calcified seaweed column that clogged. The mean pore size (2D) of both materials slightly decreased after water treatment with c. 11% reduction in calcified seaweed and c. 7% reduction in clinoptilolite. An increase in the proportion of crack-shaped pores was observed in both materials after the contaminated water treatment, most noticeably in the bottom of columns where contaminated water first reacted with the material. The distribution of pores (within a given image) derived from the distance transform indicated the largest morphological differences in materials was recorded in calcified seaweed columns, which is likely to impact significantly on their performance as barrier materials. The magnitude of porosity reduction over a short time period in relation to predicted barrier longevity suggest these and similar materials may be unsuited for barrier installation in their present form.

Bijlage 5 Totaal overzicht van de risico's

HOOFDGROEPEN	SUBGROEP 1	SUBGROEP 2	SPECIFIEK TECHNISCH RISICO, {combivariant nr}, lit. ref.
Hoofdgroep 1. Risico's onttrekkingszijde	Aantrekken redoxgrens	Biologisch	1A. Bronverstopping door biologisch versnelde ijzer oxidatie (bij lage zuurstof spanning) vaak met slijmvorming {1,2,3,4}
		Fysisch-Chemisch	1B. Bronverstopping door neerslag van ijzer(II)(hydr-)oxiden of ijzercarbonaten (bij infiltratie is dit een groter risico dan bij onttrekken) {1,2,3,4} IF rapport nr. 2/9805/GW {1,2,3,4}
	Verhoging dynamiek door stroming en menging	Biologisch / Chemisch	1C. Als gevolg van het onttrekken kunnen versnelde redoxreacties plaatsvinden, met name ijzerreductie en / of sulfaatreductie. Dit leidt tot een toename van het ijzergehalte en / of het sulfide gehalte en vergroot de kans op verstopping van het onttrekkingsfilter {1,2,3,4}
		Chemisch	1D. Als gevolg van het onttrekken kan menging plaatsvinden van waterstromen met verschillende chemische kwaliteit (o.a., pH, hardheid, temperatuur, druk). Hierdoor kunnen neerslagen worden gevormd (bijvoorbeeld Calcium of magnesium carbonaat){1,2,3,4}
	Invloed temperatuurschommelingen	Biologisch	1E. Een toename van de temperatuur kan een versnelde groei van micro-organismen veroorzaken {1,2,3,4} IF rapport nr. 1/53232/GW
Hoofdgroep 2. Risico's bovengronds	Risico's van de bovengrondse zuiveringstechniek	Zandfiltratie	2A. Te laag verwijderingsrendement van VOCl {1,2}
			2B. Hoog ijzergehalte van het grondwater, vorming ijzerslib {1,2}
	Strippen	2C. Hoog rendement benodigd (grote stripper), ijzer neerslagen (fouling) {1,2}	
	Fouling van leidingen, kleppen en systemen	Biologisch	2D. Biologisch gevormde ijzeroxides / slijmvorming bij lage zuurstof spanning (gallionella of leptothrix) IF rapport nr. 2/9805/GW {1,2,3,4}
		Chemisch	2E. Fouling door neerslag van ijzer (II)(hydr-)oxiden {1,2,3,4}
			2F. Overige neerslagen (calcium, magnesium, aluminium, fosfaten etc) {1,2,3,4}
	Gassen	2G. Ontgassing door drukval achter regelkleppen {1,2,3,4}	
Hoofdgroep 3. Risico's afvoerszijde	Putverstopping op filterspleet / boorgatwand	Organisch	3A. Biomassa groei ter plaatse {2,3,4}
			3B. Biomassa aanvoer met onttrekkingswater (micro-organismen zoals bacteriën, algen, schimmels, virussen etc) {2,3,4}
			3C. Biologisch gevormde ijzeroxides / slijmvorming (gallionella of leptothrix) {2,3,4,}
		Anorganisch	3D. Gasbellen ter plaatse biologisch gevormd (methaan); NOBIS rapport 96-3-06 {3,4,}
			3E. Metaalsulfides (ter plaatse gevormd); NOBIS rapport 96-3-06 {3,4}
			3F. Zwevende stof (deeltjes aangevoerd met INF water) IF rapport nr. 2/9805/GW {2,3,4}
	Verstopping van de bodem	Organisch	3G. Gasbellen (aanvoer methaan) IF rapport nr. 2/9805/GW {3,4}
			3H. Neerslag van ijzer(II)(hydr-)oxiden door menging van ijzer- en mangaanhoudend water met nitraat- en/of zuurstofhoudend water een significant risico IF rapport nr. 2/9805/GW {3,4}
		Anorganisch	3I. Calcium, Fosfaat, aluminium, mangaan en magnesium neerslagen (ter plaatse gevormd) {2,3,4}
			3J. Biomassa groei; NOBIS rapport 96-3-06 {2,3,4}
Invloed temperatuurschommelingen	Organisch	3K. Biologische vorming van metaalsulfides (ter plaatse); NOBIS rapport 96-3-06 {3,4}	
	Anorganisch	3L. Methaan ter plaatse biologische gevormd (gasbellen) IF rapport nr. 2/9805/GW {3,4}	
		3M. Deeltjes (colloïden), zoals klei, roestdeeltjes {2,3,4}	
		3N. Een toename van de temperatuur kan een versnelde groei van micro-organismen veroorzaken IF rapport nr. 1/53232/GW {2,3,4}	
		3O. Thermale verstopping. Als gevolg van verschillen in viscositeit kan "verstopping" ontstaan {2,3,4}	
Hoofdgroep 4. Geologische risico's	Onzekerheid in bodemopbouw door stuwing	Aanwezigheid kleischotten	4A. De aanwezigheid van verticale kleischotten zorgt voor een heterogeen karakter van het bodemenergiesysteem {1,2,3,4}
		Onzekere zanddikte	4B. Door stuwing is de beschikbare zanddikte onzeker en variabel {1,2,3,4}
	Bodemheterogeniteit	Menging	4C. Voorkeursstromingen, als gevolg van doorlatendheidsverschillen, onvoldoende menging {3,4}
	Onzekerheid in aanwezigheid Eem klei		4D. De Kanaalzone ligt op een grensgebied waar de Eem klei plaatselijk wel en niet voorkomt. Waar de Eem klei ontbreekt is het risico op bronverstopping in de onttrekkingsfilters groter {1,2,3,4}
Hoofdgroep 5. Risico's door keuze concept	Concept keuze voor horizontale bronnen	Schoonpompen	5A. Moeilijker schoon te pompen en te regenereren, problemen met boorspoeling {1,2,3,4}
	Concept keuze voor onttrekken, zuiveren en lozen op kanaal of beken	Zuiveren	5B. Zeer grote capaciteit nodig voor bovengrondse zuiveringsinstallatie, voldoen aan specifieke eisen (temperatuur, ijzer, ecologie) {1}
	Concept keuze voor bioscherm	Menging	5C. Verkrijgen van voldoende menging van koolstofbron, biomassa en verontreiniging {2,3,4}
	Luchtdichtheid systeem, bedrijf systeem	Zuurstof intrede	5D. Neerslagen en biologische activiteit agv zuurstofintrede {1,2,3,4}
	Systeemkeuzes	Keuze C-bron	5E. Zwevende deeltjes {3,4}
			5F. pH effecten {3,4}
		Keuze nutriënten	5G. Fosfaatneerslagen {3,4}
	Onvoldoende dechlorering in de bodem	Biologisch	5H. Ontbreken dechloroerders {3,4}
5I. Onvoldoende reductie van de bodem {3,4}			
		5J. Onvoldoende C-bron {3,4}	

Bijlage 2 Verslag RISMAN sessie

betreft Notulen Risman sessie WKO/saneren
datum 31 maart 2009
plaats Apeldoorn

1. Inleiding

Aan het overleg hebben de volgende personen deelgenomen:

Bas Godschalk (IF), Benno Drijver (IF), Arno Peekel (SKB), Tim Grotenhuis (WU), Charles Pijls (Tauw), Huub Rijnaarts (Deltares/WU), Ron Nap (Gemeente Apeldoorn), Mohamed el Massoudi (Bodem+plus), Hans Slenders (Arcadis), Gerben van der Sterren (TTE), Siefko Spaan (Waterschap Veluwe), Edwin Dijkhuis (Bioclear, notulist) en Marc van Bommel (Bioclear, voorzitter).

Afwezig met kennisgeving: Rachelle Verburg (Arcadis)

De volgende personen zijn wel benaderd, maar hebben zich niet aangemeld:

Gosse Schraa, Eric van Griensven, Theo Olsthoorn, Pieter Stuyfzand, Kees van Beek, Peter de Bruin, Harrie Timmer, Boris van Breukelen en Weren de Vet hebben aangegeven dat ze eventuele vragen die naar aanleiding van de sessie zijn overgebleven per email willen beantwoorden.

Omwille van de leesbaarheid van het verslag is gekozen voor een samenvatting van de discussies en niet voor een woordelijke weergave.

2. Opening

Na een welkomstwoord van Ron Nap geeft Marc van Bommel een toelichting op het programma van de dag en de voorgestelde werkwijze met betrekking tot de Risman sessie.

3. Toelichting combi-varianten

In afwijking van de agenda wordt op verzoek van de aanwezigen door Marc van Bommel gestart met een korte toelichting op de verschillende combi-varianten die voor toepassing van WKO en saneren worden overwogen. Dit betreft:

- Combi-variant 1 (Onttrekken, zuiveren, lozen op kanaal of sprengen);
- Combi-variant 2a (Onttrekken, aeroob zuiveren, herinfiltreren);
- Combi-variant 2b (Onttrekken, anaeroob zuiveren, herinfiltreren);
- Combi-variant 3+4 (Onttrekken, toevoegen koolstofbron (+evt biomassa), herinfiltreren).

Deze toelichting is aanleiding voor de volgende discussie:

- Huub Rijnaarts geeft als reactie op combi-variant 2a aan dat aerobe afbraak van VC goed mogelijk is, maar dat voor de aerobe afbraak van DCE wat extra gedaan moet worden;
- Hij vraagt zich ook af waarom er niet stroomopwaarts geïnfiltreerd wordt en stroomafwaarts onttrokken (tegengesteld aan voorgestelde opzet) zodat de tussenliggende ruimte benut kan worden als reactorvat. Aangegeven wordt dat de reden hiervoor is dat eventuele (biologische) saneringsmaatregelen bovenstrooms kunnen leiden tot verstoppingsproblemen in de onttrekkingsputten. Dit risico willen we voorkomen;
- Gerben van der Sterren vraagt of het mogelijk is om de onttrekkingsputten verder stroomopwaarts (dichter bij de bronzone) te plaatsen waardoor het sanerende effect groter zal zijn (grotere vracht verwijdering). Aangegeven wordt dat de 'schetsen' van de varianten een sterk vereenvoudigd beeld geven van de werkelijkheid. Binnen de kanaaloeverzone, de zone die wordt herontwikkeld, verschilt de grondwaterkwaliteit niet sterk. Het betreft een pluimzone, met maximaal circa 1.000 µg/l aan VOCI;
- Tim Grotenhuis geeft aan dat temperatuur invloed heeft op de snelheid van biologische afbraak (bij elke 10°C stijging van de temperatuur verloopt afbraak een factor 2 sneller). Dit kan worden benut bij combi-variant 3+4 (bioscherm). Hij vraagt wat de verwachte temperatuurstijging zal zijn. Benno Drijver geeft aan dat de temperatuur van het infiltratiewater zomers stijgt en 's winters daalt. Naar verwachting zal de temperatuur netto circa 5°C stijgen;
- Huub Rijnaarts. In plaats van bovengrondse bioreactoren zou je ook de bodem als reactorvat kunnen benutten. Marc van Bommel geeft aan dat de bioreactoren niet bedoeld zijn als zuivering maar als kweekreactor om de bodem te beenten (mocht dat noodzakelijk blijken). Bovendien wordt slechts een deelstroom (< 10%) door de reactoren geleid;
- Hans Slenders vraagt hoe er wordt omgegaan met fluctuerende debieten (pomp slaat aan afhankelijk van koude/warmte vraag) in relatie tot de bodemsanering. Bas Godschalk geeft aan dat er sprake is van een constant debiet, door middel van kleppen is het mogelijk een deelstroom (vraag gestuurd) te benutten voor KWO;
Siefko Spaan geeft aan dat er veel zuivering (met hoge kosten) benodigd is. Hij pleit ervoor om de dimensionering van de zuivering af te stemmen op de vervuilingsgraad van het onttrokken water. Het grondwater heeft binnen de kanaaloeverzone namelijk niet overal dezelfde samenstelling. Dit vervuilde water bij voorkeur niet ongezuiverd terugbrengen in de bodem, zeker niet als het infiltratiewater door opmenging van verschillende stromen meer verontreiniging bevat dan het ontvangende bodempakket. Ron Nap geeft aan dat het infiltreren van verontreinigd water wel kan, mits er voldoende zekerheid is dat de verontreiniging vervolgens in de bodem wordt afgebroken;

- Charles Pijls geeft aan dat het ontwerp uitgaat van verticale infiltratieputten. Hij vraagt of er ook gekeken is naar de toepassing van horizontale drains. Gerben van der Sterren vult aan dat horizontale drains ook toepasbaar zijn aan de onttrekkingszijde. Door anderen wordt aangegeven dat ook bij horizontale drains verstopping door menging van verschillende watertypes kan optreden;
- Hans Slenders heeft een voorkeur voor diep onttrekken. Dit geeft minder risico's op putverstopping aan de onttrekkingszijde. Daarnaast is dit water wat sterker gereduceerd, wat gunstig is voor de biologische afbraak in de combi-varianten 3+4 (minder koolstofbron benodigd voor het creëren van een bioscherm);
- Huub Rijnaarts merkt op dat het creëren van een verhoogde weerstand stroomafwaarts van de infiltratieputten (als gevolg van chemische en biologische neerslagen) tot problemen kan leiden. Bijvoorbeeld een gewijzigde grondwaterstromingsrichting of extra stuwning van water.

4. Blok 1. Risico's onttrekkingzijde

De onttrekkingsrisico's zijn afzonderlijk besproken. Deze doen zich namelijk bij elke variant in gelijke mate voor. De aanwezigen krijgen een blad met daarop de risico's die bij blok 1 horen. Individueel zijn de vijf belangrijkste risico's gescoord. Het belangrijkste risico krijgt 5 punten, het minst belangrijke 1 punt. In tabel 1 is een overzicht van de scores van alle deelnemers weergegeven.

Tabel 1. Weging risico's onttrekkingzijde

Risico	Score deelnemers												Totaal	Ranking
1a	0	5	0	1	5	3	0	1	4	5	0	2	26	2
1b	5	0	0	0	3	2	5	5	0	4	0	1	25	3
1c	4	1	3	5	1	5	4	4	5	3	0	4	39	1
1d	2	3	5	4	0	4	0	0	0	2	0	5	25	3
1 ^e	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	
4a	0	0	4	3	2	1	0	0	2	0	1	0	13	
4b	0	0	2	2	0	1	0	0	0	0	1	0	6	
4d	0	4	0	0	0	1	0	3	3	0	2	0	13	
5a	3	2	0	0	4	1	1	0	0	1	0	3	15	5
5d	1	0	0	0	0	1	2	2	1	0	1	0	8	

De risico's zijn vervolgens in volgorde van belangrijkheid besproken:

1c (verstoppingsrisico's als gevolg van de door de onttrekking versnelde redox-reacties in bodem die leiden tot verhoogde ijzer- en of sulfide gehalten in het onttrekkingswater)

- Hans Slenders geeft aan dat de kans op reductiereacties verwaarloosbaar is;
- Charles Pijls geeft aan dat Tauw ervaring heeft met langdurig stabiel onttrekken (10 jaar). Dit is goed mogelijk, wel worden de putten eens per twee jaar geregenereerd;
- Marc van Bommel geeft aan dat problemen zich vooral voordoen bij menging van anoxisch (nitraatrijk) en gereduceerd (ijzerrijk) grondwater;
- Benno Drijver voorziet geen problemen in de onttrekkingsputten. Wel is er kans op verstopping van het leidingwerk;
- Gerben van der Sterren geeft aan dat de ervaring van IF gebaseerd is op onttrekking van diep grondwater. Gerben schat de risico's bij het ondiep onttrekken van grondwater groter in;
- Benno Drijver noemt de mogelijkheid van gescheiden grondwater (ondiep en diep afzonderlijk) onttrekken. Hierdoor wordt het risico's van het aantrekken van een redoxgrens verminderd;
- Gerben van der Sterren geeft aan dat horizontale drains geschikt zijn voor het onttrekken uit een bepaalde bodemlaag. De aanwezigen attenderen erop dat de redoxsamenstelling van het ondiepe grondwater niet homogeen is. Hierdoor bestaat er een risico dat de drain zowel anoxisch als gereduceerd water aantrekt;
- De aanwezigen schatten de kans dat verstopping optreedt klein in, maar de effecten als groot. Om de effecten te verkleinen worden als maatregelen voorgesteld: 1. preventief regenereren van putten, 2. dieper onttrekken (dit heeft wel een lager sanerend effect) en 3. plaatsing putten baseren op geochemische karakterisatie van het grondwater (zowel in horizontale als verticale zin).

1a (Bronverstopping door biologisch versnelde ijzeroxidatie (bij lage zuurstofspanning) vaak met slijmvorming) en 1b en 1d (Bronverstopping door ijzernerlagen, al dan niet als gevolg van het opmengen van waterstromen);

- De aanwezigen geven aan dat deze risico grotendeels vergelijkbaar zijn met het hiervoor besproken risico(1c). Deze risico's spelen vooral indien ondiep grondwater wordt onttrokken;
- Bas Godschalk geeft aan dat er 50-100 m³/uur per put wordt onttrokken, dit leidt tot een aanzienlijke grondwaterstandsverlaging ter plaatse van de put (Kegel). Hierdoor is de kans op het aantrekken van de redoxzone groot;
- Huub Rijnaarts geeft aan dat door de combinatie KWO en saneren de risico's worden vergroot. De wens om KWO te combineren met saneren (beheersen) leidt er toe dat de onttrekking ondieper wordt uitgevoerd dan de diepte die normaal voor KWO toepassingen zou worden gekozen. De uiterste maatregel is dan de onttrekking ten behoeve van KWO en sanering uit elkaar te trekken;

5a (Verstopping door neerslagen in horizontale drains als gevolg van: 1. het feit dat drains moeilijker te regenereren zijn, 2. problemen met boorspoeling, 3. menging grondwater met verschillende redoxsamenstelling);

- Gerben van der Sterren geeft aan dat het voordeel van horizontale drains is dat er gericht kan worden onttrokken uit enerzijds dunne watervoerende pakketten en anderzijds de vuilste pakketten. Ook de Radial Collector Wells (RCW), die door waterleidingsmaatschappijen worden gebruikt, maken gebruik van drains. Deze worden vanuit de centrale put (schacht) op de gewenste plek aangebracht. In de schacht is mogelijk zelfs ruimte voor een zuivering. Het is een flexibel systeem, maar wel een met hoge investeringskosten. Tot nu toe heeft er slechts 1 Duitse aannemer ervaring, dit is bij een eventuele aanbesteding een probleem.

5. Blok 2. Risico's combi variant 1 (zuiveren, lozen op kanaal of sprengen)

In tabel 2 is een overzicht van de scores van alle deelnemers weergegeven.

Tabel 2. Weging risico's combi variant 1

Risico	Score deelnemers													Totaal	Ranking
2a	0	0	5	4	0	1	0	0	2	0	5	2	4	23	5
2b	5	3	0	2	0	5	0	1	5	0	1	5	3	30	3
2c	3	5	2	3	4	2	5	2	4	4	4	4	0	42	1
2d	2	2	4	1	0	0	4	5	1	2	2	0	2	25	4
2 ^e	4	1	0	0	0	4	2	4	0	3	0	0	1	19	
2f	0	0	0	0	0	0	1	3	0	1	0	0	0	5	
2g	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	4	
5b	0	4	3	5	5	3	0	2	3	5	3	0	5	38	2
5d	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	

De risico's zijn vervolgens in volgorde van belangrijkheid besproken:

2c (Hoog rendement benodigd (grote stripper), ijzerneslagen (fouling));

- Huub Rijnaarts merkt op dat er vanwege de lage efficiency (VC wordt nagenoeg niet verwijderd) veel actief kool nodig is;
- Gerben van der Sterren noemt de afvoer van ijzerslib als een hoge kostenpost. In het geval er gekozen wordt voor beluchte zandfiltratie vraagt hij zich af wat je doet met VC.
- Tim Grotenhuis noemt als optie de toepassing van een biofilter om VC in de gasfase af te breken. Andere opties als ozon (of andere chemische oxidatiemiddelen) en UV worden door de aanwezigen als minder relevant beschouwd (duur);

- Marc van Bommel vraagt of langzame zandfiltratie (zoals toegepast bij de bereiding van drinkwater) een optie is? Gerben van der Sterren geeft aan dat hiervoor veel ruimte benodigd is, de vraag is dus waar je die laat?

5b (Zeer grote capaciteit nodig voor bovengrondse zuiveringsinstallatie, voldoen aan specifieke eisen (Temperatuur, ijzer en ecologie);

- Ontijzering is noodzakelijk in geval van lozing op het oppervlaktewater. Siefko geeft als lozingeisen: maximaal 5 mg/l aan ijzer en geen zichtbare roodverkleuring. De temperatuur van het lozingswater mag maximaal 25°C bedragen. Hierop ontstaat een discussie over de mogelijkheid om ijzerrijk water af te zetten op beken die van nature door ijzerrijke kwel worden gevoed. Gezien de te verwachten debieten kan slechts een deel van het effluent op de beken. De Grift is daarbij een mogelijkheid;
- Huub Rijnaarts geeft aan dat er veel winst is te behalen als het mogelijk is het water te reinigen zonder het eerst bovengronds te hoeven ontijzeren. Als voorbeeld noemt hij een anaerobe zuivering, gevolgd door een moeraszone (helofytenfilter) voor de verwijdering van ijzer voordat het wordt geloost op het kanaal;
- Tim Grotenhuis oppert het gebruik van een ijzerscherm voor de verwijdering van de VOCl verontreiniging. Gerben van der Sterren geeft aan dat de benodigde verblijftijd (2 dagen) erg lang is. Hierdoor is het benodigde ruimtebeslag groot;
- Ron Nap geeft aan dat ruimtebeslag is op te lossen. Er is bijvoorbeeld ruimte langs de oever van het kanaal. De kanaaloever wordt over een lengte van circa 6 kilometer opnieuw ingericht;
- Huub Rijnaarts oppert het gebruik van langgerekte “bak” met houtsnippers langs het kanaal waarin anaerobe afbraak van VOCl plaatsvindt voordat het in de bodem infiltreert;
- Siefko Spaan pleit voor het modulair opbouwen van de zuivering (in bijvoorbeeld units van 100 m³), afhankelijk van de aan- of afwezigheid van ijzer is ontijzering noodzakelijk;
- De aanwezigen constateren dat het ijzer- en VOCl-gehalte bepalend zijn voor het uiteindelijke ontwerp, hierdoor is differentiatie mogelijk. Het maatwerk zit hem in de behandeling van de verschillende waterstromen per deelgebied;
- Tim Grotenhuis geeft aan dat de kracht van een gebiedsgerichte aanpak is dat je juist niet alles hoeft te weten van de ondergrond;
- Marc van Bommel vraagt wat de lozingeisen zijn voor lozing op het kanaal. Siefko Spaan antwoord: geen VOCl (som < 20 µg/l) en geen ijzer (< 5 mg/l);
- Siefko Spaan vraagt zich af of het lozingswater ook als koelwater voor Diocynth kan worden gebruikt. Diocynth heeft zomers problemen met de inname van koelwater uit het kanaal. Ron Nap antwoord dat dit geen optie is omdat Diocynth op termijn zal verhuizen uit de Kanaaloverzone.

6. Blok 3. Risico's combi variant 2a (aeroob zuiveren, herinfiltreren)

In tabel 3 is een overzicht van de scores van alle deelnemers weergegeven.

Tabel 3. Weging risico's combi variant 2a

Risico	Score deelnemers													Totaal	Ranking
2a	4	0	0	0	0	5	0	0	3	0	4	0	3	19	3
2b	3	0	0	0	0	0	0	5	0	4	2	0	5	19	3
2c	3	3	0	0	0	4	5	0	0	0	0	2	0	17	5
2f	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3a	5	0	0	3	3	0	3	0	0	0	0	0	0	14	
3b	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	4	
3c	2	5	0	4	4	0	0	0	0	4	3	4	4	30	1
3f	2	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	14	
3h	0	2	0	5	5	0	4	0	0	0	1	5	2	24	2
3i	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	
3j	0	0	4	1	1	0	2	0	0	0	0	0	1	9	
3m	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
3n	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
3o	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	5	0	0	8	
4a	0	0	0	0	0	3	0	0	1	0	0	0	0	4	
4b	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	3	
4c	0	0	3	0	0	2	0	1	3	0	0	1	0	10	
5c	1	0	2	0	2	1	0	0	3	0	0	0	0	9	

risico's zijn vervolgens in volgorde van belangrijkheid besproken:

3c (Putverstopping als gevolg van biologisch gevormde ijzeroxiden en slijmvorming);

- Charles Pijls. Ontijzering is nooit volledig. Er blijft altijd een kleine restconcentratie (+/- 0,2 mg/l) achter die op termijn (5-6 jaar) tot putverstopping leidt. Dit betekent dat de infiltratieputten eens in de 5 jaar moeten worden herplaatst;
- Benno Drijver. Het risico op putverstopping kan worden verkleind door preventief te reinigen. Hans Slenders merkt op dat de capaciteit van de put na elke regeneratie wel achteruit gaat (nooit volledig herstel);
- Tim Grotenhuis en Arno Peekel merken op dat PER en TRI niet aeroob worden afgebroken;
- Huub Rijnaarts vraagt zich af of een aerobe variant wel een slimme keus is;

- Tim Grotenhuis pleit ervoor om zo dicht mogelijk bij de natuurlijke redoxconditie van het grondwater te blijven;
- Benno Drijver. Bij ondergronds ontijzeren wordt de bodem als ondergronds zandfilter gebruikt, waarmee wordt voorkomen dat ijzer bovengronds komt. Zodra het ijzergehalte in het onttrekkingswater boven de grens van 0,2 mg/l komt wordt er weer zuurstofrijk water geïnfilteerd om de bodem weer te 'activeren'. Een hoge grondwaterstroming, zoals in de kanaalzone het geval is, is nadelig voor deze techniek;
- Hans Slenders. Je zou als alternatief persluchtinjectie rondom de onttrekkingsputten kunnen bedrijven;
- Huub Rijnaarts vraagt zich of de in situ gevormde ijzereerslagen de doorlatendheid van het bodempakket verminderen. Hier zou je aan kunnen rekenen;
- Benno Drijver verwacht echter geen problemen met ondergronds ontijzeren (ervaring waterleidingbedrijven);
- Charles Pijls verwacht dat er tussen de onttrekking- en infiltratieputten een 'stagnante zone' ontstaat met een lagere stroomsnelheid. De hoeveelheid instromend grondwater is waarschijnlijk gering.

4c en 5c (Risico's als gevolg van onvoldoende menging);

- Huub Rijnaarts merkt op dat de vaste fase wordt geoxideerd en dat het te behandelen water er langs stroomt. Je zou ook kunnen denken aan intimerend beluchten;
- Tim Grotenhuis. Ontijzering blijft bij deze variant altijd een groot probleem.

7. Blok 4. Risico's combi variant 2b (anaeroob zuiveren, herinfiltreren)

In tabel 4 is een overzicht van de scores van alle deelnemers weergegeven.

Tabel 4. Weging risico's combi variant 2b

Risico	Score deelnemers											Totaal	Ranking
2f	0	0	0	0	0	5	0	0	4	0	0	9	
2g	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
2h	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	2	7	
3a	0	0	0	0	5	0	4	2	2	5	0	18	3
3b	0	0	5	0	0	0	0	4	0	0	4	13	
3d	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	
3 ^e	0	0	0	5	1	3	3	0	0	0	5	17	4
3f	0	3	1	0	0	0	0	5	0	0	0	9	
3g	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	5	
3i	0	0	0	0	1	0	0	5	0	0	0	6	
3j	0	0	2	0	0	4	1	5	0	1	0	13	
3k	2	0	0	3	0	0	5	5	0	4	0	19	2
3l	2	1	0	0	0	0	0	5	0	0	0	8	
3m	2	0	0	0	4	0	0	5	0	3	0	14	5
3n	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	
3o	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	
4a	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	
4b	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	2	
4c	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	
5c	4	2	4	4	3	0	0	3	0	0	0	20	1
5h	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
5i	0	0	3	0	0	0	2	1	0	0	3	9	
5j	0	5	3	0	0	0	0	1	0	0	0	9	

Dit blok is vanwege de overeenkomsten met het vorige blok beperkt besproken. Er is alleen aandacht besteed aan de anaerobe zuiveringsmogelijkheden:

- Huub Rijnaarts vraagt of het een biologische zuivering betreft. Marc van Bommel licht toe dat het concept uitgaat van nat actief kool filtratie met als nadeel dat VC niet goed wordt afgevangen;
- Gerben van der Sterren geeft aan dat bij deze variant altijd voorzuivering noodzakelijk is om deeltjes/neerslagen af te vangen die ontstaan door het opmengen van verschillende waterstromen;
- Hans Slenders merkt op dat deze combi variant geen polishing-stap kent. Geen extraatje in de vorm van biologische afbraak die je bij de combi varianten 3 en 4 wel hebt;
- Edwin Dijkhuis noemt nog de mogelijkheid van anaerobe in situ oxidatie voor de afbraak van VC. Dit zou het nadeel dat aan nat actief koolfiltratie kleeft kunnen beperken.

8. Blok 5. Risico's combi variant 3+4 (toevoegen koolstofbron (+evt biomassa), herinfiltreren)

In tabel 5 is een overzicht van de scores van alle deelnemers weergegeven.

Tabel 5. Weging risico's combi variant 3+4

Risico	Score deelnemers											Totaal	Ranking
2f	0	0	1	0	0	5	0	0	0	0	0	6	
2g	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	
3a	5	4	0	4	0	0	0	3	3	4	5	28	2
3b	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3c	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3d	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3 ^e	4	3	0	0	0	4	4	5	2	3	4	29	1
3f	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	
3g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	5	
3i	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3j	0	0	2	5	0	0	0	0	1	0	1	9	
3k	0	5	3	0	2	0	3	4	4	0	0	21	4
3l	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	3	
3m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3n	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3o	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	
4c	0	0	4	0	0	0	2	0	0	0	0	6	
5c	0	2	5	0	4	2	5	2	5	2	0	27	3
5d	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	
5e	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	
5f	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	
5g	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5h	2	0	0	3	5	3	0	0	0	0	0	13	5
5i	1	0	0	3	5	3	0	0	0	0	2	14	5
5j	3	0	0	3	5	0	0	1	0	1	0	13	5

De risico's zijn vervolgens in volgorde van belangrijkheid besproken:

3e (Putverstopping door vorming van metaalsulfides)

- Door de aanwezigen wordt opgemerkt dat in variant 4 (gescheiden koolstofbron dosering) de problemen van putverstopping worden voorkomen;
- Charles Pijls geeft aan dat Tauw goede ervaringen heeft met het gebruik van een grindkoffer voor het periodiek doseren van koolstofbronnen (wel naspoelen);
- Hans Slenders noemt het gebruik van Schockloads op de infiltratieputten. De infiltratieputten moeten dan wel goed worden nagespoeld. Randvoorwaarde is ook het gebruik van een niet plakkende koolstofbron. Bovendien moet de doorstroming worden gegarandeerd. Een put met stilstaand water waarin zich veel koolstofbron bevindt is vragen om moeilijkheden;
- Marc van Bommel noemt het gebruik van een zure koolstofbron om putverstopping te voorkomen.

5c (Verkrijgen van voldoende menging van koolstofbron, biomassa en verontreiniging)

- Marc van Bommel vraagt aan de aanwezigen of er bij gebruik van gescheiden doseerfilters voldoende menging zal optreden? Er worden door de aanwezigen geen problemen voorzien;
- Er ontstaat tijdens de bespreking een discussie over een veilige (minst risicovol) combi variant. Uiteindelijk lijkt het meest kansrijk een variant waarbij ten behoeve van de KWO uit het diepe grondwater wordt onttrokken. Afhankelijk van de samenstelling van dit water (ijzer en VOCl) wordt dit deels gebruikt voor het creëren en in stand houden van een bioscherm. Het overgebleven deel wordt geloosd op het kanaal. Dit zou getest kunnen worden in de pilot.

3k (Verstopping van de bodem door vorming van metaalsulfides)

- Huub Rijnaarts verwacht dat de verspreiding van metaalsulfiden beperkt zal zijn. Het is volgens hem een uitdaging om na de eerste dosering (overmaat waarbij veel biomassa wordt gevormd) te zoeken naar een steady state waarbij de koolstofbron dosering wordt geminimaliseerd en juist voldoende is om het afbraakproces op gang te houden.
- Hans Slenders oppert het gebruik van selectieve koolstofbronnen die wel de afbraak van de VOCl ondersteunen maar die niet door sulfaatreducerende bacteriën worden gebruikt. Dergelijke selectieve koolstofbronnen zijn voor zover bekend niet beschikbaar;
- Huub Rijnaarts noemt dat in theorie gestuurd kan worden met het waterstof niveau. Sulfaatreducerers gedijen bij meer dan 2-2,5 nM, Dechlorerende bacteriën hebben genoeg aan 1 nM. Door de aanwezigen wordt opgemerkt dat het gaat om een smalle range, hierop is in de praktijk nauwelijks te sturen;
- Tot slot noemt Charles Pijls nog de mogelijkheid van aerobe cometabolische afbraak van TRI en DCE. Mogelijke co-substraten zijn fenol, toluen en methaan. Deze variant wordt door de aanwezigen als weinig kansrijk geacht.

9. Alternatieve ideeën

Na de bespreking van bovenstaande varianten wordt door Marc van Bommel gevraagd of er nog ideeën zijn voor andere innovatie combi varianten:

- Huub Rijnaarts noemt de toepassing van een apart bioscherm waarbij gebruik gemaakt wordt van WKO-water. De rest van het ten behoeve van de WKO onttrokken grondwater wordt geloosd op het oppervlaktewater. Tim Grotenhuis vult aan dat het bedienen van het WKO-systeem (het onttrekken en infiltreren van grondwater) zorgt voor de verspreiding van de koolstofbron;
- Hans Slenders oppert het gebruik van Schockloads, het periodiek (eens per half jaar) doseren van grote hoeveelheden koolstofbronmengsels (bijvoorbeeld: methanol/protamylasse) als alternatief voor continudoseringen;
- Gerben van der Sterren merkt op dat het voor het bedienen van het WKO-systeem belangrijk is dat je het onttrokken grondwater ook weer kwijt kunt (bedrijfszekerheid);
- Huub Rijnaarts vraagt zich af of het, analoog aan de werking van de aanwezige scheidende laag, mogelijk is het grondwater te sturen (verstopping bodempakket of bellenscherm);
- Tim Grotenhuis merkt op dat als er net boven de formatie van Drenthe wordt onttrokken dit leidt tot een langere verblijftijd in de 'flessenhals', en dus een groter sanerend effect (meer tijd voor afbraak). Gerben van der Sterren stelt voor om voor de 'flessenhals' te onttrekken en de helft van het water te lozen op het Apeldoornskanaal en de andere te benutten voor het creëren van een bioscherm;
- Arno Peekel vraagt zich af of het mogelijk is om ondiep te onttrekken en dit water diep te infiltreren (bioscherm). De condities in het diepe grondwater zijn namelijk sterker gereduceerd dan in het ondiepe pakket. Dit is mogelijk gunstig voor de anaerobe afbraak van de VOCl.

10. Meest interessant

Marc van Bommel vraagt de aanwezigen wat volgens hen de meest kansrijke combi-variant is:

- Alle aanwezigen zijn van mening dat een variant die uitgaat van diep onttrekken ten behoeve van de WKO in combinatie met het creëren van een bioscherm ten behoeve van de afbraak van de VOCl verontreiniging en het lozen op het oppervlaktewater het meest kansrijk is. Deze aanpak dient drie doelen: WKO, saneren en peilbeheer. We gaan er dan wel vanuit dat het diepe grondwater niet noemenswaardig verontreinigd is en minder ijzer bevat dan het ondiepe grondwater;
- Ook het creatief omgaan met het ruimtebeslag ten behoeve van de bovengrondse zuivering (wegwerken in oever langs Apeldoorns kanaal) is innovatief;
- Tim Grotenhuis pleit voor een modulaire aanpak. De kwaliteit van het onttrokken grondwater bepaalt op welke wijze het wordt afgezet (lozen of infiltreren ten behoeve van bioscherm);

- Hans Slenders vraagt op welke wijze het project wordt voortgezet. Marc van Bommel geeft aan dat alle aanwezigen een verslag van de Workshop krijgen. Mede op basis van dit overleg wordt een pilot ontworpen waarbij op een deellocatie de meest kansrijke opties worden onderzocht. Ron Nap vult aan dat er inmiddels gesprekken zijn met Dura Vermeer over het WKO systeem en dat het de bedoeling is om een en ander op relatief korte termijn te gaan realiseren.

11. Evaluatie

Marc van Bommel vraagt hoe men de dag heeft ervaren:

- Huub Rijnaarts had graag de conceptuele discussie aan het begin van de dag gehad;
- Gerben van der Sterren had graag bij aanvang vernomen welke randvoorwaarden er vanuit de bodemsanering zijn. Ron Nap geeft aan dat de pluim nu al min of meer stabiel is. Dit is weinig inspirerend om nog veel te gaan doen. Wat kun je bereiken de dynamische herontwikkeling in de kanaaloeverzone. Gerben van der Sterren geeft aan dat je het zou kunnen verwoorden als: trendomkering of kwaliteitsverbetering;
- Tim Grotenhuis heeft een beetje een dubbel gevoel. Hij had al om voorhand de voorkeur voor de anaerobe variant. Hij vroeg zich af of de opzet van de workshop slimmer had gekund.

12. Sluiting

Ron Nap bedankt alle aanwezigen voor hun bijdrage aan deze dag. Hij deelt iedereen een geschenkbond uit, die in de kado-shop kan worden besteed. Aansluitend is er een borrel.

Bijlage 3 Evaluatie RISMAN sessie

betreft	Generieke toepassing RISMAN systematiek bij combi systemen voor WKO en bodemsanering
opdrachtgever	SKB
projectcode	PT 8441
datum	2 november 2009

1. Inleiding

Naar aanleiding van de RISMAN sessie voor het SKB project PT8441 (zie het besprekingsverslag, d.d. 31 maart 2009) is een notitie opgesteld waarin wordt ingegaan op de toepasbaarheid van de RISMAN systematiek voor andere locaties waar een combinatie van WKO en sanering worden overwogen.

In deze notitie wordt eerst een evaluatie gegeven van de uitgevoerde RISMAN sessie op 1 maart 2009 te Apeldoorn. Van deze sessie is een verslag gemaakt, dat aan alle deelnemers is toegezonden. In de evaluatie wordt achtereenvolgens ingegaan op de sterke en de zwakke punten van de uitgevoerde RISMAN sessie. Uit deze analyse worden vervolgens de leerpunten gehaald, die van belang zijn voor andere toepassingen van de RISMAN systematiek en het ontwikkelen van combinatiesystemen voor WKO en saneren op andere locaties.

2. Evaluatie Risman sessie

De RISMAN systematiek gaat uit van ver uitgewerkte en in het werkveld bekende risico's welke door een panel van specialisten voor een specifieke situatie (meestal voor civiele werken) op kwantitatieve manier worden beoordeeld. Daarnaast is het mogelijk om de RISMAN systematiek op kwalitatieve wijze uit te voeren.

De werkwijze die het consortium heeft gevolgd voor de situatie in Apeldoorn is als volgt geweest:

Stap 1. Literatuursearch

Stap 2. De resultaten van de literatuursearch (overzicht van specifieke risico's) indelen in een aantal mogelijke combi-varianten

Stap 3. Prioriteren van de specifieke risico's tijdens de RISMAN sessie

Stap 4. Bespreken van de belangrijkste risico's per combi-variant aan de hand van de RISMAN risico-matrix (beperken van het effect, of beperken van de kans van optreden)

Stap 1 en 2 zijn uitgevoerd door het consortium zelf (als voorbereiding op de RISMAN sessie) en stap 3 en 4 zijn tijdens de RISMAN sessie zelf uitgevoerd. De voorbereiding door het consortium hield in, dat de risico's zo specifiek en gedetailleerd als mogelijk werden

geformuleerd en in kaart gebracht. Deze werden vervolgens gerubriceerd naar door het gekozen combi-varianten.

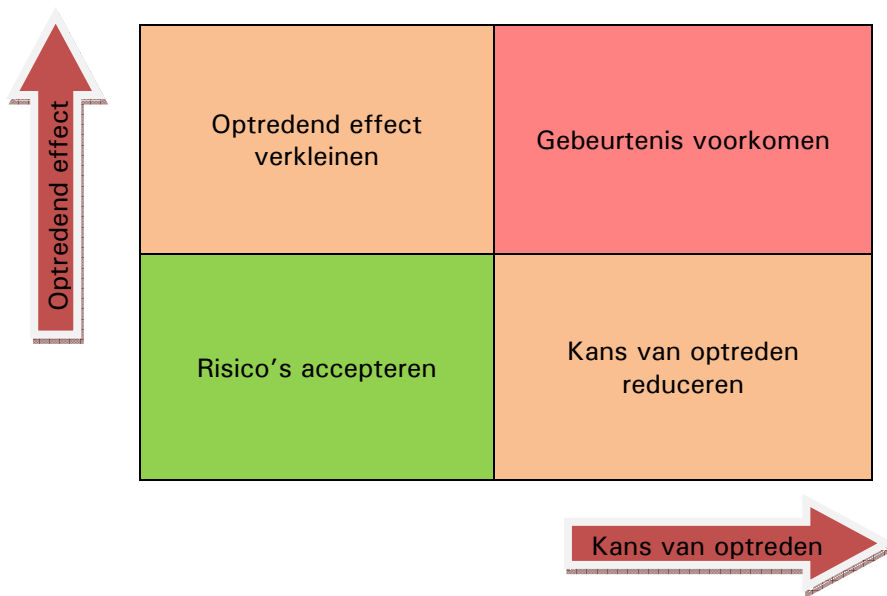
De keuze van de combi-varianten en de specifieke risico's zijn voorafgaand aan de sessie aan de deelnemers verzonden. Bij aanvang van de sessie bleek echter dat er behoefte was bij de deelnemers om de keuze van de combi-varianten te bespreken en ter discussie te stellen. Op grond van deze wens is het programma aangepast en is eerst op conceptueel niveau over de toe te passen varianten gesproken.

Uit deze gang van zaken bleek dat de keuzes die door het voorbereidende team gemaakt waren niet direct voor de deelnemers inzichtelijk waren, dan wel dat men het interessanter vond om over de concept keuze te spreken dan over de specifieke risico's. Dit is logisch gezien de technologische status van combisystemen van WKO en bodemsanering. Dergelijke combinatiesystemen zijn nog nauwelijks aangelegd. Daarom ligt het voor de hand dat er vooral vragen zijn (en verschillen van inzicht) over de wijze waarop bodemsanering en WKO kunnen worden gecombineerd. De vragen in de markt liggen momenteel vooral op conceptueel niveau.

Tijdens en na afloop van de sessie bleek dat het consortium wel de juiste combi-varianten had gekozen en dat de oplossing die breed gedragen werd was opgenomen bij de mogelijke combi-varianten. De afwegingen die het consortium had gemaakt bij het definiëren van de combi-varianten kwamen tijdens de sessie naar boven.

De inventarisatie van de specifieke risico's bleek adequaat te zijn, aangezien er nauwelijks risico's aan de lijst werden toegevoegd. Aan de andere kant was de lijst mogelijk te lang en te specifiek. Vanwege het grote aantal specifieke risico's werden deze eerst geprioriteerd, waarna de belangrijkste risico's plenair werden besproken. Deze aanpak heeft goed gewerkt.

De plenaire bespreking werd uitgevoerd aan de hand van de RISMAN risico-matrix (zie figuur 1).



Figuur 1. De RISMAN risico-matrix

Over het algemeen geeft de risico-matrix een goede richting aan de discussie. Is er een kleine kans van optreden met een groot effect? Hoe groot is de kans van optreden eigenlijk? Het projectteam is het er bijvoorbeeld over eens dat de kans op putverstopping niet al te groot is, maar dat de effecten bij optreden wel groot zijn. Hoe het optredend effect verkleind kan worden, blijft een vraag. Er zijn wel veel ideeën, maar geen van de deelnemers heeft ervaring met jarenlange infiltratie, zodat hierover geen eensluidend antwoord kan worden gegeven.

Na de bespreking van de belangrijkste specifieke risico's per combi-variant is nog ruim de tijd genomen voor het bespreken van alternatieve ideeën. De sessie wordt besloten met het vaststellen van de meest interessante combi-variant. Er is eensluidendheid over de meest haalbare variant. Dat is de variant die uitgaat van diep onttrekken (ten behoeve van de WKO) in combinatie met het creëren van een bioscherm en het lozen op het Apeldoorns kanaal. Het is dus een aanpak die drie doelen dient: WKO, saneren en peilbeheer. Verder zijn er nog praktische ideeën over het wegwerken van de benodigde installatie in de oever van het Apeldoorns kanaal. Verder wordt gepleit voor een modulair systeem, waarbij de kwaliteit van het onttrokken water bepaald hoe er verder mee wordt omgegaan. Hiermee kunnen alle aanwezigen instemmen.

Samenvattend levert de evaluatie van de RISMAN sessie de volgende resultaten:

1. De concept keuze (presentatie van 4 combi-varianten) die door het consortium was voorbereid riep in eerste instantie veel discussie op. Tijdens de dag bleek dat deze varianten op zichzelf goed gekozen waren en dat de overwegingen die bij het consortium een rol hadden gespeeld in de discussie weer terug kwamen. De uiteindelijk als meest relevante variant beoordeelde combi-variant is in feite een modulaire aanpak gebaseerd op de onderdelen van de gepresenteerde combi-variant 1 en 3;
2. Het blijkt dat het nadenken op conceptueel niveau erg belangrijk is. Deze fase moet niet te snel worden overgeslagen, zodat de oplossing in een te vroeg stadium wordt vastgezet;
3. De lijst met specifieke risico's, zoals opgesteld door het consortium, was te lang om integraal te bespreken. Er speelden eigenlijk twee zaken door elkaar: de concept-keuze en de specifieke risico's die verbonden zijn aan de concept keuze. Het verdient aanbeveling om bij een volgend project deze twee onderdelen uit elkaar te halen en derhalve te splitsen in twee verschillende sessies;
4. De Risman matrix is zinvol te gebruiken bij het bespreken van de specifieke risico's. De risico's kunnen echter nog niet kwantitatief worden vastgesteld; daarvoor is er nog te weinig ervaring met combi-systemen voor WKO en saneren;
5. Voor een goed gebruik van de risico-matrix is het van belang dat elke deelnemer het proces van keuze van de combi-variant heeft meegemaakt, zodat er op conceptueel niveau geen vragen meer zijn. Verder is het van belang dat elke deelnemer dezelfde achtergrondkennis tot zijn beschikking heeft.

3. Voor- en nadelen van de Risman systematiek

De voor- en nadelen van de Risman systematiek bij het vaststellen van de risico's van combinatiesystemen zijn als volgt:

Voordelen:

- De Risman systematiek is een Nederlandse tool, die ontworpen en bedacht is voor complexe infrastructuur projecten. Combinatiesystemen voor de bodemenergie en bodemsanering zijn voor een groot deel vergelijkbaar met dergelijke projecten;
- De Risman systematiek sluit goed aan bij de Nederlandse cultuur van interdisciplinariteit, draagvlak creëren, bij elkaar brengen van verschillende disciplines en rollen en is daarom goed bruikbaar voor projecten waarin verschillende werkvelden bij elkaar komen;
- De Risman systematiek is ontwikkeld voor de analyse van alle mogelijke risico's, en uitdrukkelijk niet alleen technische. Veel andere methodes gaan uit van alleen technische risico's. De kracht van de Risman systematiek is dat de niet-technische risico's (planningsrisico's, juridische risico's, etc) in de analyse worden meegenomen. Overigens is dat geen onderdeel geweest van het huidige project. Het is aan te bevelen om bij een concreet plan voor het aanleggen van een combinatiesysteem de systematiek op alle onderdelen toe te passen;

- Bij uitvoering van een volledige Risman analyse wordt de analyse op meerdere momenten in het bouwproces ingezet, bijvoorbeeld zowel in de ontwerpfase, als in de uitvoeringsfase. Continue worden risico's expliciet gemaakt en beheerst;

Nadelen:

- Voor een goed gebruik van de Risman methodiek moet deze op een aantal momenten (minstens twee) worden ingezet. Voor het ontwikkelen van combinatiesystemen is een sessie nodig voor het vaststellen van het concept, en vervolgens voor bespreking van de risico's. Dit vergt een grote personele inzet, die alleen in grote(re) projecten betaalbaar is;
- Het ontwikkelen van combinatiesystemen is nog in de conceptuele fase. Dat betekent dat er nog nauwelijks praktijkervaring is en dat het daarom lastig is om de risico's nauwkeurig in te schatten. Daardoor kan een grote spreiding in de inschatting van de risico's worden verwacht

4. Aanbevelingen

Voor generieke toepassing van de RISMAN systematiek bij het vaststellen van de risico's voor combinatiesystemen van WKO en saneren doen wij de volgende aanbevelingen:

1. Het verdient aanbeveling om in een eerste expert meeting te spreken op conceptueel niveau: welke combi-variant komt voor deze specifieke situatie in aanmerking? Daarbij zal de situatie zo breed mogelijk moeten worden bekeken, zodat niet op voorhand mogelijkheden worden uitgesloten. Ter voorbereiding van deze expert meeting dienen relevante onderzoeksgegevens te worden verzameld en gepresenteerd (bodempopbouw, geohydrologie, verontreinigingssituatie, WKO plannen, gebiedsaspecten etc). Belangrijk is dat experts uit verschillende disciplines worden uitgenodigd;
2. Na uitvoering van deze eerste expert meeting kan de voorkeursvariant verder worden uitgewerkt, waarbij de mogelijke risico's in kaart worden gebracht. Bij het opstellen van deze risico's kan de risicomatrix zoals opgesteld voor het geval Apeldoorn als checklist worden gebruikt;
3. Het verdient aanbeveling om vervolgens in een tweede meeting (met dezelfde expert groep) de specifieke risico's, behorend bij de geselecteerde combi-variant, met behulp van de RISMAN matrix afzonderlijk te bespreken. Beoordeling van de risico's is ons inziens voorlopig alleen nog in kwalitatieve zin mogelijk.

Bijlage 4 Concepttekeningen (A3 formaat)

