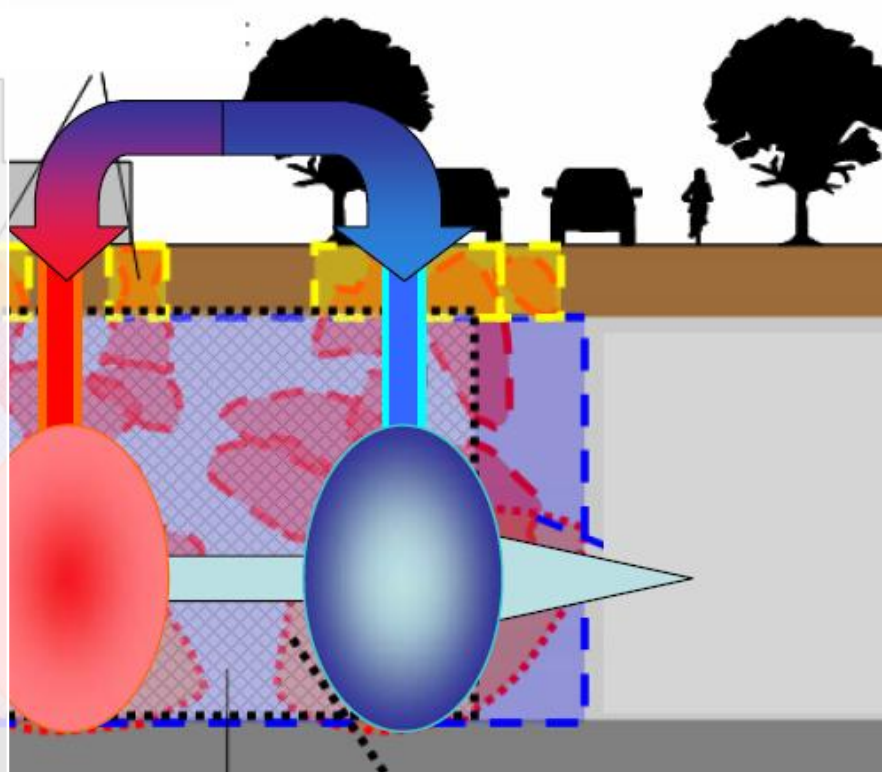




Een verkenning naar de (on)mogelijkheden om open bodemenergiesystemen te kunnen plaatsen in gebieden waar een grondwaterverontreiniging met VOCI aanwezig is.

Bodemenergie en bodemverontreinigingen

Een verkenning naar de (on)mogelijkheden om open bodemenergiesystemen te kunnen plaatsen in gebieden waar een grondwaterverontreiniging met VOCl aanwezig is.

Student

M.Q.A.J. (Marnix) Hofland
1624234
Hovenierstraat 25
2613 RM Delft
06 24871530
marnix.hofland@gmail.com

Opleiding

Milieukunde dual
TMIL-L15AFOI-14

Afstudeerbedrijf

BK Ingenieurs
Koraalrood 131
2718 SB Zoetermeer
079 3601700
Info@bkingenieurs.nl

Afstudeerbegeleiders extern

(eerste externe begeleider)

mevr. Y. Mulder - senior adviseur bodem - 06 10785977 - Yacintha.Mulder@bkingenieurs.nl

(tweede externe begeleider)

dhr. Eric van der Most - senior adviseur bodem - 06 51802321 - Eric.vanderMost@bkingenieurs.nl

Afstudeerbegeleiders Hogeschool Utrecht

(eerste begeleider HU)

dhr. R. (Roger) Klaver

(tweede begeleider HU)

mevr. A. (Annemiek) van der Meijden

Datum

5 januari 2016

Afbeelding voorblad: Schematische weergaven van de 'Biowasmachine', CityChlor, Gemeente Utrecht, mei 2013

Samenvatting

Open bodemenergiesystemen dragen bij aan het gebruik van duurzame energie en het terugdringen van de CO₂ uitstoot. Daarnaast zijn deze systemen financieel aantrekkelijk en zorgen ze voor weinig bovengrondse impact. Deze vorm van duurzame energie is de laatste jaren sterk in opkomst en kan toegepast worden in vrijwel alle delen van Nederland in diverse sectoren, van woningbouw tot utiliteitsbouw. Helaas komt het nog te vaak voor dat verontreinigingen met Vluchtige OrganoChloor-verbindingen (VOCl) een beperking vormen voor ondergrondse ontwikkelingen op het gebied van bodemenergie. Deze verontreinigingen bevinden zich doorgaans in drukke stedelijke gebieden met een sterk geconcentreerde energievraag en worden meestal niet actief gesaneerd.

Het doel van dit onderzoek is om de mogelijkheden in kaart te brengen om open bodemenergiesystemen juist wel te kunnen plaatsen in deze drukke stedelijke gebieden waar verontreinigingen met VOCl aanwezig zijn.

Veranderingen in wet- en regelgeving en het in werking treden van de AMvB Bodemenergie hebben voor een verschuiving van een gevalsgerichte- naar een gebiedsgerichte aanpak van bodemverontreinigingen gezorgd. Hierdoor wordt er naast het belang van bescherming van de bodem ook gestreefd naar een doelmatig gebruik van bodemenergie. Waar bij een gevalsgerichte aanpak de verontreiniging niet verplaatst mag worden, mag deze bij een gebiedsgerichte aanpak wel verplaatst worden, mits binnen de systeemgrenzen van het gebiedsgericht grondwaterbeheer.

Gebiedsgericht grondwaterbeheer, ontwikkeld met een concrete visie op het ondergrondse ruimtegebruik en goede afspraken met belanghebbenden over kosten en opbrengsten, zal de mogelijkheden tot het realiseren van open bodemenergiesystemen op locaties waar verontreinigingen met VOCl aanwezig zijn significant vergroten. Een initiërende rol bij de regie van het gebiedsgericht grondwaterbeheer is weggelegd voor gemeenten.

De toepassing van combinatieconcepten (combinaties van open bodemenergiesystemen en saneringstechnieken) blijken in de praktijk kosteneffectiever te zijn dan het gescheiden uitvoeren van saneringen en open bodemenergiesystemen. Over het algemeen worden bij het toepassen van combinatieconcepten de verontreinigingen met VOCl beheerst binnen de systeemgrenzen door de bronnen van de open bodemenergiesystemen strategisch te plaatsen. De toename van de dynamiek van het grondwater zorgt daarbij voor een stimulering van de natuurlijke afbraak van de verontreinigingen met VOCl. Nader onderzoek naar bodemeigenschappen en afbraakpotentie ter plaatse van bestaande combinatieconcepten zoals de 'Biowasmachine' in Utrecht en 'Strijp-S' in Eindhoven, die al langere tijd in gebruik zijn, moet de mogelijkheden tot het gericht stimuleren van de natuurlijke afbraak door toepassen van bestaande saneringstechnieken binnen de invloedssfeer van de open bodemenergiesystemen nog beter in kaart brengen.

Voor combinatieconcepten geldt dat er in het kader van de vergunningaanvraag afstemming plaats moet vinden op grond van de Waterwet en de Wet bodembescherming. Bij het opstellen van gebiedsgericht grondwaterbeheer waarbij meerdere open bodemenergiesystemen worden toegestaan is het mogelijk om een volledig saneringsplan op te stellen voor het gehele systeemgebied waarin (de impact van) de open bodemenergiesystemen worden verwerkt.

Naast het in kaart brengen van de invloed van het systeem op de omgeving is bij het systeemontwerp het bepalen van de energievraag van de gebouwen van groot belang, omdat de opslagcapaciteit van de ondergrond af neemt bij elk open bodemenergiesysteem dat gerealiseerd wordt. Wanneer de energievraag

van gebouwen en het debiet van open bodemenergiesystemen niet goed worden ingeschat kan er geen optimaal gebruik gemaakt worden van de ondergrondse ruimte. Een variatie aan soorten gebouwen met een specifieke energievraag in het projectgebied kan hier uitkomst bieden. Door uitruiling van warmte- of koude overschotten van open bodemenergiesystemen ontstaat er een beter rendement van het gehele systeemgebied.

De wettelijke verplichting tot certificering voor het ontwerp, de installatie en het beheer, heeft geleid tot steeds beter ontworpen en functionerende bodemenergiesystemen. Wanneer combinatieconcepten goed ontworpen en geïnstalleerd zijn zorgt dit bij een juist beheer voor goede energieprestaties en balansbeheersing en een juiste inschatting van het ondergrondse ruimtebeslag.

De algemene conclusie van dit onderzoek is dat verontreinigingen met VOCl geen belemmering hoeven te vormen voor het gebruik van open bodemenergiesystemen. Het is juist van belang om de mogelijkheden van combinatieconcepten te benadrukken.

De resultaten van dit onderzoek zijn verwerkt in een stroomschema dat is opgenomen als bijlage 1. Dit stroomschema heeft als doel de kansen en knelpunten die er zijn bij initiatieven voor gebruik van open bodemenergiesystemen op locaties waar verontreinigingen met VOCl aanwezig zijn op een overzichtelijke manier aan te reiken aan adviesbureaus, projectontwikkelaars en overheden en daarmee kennis en draagvlak op het gebied van combinatieconcepten te vergroten.

Summary

Aquifer Thermal Energy Storage (ATES) systems contribute to the use of renewable energy and CO₂-emission reductions. They are financially attractive and have little impact on the aboveground area. This form of renewable energy has proven to be successful in recent years and can be used in almost all parts of the Netherlands in a variety of sectors, from residential to commercial buildings. Unfortunately too often a groundwater contamination with Volatile Organic Compounds (VOC) causes a restriction on underground developments, especially in the field of geothermal energy. These contaminants are commonly located in crowded urban areas with a highly concentrated energy demand, and are usually not remediated.

The purpose of this research is to assess relevant opportunities for ATES systems so that they can be used in these occupied urban areas where contaminations with VOC are present.

Recent changes in Dutch laws and regulations have led to a shift from a case-oriented approach to an integrated approach on soil contamination. In addition to the importance of soil protection, the aim is also to use geothermal energy efficiently. In a case-oriented approach contaminations are not allowed to be moved. Where there is an integrated approach, the contaminations can be moved within the boundaries of the system.

An integrated approach, developed with a concrete vision of the subsurface and good agreements with stakeholders on costs and revenues will lead to a significant increase of opportunities for the realization of ATES systems in contaminated urban groundwater. Municipalities should have an initiating part in directing this integrated approach.

The application of a combination of ATES systems and remediation techniques has proven to be more cost effective than the separate execution of soil remediation and ATES systems. Generally, the groundwater contaminations with VOC are controlled within the system boundaries by the strategically placed sources of the ATES systems. The increase in the groundwater dynamics thereby allows a stimulation of the natural attenuation of the contaminants. Further research on the characteristics of the soil and the attenuation potential at existing combination concepts, like the 'Biowasmachine' in Utrecht and 'Strijp-S' in Eindhoven, might lead to an improvement of the possibilities to stimulate the natural attenuation by using existing remediation techniques within the sphere of influence of the ATES systems.

A permit is necessary for these combination concepts on the basis of the Waterwet and the Wet bodembescherming. When an integrated approach with multiple ATES systems is initiated, it is possible to form an attenuation plan for the entire area. The impact of the ATES systems on the environment has to be processed in this attenuation plan.

Besides charting the influence of the system on the environment it is of a great importance to determine the energy demand of buildings, because the storage capacity of the subsurface decreases at each ATES system that is realized. When the energy demand of buildings and the flow of ATES systems are not correctly estimated, it isn't possible to have an optimum use of the subsurface. A variety of types of buildings with a specific energy demand in the project area can offer a solution. A trade-off of heat or cold surpluses of ATES systems creates a better efficiency of the entire system.

The legal obligation of certification for the design, installation and management, has led to ATES systems that are increasingly better designed and functioning. If the design and installation of ATES systems is done properly, and the system is also properly managed, this results in a high energy performance, a good energy balance and an accurate estimation of the subsurface footprint.

The general conclusion of this study is that groundwater contaminations with VOC do not necessarily have to be an obstacle when ATES systems are initiated. It is more important to emphasize the possibilities of ATES systems in combination with remediation techniques.

The results of this research are processed in a flow chart which is included as Appendix 1. The aim of this flow chart is to provide clearness and to increase knowledge and support for consultants, developers and governments when there are initiatives for the use of ATES systems in crowded urban areas with a VOC groundwater contamination.

Voorwoord

Deze scriptie is geschreven in het kader van mijn afstudeeronderzoek voor de studie Milieukunde aan de Hogeschool Utrecht.

Sinds november 2008 ben ik werkzaam bij BK Ingenieurs en na een deeltijd MBO opleiding tot milieutechnisch veldwerker heb ik er voor gekozen om aanvullend de HBO studie Milieukunde dual te volgen. Deze keuze heb ik gemaakt omdat ik graag in de milieusector wilde blijven werken en mij wilde ontwikkelen als milieukundig adviseur. Het volgen van de opleiding Milieukunde heeft hieraan voor mij een grote bijdrage geleverd en heeft tevens een degelijke basis gelegd voor mijn toekomstige persoonlijke ontwikkeling.

Doordat mijn werk zich richt op milieukundig bodemonderzoek was het een logische keuze om het onderwerp van mijn eindscriptie daarop aan te laten sluiten. Daarnaast wil ik graag iedereen motiveren en stimuleren om minder energie te gaan gebruiken, en de energie die we gebruiken duurzaam op te wekken. Daarom is mijn keuze gevallen op de combinatie van bodemenergie en bodemsaneringen van verontreinigingen met VOCl. Tijdens het vooronderzoek viel het mij op dat er veel onderzoek gedaan is naar deze combinatie maar dat de kennis vooral aanwezig is bij een aantal specialistische bureaus. Door middel van dit onderzoek wil ik deze kennis bereikbaar maken voor een breder publiek waardoor er een groter draagvlak ontstaat voor deze vorm van duurzame energie.

Daarom is in deze eindscriptie getracht om de kansen, knelpunten en mogelijkheden die er zijn bij het realiseren van open bodemenergiesystemen op locaties waar verontreinigingen met VOCl aanwezig zijn, in kaart te brengen en deze vervolgens te verwerken in een praktisch stroomschema.

Ik wil graag de volgende mensen bedanken die voor mij tijdens het volgen van deze studie een grote bijdrage hebben geleverd. Allereerst de docenten milieukunde die voor interessante en inspirerende lessen hebben gezorgd tijdens de gehele opleiding. Vervolgens veel dank aan mijn afstudeerbegeleiders Roger Klaver, wiens kritische blik ervoor heeft gezorgd dat ik meer uit mezelf heb kunnen halen dan dat ik voor mogelijk hield, en Annemiek van der Meijden, die door haar expertise en enthousiasme mijn keuze voor het werken in de bodemsector nogmaals bevestigde. Daarnaast dank aan mijn medestudenten, Robin Huurman en Jan Beenen, die voor de nodige competitieve uitdagingen zorgden en waarmee ik een fantastische buitenlandstage heb mogen meemaken. Speciale dank aan mijn bedrijfsbegeleider Yacintha Mulder, die mij als collega (en coach) altijd weer wist te motiveren tijdens onze gesprekken. Ook dank aan mijn tweede bedrijfsbegeleider en collega Eric van der Most, degene binnen onze vestiging met veruit de meeste kennis op het gebied van bodemonderzoek (en het stoken van drank), en die mij in de laatste fase van mijn studie heeft bijgestaan bij het schrijven van mijn scriptie. En als laatste gaat mijn oneindige dank uit naar de meest belangrijke drijfveer in dit verhaal, mijn vriendin, die mij heeft geïnspireerd om te gaan studeren en mij daarin de afgelopen jaren heeft ondersteund met veel begrip, ruimte en liefde.

Delft, 1 januari 2016, Marnix Hofland

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	5
Summary.....	7
Voorwoord.....	9
1. Inleiding	13
1.1 Probleemstelling.....	14
1.2 Onderzoeksdoelstelling	15
1.3 Hoofdvraag en deelvragen	15
1.4 Leeswijzer	15
2 Onderzoeksopzet.....	16
2.1 Literatuuronderzoek.....	16
2.2 Interviews	17
2.3 Bezoek Jaarcongres SIKB	17
3 Onderzoeksresultaten	18
3.1 Onderzoeksresultaten literatuuronderzoek.....	18
3.1.1 Open bodemenergiesystemen	18
3.1.2 Verontreinigingen met VOCl en saneringen.....	20
3.1.3 Wet- en regelgeving bodemenergie	23
3.1.4 Gebiedsgericht grondwaterbeheer en participanten.....	26
3.1.5 Combinatieconcepten	28
3.1.6 Bodemgeschiktheid	30
3.1.7 Energievraag	33
3.2 Resultaten uit interviews.....	34
3.2.1 Experts WKO systemen	34
3.2.2 Experts combinatieconcepten	36
3.3 Resultaten bezoek Jaarcongres SIKB	40
3.3.1 Lezing ‘Bodemenergie meervoudig duurzaam’	40
4. Analyse onderzoeksresultaten	42
4.1 Open bodemenergiesystemen	42
4.2 Verontreinigingen met VOCl en saneringen.....	43
4.3 Wet- en regelgeving bodemenergie	43
4.4 Gebiedsgericht grondwaterbeheer en participanten	45
4.5 Combinatieconcepten	46
4.6 Bodemgeschiktheid	47

4.7	Energievraag.....	48
4.8	Conclusie analyse onderzoeksresultaten	48
5	Stroomschema.....	49
5.1	Ontwerp stroomschema.....	49
5.2	Validatie stroomschema.....	50
6	Conclusies en aanbevelingen	51
6.1	Conclusies.....	51
6.2	Aanbevelingen.....	52
	Begrippenlijst.....	55
	Literatuurlijst	57
	Bijlagen	59
1	Stroomschema.....	59

1. Inleiding

De vraag of verduurzaming van de energievoorziening nodig is, hoeft vandaag de dag niet meer gesteld te worden. Het antwoord daarop is duidelijk. Energiebesparing en het verminderen van de CO₂-uitstoot zijn belangrijke speerpunten van het milieubeleid. Met de recente uitspraak in de 'Klimaatzaak' tegen de Nederlandse staat, in april van dit jaar, zijn deze speerpunten nog belangrijker geworden. De rechter vindt de huidige ambitie van het rijk om in 2020, 17 procent minder broeikasgas te produceren ten opzichte van 25 jaar geleden niet voldoende.

Fossiele energiebronnen worden schaarser door de toenemende energievraag en daardoor tevens steeds duurder. De noodzaak voor het gebruik van alternatieve energiebronnen komt hierdoor steeds dichterbij. Bodemenergiesystemen kunnen een bijdrage leveren aan energiebesparing en de reductie van CO₂-emissie en worden ook steeds vaker toegepast als duurzame ontwikkeling van de ondergrond. Naast het gebruik van bodemenergiesystemen wordt er voor andere toepassingen al veel langer gebruik gemaakt van de ondergrond omdat het ruimte scheelt, overlast vermindert en het tevens heel efficiënt kan zijn. Hierdoor is het in Nederland niet alleen boven, maar ook onder de grond een drukte van belang.

Helaas is het onder de grond niet altijd even schoon waardoor we worden gedwongen om goed na te denken over het ruimtegebrek in de ondergrond op plaatsen waar verontreinigingen zich hebben verspreid. Gebiedsgericht grondwaterbeheer, waardoor het gebruik van bodemenergiesystemen op locaties waar bodemverontreinigingen aanwezig zijn wordt toegestaan, is een van de manieren om hier een positieve bijdrage aan leveren.

Bodemenergiesystemen kunnen zorgen voor verhoging van de temperatuur en tevens voor menging en dynamiek van het grondwater en kunnen daardoor worden gebruikt om verspreiding van onder andere verontreinigingen met VOCl te voorkomen en/of de afbraak ervan te stimuleren.

In Nederland stijgt de vraag naar alternatieve energiebronnen en bodemenergie is er daar één van. Bodemenergie wordt steeds meer toegepast en volgens het CBS is de productie met bodemwarmte meer dan verdubbeld tussen 2009 en 2014. Energieopslag in de ondergrond is een bewezen techniek en vrijwel overal in Nederland toepasbaar (Soilpedia.nl). Mede hierdoor ontstaat er een verhoogde druk op het gebruik van de ondergrondse ruimte. Dit leidt doorgaans tot tegenstrijdige belangen tussen het saneren en beheersen van bodemverontreinigingen (laag debiet) en het plaatsen en toepassen van bodemenergiesystemen (hoog debiet). Bodemenergiesystemen dienen te zorgen voor voldoende, betaalbare, warmte en/of koude en een betrouwbare constante levering. Het doel van saneringsmaatregelen is juist om verontreinigingen kosteneffectief te verwijderen of te beheersen. Deze tegenstrijdige belangen worden minder tegenstrijdig wanneer bodemenergiesystemen en saneringen van bodemverontreinigingen door middel van goed doordachte combinatieconcepten samengebracht worden.

Een ander voorbeeld van tegenstrijdige belangen bij het gebruik van bodemenergie is dat een open bodemenergiesysteem zorgt voor een grote grondwaterbeweging en daardoor wordt ook verspreiding van grondwaterverontreinigingen beïnvloed. Dit is volgens het huidig wettelijk kader, de Wet bodembescherming (Wbb), nou juist niet de bedoeling. Dit zorgt voor een van de beperkingen bij het plaatsen van bodemenergiesystemen. Gebiedsgericht grondwaterbeheer kan hierbij een grote rol spelen door bijvoorbeeld het toestaan van geringe verplaatsing van de verontreiniging.

Een belangrijk gegeven bij de uitvoering van dit onderzoek is dat grootschalige bodemverontreinigingen in Nederland in de praktijk meestal niet actief worden gesaneerd, maar dat er wordt volstaan met het beheersen of monitoren ervan (Nederlandse Vereniging voor Ondergrondse Energieopslag, NVOE, 2010).

Grootschalige verontreinigingen en gebieden met een geconcentreerde energievraag bevinden zich vaak in de zelfde, bebouwde, omgeving. Hierdoor kunnen bodemenergiesystemen met elkaar interfereren. Dit kan zorgen voor waardevermindering, rendementsverlies en kostenstijging. Daar tegenover kan gesteld worden dat als systemen slim ten opzichte van elkaar worden gepositioneerd, de rendementen juist kunnen worden verhoogd. Daarnaast kunnen verspreidingseffecten bij afzonderlijke bodemenergiesystemen versterkt worden wanneer er meerdere systemen binnen een beperkte ruimte actief zijn. Beheersing van een verontreiniging of de afbraak ervan kan hierdoor worden gestimuleerd. Om meerdere doelen te behalen is het zaak om het ontwerp van bodemenergiesystemen goed af te stemmen met de verontreinigingssituatie en onttrekkingen ten behoeve van andere doelstellingen. (Meer met Bodemenergie (MMB11), 2012).

Een bepalende factor bij het combineren van bodemenergiesystemen en de aanpak van bodemverontreinigingen is de diepte waarop de verontreiniging zich bevindt. Daarnaast is de diepte ook bepalend voor de energie-efficiëntie van het toegepaste bodemenergiesysteem. Een efficiënt en veel gebruikt bodemenergiesysteem is het open bodemenergiesysteem waarbij het grondwater als opslag- en transportmedium gebruikt wordt. Warmte en koude wordt opgeslagen door middel van een warme en een koude bron in watervoerende lagen (aquifers) in de ondergrond op een diepte van circa 20 tot 250 m-mv. De meest voorkomende verontreiniging in deze lagen wordt veroorzaakt door vluchtige gechloreerde chloorkoolwaterstoffen (VOCl) en deze stofgroep is daarom het meest relevant voor warmte en koude opslag (WKO) door middel van open bodemenergiesystemen (Meer met Bodemenergie (MMB10), 2012). Gesloten bodemenergiesystemen worden doorgaans in de ondiepere ondergrond geplaatst en zorgen niet voor enige grondwaterverplaatsing. Zodoende worden deze in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten.

Binnen de ingenieurs- en adviesbranche is met betrekking tot combinatieconcepten van bodemenergiesystemen en bodemverontreinigingen al veel onderzocht, maar het is opvallend dat de kennis vooral bij een gering aantal specialistische bureaus aanwezig is. Terwijl het voor alle bodemprofessionals goed is om mee te gaan met de ontwikkelingen binnen hun vakgebied. Met het begrip duurzaamheid in de schijnwerpers en de beperkte ruimte in de ondergrond is er ook steeds meer behoefte aan kennis op het gebied van bodemenergiesystemen. Het is daarom van belang om meer draagvlak te creëren en de (on)mogelijkheden van het gebruik van open bodemenergiesystemen op locaties met verontreinigingen met VOCl in kaart te brengen. Zo kunnen niet alleen bodemprofessionals maar ook andere marktpartijen inzicht krijgen in de mogelijkheden en effecten van (het plaatsen van) open bodemenergiesystemen op locaties waar verontreinigingen met VOCl aanwezig zijn. Hierdoor kan het denkproces omslaan van beperkingen, naar mogelijkheden van locaties waar verontreinigingen met VOCl aanwezig zijn.

1.1 Probleemstelling

De bovenstaande paragraaf vormt de aanleiding van het onderzoek en heeft geleid tot het opstellen van de volgende probleemstelling: *“Er is een beperkte ruimte bij ontwikkelingen in de ondergrond en de aanwezigheid van bodemverontreinigingen zorgt vaak voor een extra beperking van deze ontwikkelingen. Het wegnemen van deze beperkingen zou kunnen leiden tot een mogelijke aanpak van bodemverontreinigingen door middel van het gebruik van open bodemenergiesystemen. Bij veel partijen is er nog onvoldoende kennis van de mogelijkheden van open bodemenergiesystemen en wat voor effecten deze kunnen hebben in gebieden waar bodemverontreinigingen aanwezig zijn”.*

Uit deze probleemstelling is op te maken dat het inzichtelijk maken van de huidige ontwikkelingen op het gebied van open bodemenergiesystemen op locaties waar verontreinigingen met VOCl aanwezig zijn, het gebruik van bodemenergie zal stimuleren.

1.2 Onderzoeksdoelstelling

Dit onderzoek wordt uitgevoerd om de kansen die er op het gebied van open bodemenergiesystemen zijn duidelijker te maken door het bundelen van de tot nu toe bekende informatie tot een overzichtelijk schema waarin partijen aan de hand worden genomen om te laten zien hoe zij een bijdrage kunnen leveren aan het inzetten van open bodemenergiesystemen in gebieden waar verontreinigingen met VOCl aanwezig zijn en welke acties en maatregelen er genomen kunnen worden.

De doelstelling die hier bij hoort is: *“Het in kaart brengen van beschikbare kennis en het aandragen van oplossingen voor partijen om bodemenergie effectief te kunnen benutten, door slim gebruik te maken van open bodemenergiesystemen, in gebieden waar verontreinigingen met VOCl aanwezig zijn”.*

1.3 Hoofdvraag en deelvragen

Vanuit bovenstaande probleemstelling en onderzoeksdoelstelling is de volgende centrale onderzoeksvraag opgesteld.

“Hoe kunnen open bodemenergiesystemen worden ingezet in gebieden met een (sterk geconcentreerde) energievraag en de aanwezigheid van verontreinigingen met VOCl in de bodem?”.

Deze centrale onderzoeksvraag is sturend bij het onderzoek. Gezichtspunten op de hoofdvraag vormen de deelvragen. Om de hoofdvraag zo goed mogelijk te kunnen beantwoorden zijn de volgende deelvragen opgesteld om het onderzoek verder af te bakenen. De deelvragen hebben tevens gediend als basis voor het eindproduct, het stroomschema dat is toegevoegd als bijlage 1.

- Welke ontwikkelingen zijn er op het gebied van open bodemenergiesystemen?
- Welke ontwikkelingen zijn er op het gebied van in-situ saneringen van verontreinigingen met VOCl?
- Wat zijn de mogelijkheden en beperkingen van wet- en regelgeving op het gebied van bodemenergie en bodemverontreinigingen?
- Wat is de betekenis van gebiedsgericht grondwaterbeheer bij de realisatie van bodemenergiesystemen en welke rol speelt interferentie met verontreinigingen met VOCl hierin?
- Wat zijn mogelijke kansrijke combinatieconcepten van open bodemenergiesystemen en VOCl saneringstechnieken?
- Welke bodemeigenschappen zijn vereist om een combinatieconcept te laten slagen?
- Wie zijn de participanten bij deze combinatieconcepten?
- Wat is de energievraag, en hoe kan er worden afgeweken worden van de energiebalanseis?

1.4 Leeswijzer

In de paragrafen hierboven zijn zowel de probleem- en onderzoeksdoelstelling als de onderzoeksvragen beschreven. In hoofdstuk 2 wordt een omschrijving van de onderzoekopzet gegeven, waarbij in de paragrafen 2.1 tot en met 2.3 een korte beschrijving wordt gegeven van de pijlers waar het onderzoek op rust, te weten een literatuuronderzoek en interviews met experts vanuit de branche. Met als toevoeging het bezoek aan het Jaarcongres SIKB 2015. Hoofdstuk 3 is een samenvatting van de onderzoeksresultaten. Deze worden per onderzoeksmethode en onderwerp beschreven. De onderzoeksresultaten zijn in hoofdstuk 4 per onderwerp geanalyseerd. Vervolgens wordt in hoofdstuk 5 het tot stand komen van het eindproduct, het stroomschema dat is toegevoegd als bijlage 1, beschreven. Paragraaf 5.1 beschrijft het ontwerp van het stroomschema en in paragraaf 5.2 wordt de validatie van het stroomschema beschreven. Het rapport wordt afgesloten met hoofdstuk 6 waarin conclusies en aanbevelingen worden gegeven naar aanleiding van de resultaten van dit onderzoek.

2 Onderzoeksopzet

Dit onderzoek rust op twee pijlers. De eerste pijler wordt gevormd door het verzamelen van data door middel van een literatuuronderzoek waarbij, onder andere, gebruik wordt gemaakt van relevante wet- en regelgeving, uitgevoerde onderzoeken, relevante vakliteratuur en scripties. De tweede pijler wordt gevormd door het verzamelen van data door middel van interviews met experts op het gebied van bodemenergiesystemen, verontreinigingen met VOCl en wet- en regelgeving op het gebied van bodemenergie. Daarnaast is er een congres bijgewoond van de Stichting Infrastructuur Kwaliteitsborging Bodembeheer (SIKB) waarbij onder andere de ervaringen met, en de ontwikkelingen op het gebied van, bodemenergie en duurzaamheid zijn besproken. Het geheel van bovenstaande dataverzameling kan gezien worden als een kwalitatief onderzoek.

De dataverzameling met betrekking tot de hoofd- en deelvragen is onderverdeeld in acht onderwerpen, te weten:

- Open bodemenergiesystemen.
- Verontreinigingen met VOCl.
- Huidige wet- en regelgeving.
- Gebiedsgericht grondwaterbeheer.
- Combinatieconcepten.
- Bodemgeschiktheid.
- Participanten.
- Energievraag en balans.

Het onderzoek is gericht op de huidige wet- en regelgeving. Geplande wetswijzigingen zoals de Omgevingswet die in werking zal treden in 2018, zijn buiten beschouwing gelaten.

Door de grote samenhang van de onderwerpen gebiedsgericht grondwaterbeheer en participanten bij het realiseren van combinatieconcepten zijn deze twee onderwerpen in de uitwerking van het onderzoek samengevoegd.

Na het verzamelen van de benodigde data zijn de resultaten van het literatuuronderzoek, de interviews en het jaarcongres van de SIKB uitgeschreven.

Vervolgens zijn de op onderwerp gerangschikte onderzoeksresultaten geanalyseerd. De analysegegevens zijn samengevat en verwerkt in een stroomschema. Dit schema is duidelijk en toegankelijk en zal bij diverse marktpartijen het bewustzijn vergroten op het gebied van combinatieconcepten van open bodemenergiesystemen en VOCl grondwaterverontreinigingen. Het schema geeft concrete handvatten waardoor het als hulpmiddel kan dienen bij het adviseren van partijen die geïnteresseerd zijn om deze combinatieconcepten te realiseren. Het schema draagt bij aan een kosteneffectief gebruik van de ruimte in de ondergrond. Het streven is om met behulp van het schema tevens de potentie van locaties te benoemen maar dat is op dit moment niet realistisch.

2.1 Literatuuronderzoek

Voor het literatuuronderzoek is gebruik gemaakt van huidige wet- en regelgeving, uitgevoerde onderzoeken, relevante vakliteratuur, scripties en diverse internetbronnen.

De onderzoeksresultaten van het literatuuronderzoek worden uitgeschreven in hoofdstuk 3 onder paragraaf 3.1 'Resultaten literatuuronderzoek'.

2.2 Interviews

Voor het afnemen van interviews is gezocht naar personen, bedrijven of organisaties die direct dan wel indirect te maken hebben met bodemenergiesystemen (WKO), verontreinigingen met VOCl/saneringen en combinatieconcepten. De volgende personen zijn geïnterviewd:

- R. Huurman – MWH Global – toezichthouder en handhaver WKO – Provincie Utrecht en Zuid-Holland.
- A. de Vries – Gemeente Utrecht – adviseur ondergrond & natuurlijk kapitaal – Biowasmachine Utrecht.

De onderzoeksresultaten van de gegevens uit de interviews worden uitgeschreven in hoofdstuk 3 onder paragraaf 3.2 'Resultaten uit interviews'. Met de heer Huurman is gesproken over wet- en regelgeving met betrekking tot open bodemenergiesystemen. De heer de Vries is initiatiefnemer van de Biowasmachine, een van de pilot locaties in Nederland waar open bodemenergiesystemen toegepast worden op een locatie waar veel verontreinigingen met VOCl aanwezig zijn. Met hem is gesproken over de werking van de open bodemenergiesystemen in het gehele systeemgebied van het gebiedsgericht grondwaterbeheer.

2.3 Bezoek Jaarcongres SIKB

Op 24 september 2015 is het jaarlijkse congres van het SIKB gehouden. De belangrijkste reden om dit congres te bezoeken was de geplande lezing 'Bodemenergie meervoudig duurzaam', verzorgd door een drietal experts op het gebied van bodemenergie. De lezing richtte zich op goed ontworpen en goed aangelegde systemen waardoor bodemenergiesystemen niet alleen voor duurzame energie zorgen maar ook duurzaam zijn voor de bodem en het grondwater. Deze lezing was onderdeel van een congres waar veel aandacht is besteed aan de nieuwe omgevingswet en de daarmee samenhangende ontwikkelingen in techniek en uitvoering met betrekking tot werken in de bodem, water en archeologie.

De onderzoeksresultaten van de gegevens uit het Jaarcongres SIKB worden uitgeschreven in hoofdstuk 3 onder paragraaf 3.3 'Resultaten bezoek Jaarcongres SIKB'.

3 Onderzoeksresultaten

3.1 Onderzoeksresultaten literatuuronderzoek

In onderstaande paragrafen worden de resultaten van het literatuuronderzoek per onderwerp samengevat.

3.1.1 Open bodemenergiesystemen

Ondiepe bodemenergie (tot maximaal 500 meter diep) is een vorm van hernieuwbare energie waarbij gebruik gemaakt wordt van het grondwater om koude en warmte te transporteren en op te slaan. Het is een bewezen techniek die al bestaat vanaf circa 1990 (rvo.nl). Na de invoering van standaardsystemen in 2003 is het gebruik van warmte en koudeopslag in de bodem in Nederland sterk toegenomen. De techniek wordt het meest toegepast bij ziekenhuizen of verzorgingshuizen, glastuinbouw, kantoorgebouwen en winkelcentra. Voor de woningbouw wordt een combinatie met 'koudevragers' zoals datacenters en supermarkten, bodemenergie ook steeds interessanter omdat woningen doorgaans meer warmte gebruiken (Eneco, 2013).

Een veel gebruikte vorm van ondiepe bodemenergie is het open bodemenergiesysteem waarbij grondwater wordt rondgepompt vanuit open bronnen gelegen op een diepte van circa 20 tot 250 m- mv. De open bronnen zijn geïnstalleerd in watervoerende pakketten (aquifers) in de bodem. Het grondwater wordt na het oppompen opgewarmd of afgekoeld via de warmtepomp, ook wel warmtewisselaar of tegenstroomapparaat (TSA) genoemd, waarna het weer in de bodem wordt geïnfiltreerd.

Tussen grondwatersysteem en gebouwsysteem bevindt zich een hydraulische scheiding waardoor het gebouwsysteem gevuld kan worden met leidingwater. Het gebouwsysteem wordt zo beschermd tegen het enigszins agressievere grondwater en het grondwater wordt beschermd tegen mogelijke vervuilingen vanuit het gebouwsysteem.

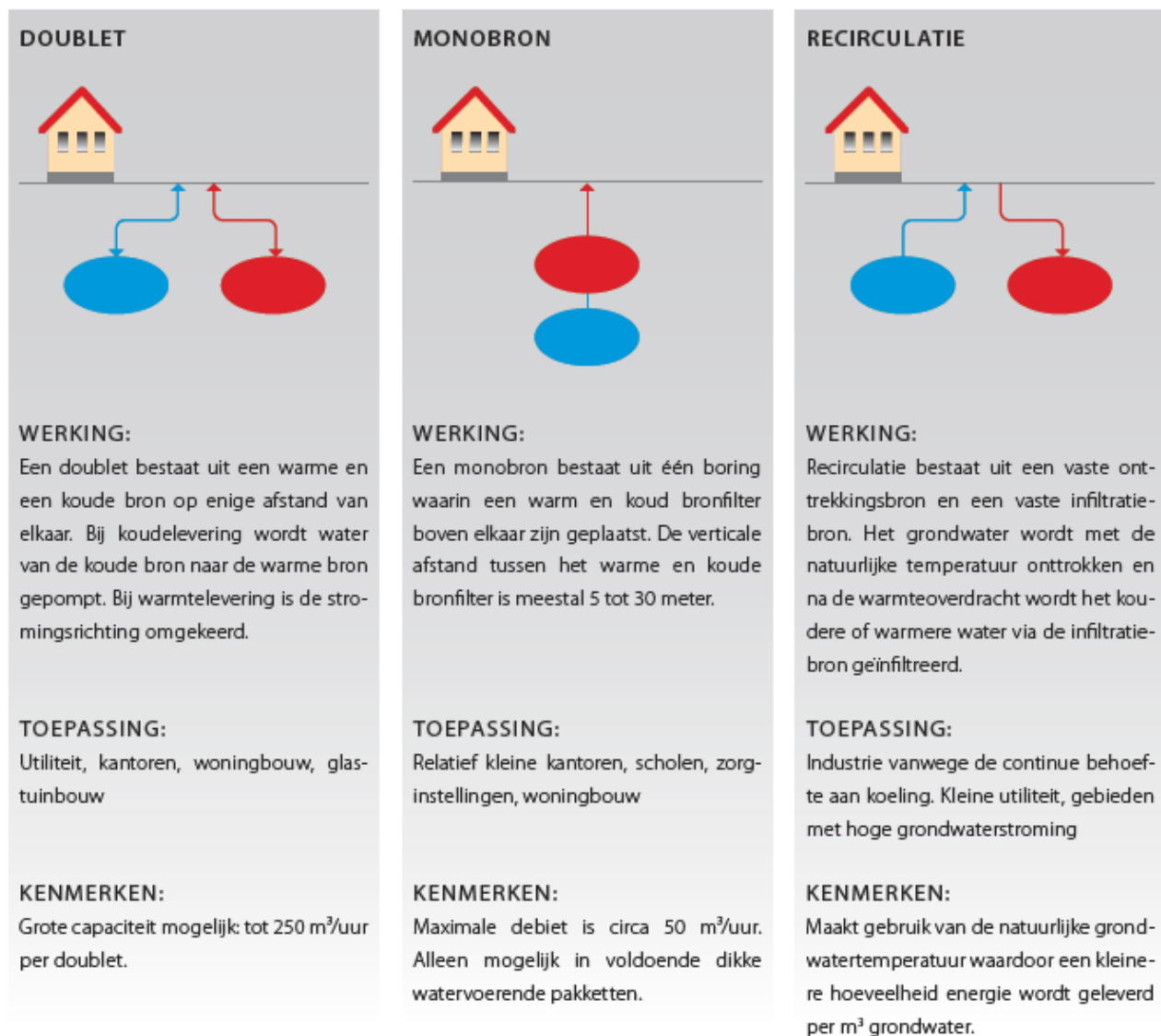
In de zomer wordt er water van circa 7 °C opgepompt uit de koude bron. Dit is meestal koud genoeg om een gebouw direct mee te koelen. Alleen tijdens de piekvraag gedurende de warmste dagen van het jaar zal de warmtewisselaar ingezet moeten worden voor extra koeling. De warmte van het gebouw wordt afgegeven aan het water en opgeslagen in de warme bron. Het water dat in de winter wordt opgepompt heeft een temperatuur van ongeveer 15°C en kan door middel van de warmtepomp opgewaardeerd worden tot een temperatuur van circa 45°C. Deze warmte wordt aan het gebouw afgegeven en de koude die hierbij door de warmtepomp wordt geproduceerd kan weer worden opgeslagen in de koude bron.

Directe koeling of directe verwarming zorgt vanzelfsprekend voor het hoogste rendement. Bij tussenkomst van de warmtewisselaar gaat het rendement omlaag (SKB-cahier, 2013).

De opslag van koud en warm water evenals het rondpompen ervan laat de ondergrond niet ongemoeid. Het gebruik van open bodemenergiesystemen kan temperatuurwijziging, grondwaterstandverandering en menging van water met verschillende samenstelling teweeg brengen. Dit zorgt voor chemische, biologische en fysische effecten op de ondergrond. Voorbeelden hiervan zijn verandering van chloridegehalten (menging van zoet en zout grondwater), toename in organische stof, verandering van hoeveelheid en functioneren van micro-organismen en het optreden van dichtheidsstromen. Genoemde effecten kunnen mogelijk leiden tot gunstigere condities voor de afbraak van verontreinigingen met VOCl in het grondwater (SKB-cahier, 2012).

Open bodemenergiesystemen zijn er als opslag- of doorstroomsysteem, waarbij onderscheid wordt gemaakt in een monobron-systeem en een doublet-systeem, en recirculatiesystemen. In figuur 1 zijn de verschillende systemen en hun toepassingsgebieden weergegeven.

figuur 1: open bodemenergiesystemen



bron: SKB , 2013

Het debiet van de open bodemenergiesystemen hangt af van de energievraag van het gebouw. Open bodemenergiesystemen zijn geschikt voor gebruik vanaf circa 50 woningen of gebouwen van 2.000 m² en meer. De debieten van de systemen lopen uiteen vanaf 5 m³ per uur voor het kleinste systeem tot circa 250 m³ per uur per doublet voor de grotere systemen. Bij een robuust ontwerp, een correcte aanleg en een goed beheer kan een open bodemenergiesysteem een energiebesparing van circa 50% op de combinatie van koelen en verwarmen betekenen. Terugverdientijden variëren van 8 – 15 jaar voor woningbouw tot 3 – 7 jaar voor gebouwen groter dan 10.000 m². De levensduur van open systemen (inclusief bronnen, leidingen en warmtewisselaar) bedraagt circa 25 tot 35 jaar (bodemenergie.nl).

Het ondergrondse ruimtebeslag van open bodemenergiesystemen is eveneens afhankelijk van de energievraag en dient bij ontwerp berekend te worden. Het ondergrondse ruimtebeslag neemt echter wel toe wanneer er een onbalans ontstaat tussen de koude en warmtevraag (DWA, IF, 2102).

Sinds 2013 wordt er in Nederland veel aandacht aan ecosysteemdiensten van de ondergrond en het grondwater besteed. Vooral om te bepalen hoe menselijke activiteiten gebruik maken van deze

ecosysteemdiensten. Open bodemenergiesystemen maken gebruik van drie onderstaande soorten ecosysteemdiensten (Lijzen et al, 2015):

1. Energetische inhoud van de ondergrondse ruimte.
2. De opslagcapaciteit van de ondergrondse ruimte.
3. De temperatuur regulering van de ondergrondse ruimte.

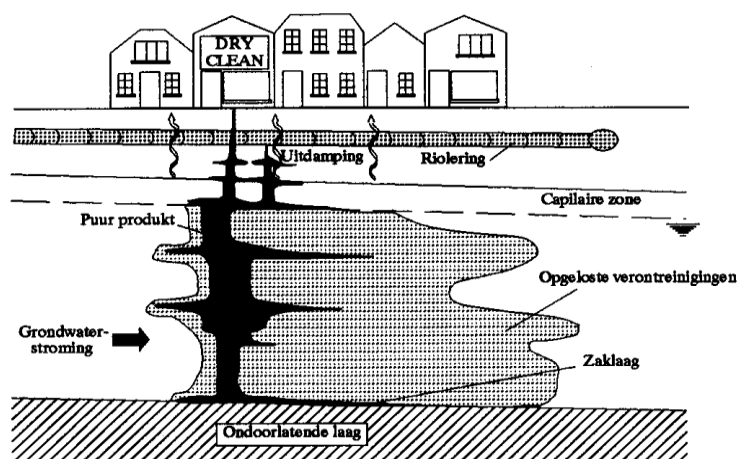
Wanneer een menselijke activiteit zoals het open bodemenergiesysteem ondergrondse ruimte in beslag neemt, kan deze ruimte niet ook voor een andere activiteit gebruikt worden. De invloed van het open bodemenergiesysteem op de ecosysteemdiensten kan zowel positief als negatief zijn. De opslagcapaciteit zal afnemen en de invloed op de energetische inhoud en de temperatuurregulering zal afhankelijk zijn van de looptijd van het bodemenergiesysteem. Invloeden van open bodemenergiesystemen op natuurlijke afbraakcapaciteit en biodiversiteit zijn nog niet voldoende onderzocht. De waterkwaliteit kan door het gebruik van open bodemenergiesystemen 'homogeniseren'.

3.1.2 Verontreinigingen met VOCI en saneringen

De vraag naar open bodemenergiesystemen ontstaat meestal in drukke stedelijke gebieden waar de energievraag het hoogst is. Het komt vaak voor dat er, juist op de voor een open bodemenergiesysteem ideale diepte, grondwaterverontreinigingen met VOCI aanwezig zijn door voormalige industriële activiteiten. VOCI zijn vluchtige organochloor-verbindingen, ofwel vluchtige alifatische chloorkoolwaterstoffen. VOCI werd grofweg vanaf 1930 tot heden toegepast in uiteenlopende bedrijfstakken, als oplos- en/of ontvettingsmiddel in de metaalbewerkende en grafische industrie maar ook als reinigingsmiddel bij chemische wasserijen. Door het veelvuldige en vaak onjuiste of ongecontroleerde gebruik van VOCI zijn er inmiddels meer dan 10.000 locaties verontreinigd geraakt met deze voor het milieu schadelijke chloorkoolwaterstoffen (SKB-cahier, 2008).

Eigenschappen zoals lage oplosbaarheid in water en hoge dichtheid zorgen ervoor dat deze stoffen als puur product zaklagen (DNAPL) kunnen vormen op slecht- of ondoorlatende lagen in de bodem. In opgeloste vorm hechten de stoffen zich weinig aan organische stof in de bodem en verspreiden zij zich relatief eenvoudig. Het zijn tevens matig vluchtige stoffen die in de onverzadigde bodemzone in dampvorm kunnen zorgen voor sterk verhoogde concentraties in de bodemlucht. De natuurlijke afbraak van VOCI geschiedt alleen bij het opgeloste deel van de verontreiniging maar gaat erg langzaam. De afbraak van verontreinigingen met VOCI zoals PER en TRI geschiedt onder diverse omstandigheden zowel aëroob als anaëroob en voltrekt zich stapsgewijs via verschillende afbraakproducten, waaronder het schadelijke vinylchloride, naar de onschuldige producten etheen of ethaan.

figuur 2: verspreiding verontreiniging met VOCI



A. van der Meijden, 2014

Al deze eigenschappen kunnen zorgen voor een erg grillig verspreidingskarakter van verontreinigingen met VOCI (zie figuur 2) en de pluim die ontstaat vanuit de bronzone kan zich tot een gebied van vele honderden meters uitstrekken.

Risico's door verontreinigingen met VOCI kunnen ontstaan door bijvoorbeeld:

- Uitdamping van de verontreiniging naar kruipruimtes onder huizen.
- Permeatie van de verontreiniging door kunststof waterleidingen waardoor het in het drinkwater terecht komt.
- Verspreiding van de verontreiniging binnen de invloedzone van een drinkwateronttrekking.

Alleen als de risico's voor de mens, het ecosysteem of verspreiding van de verontreiniging onaanvaardbaar geacht worden zal er met spoed gesaneerd moeten worden, anders volstaat het beheren van de verontreiniging (Circulaire bodemsanering, 2013). Het saneren van verontreinigingen met VOCl is vaak een grote uitdaging door de specifieke eigenschappen van VOCl, zoals het complexe verspreidingspad, de lage oplosbaarheid en de hoge dichtheid. Deze eigenschappen hebben geleid tot de ontwikkeling en de toepassing van verschillende saneringstechnieken.

Saneringstechnieken verontreinigingen met VOCl.

Als verontreinigingen met VOCl verwijderd moeten worden omdat er een onaanvaardbaar risico is ontstaan dan kan dat op verschillende manieren en met verscheidene technieken gebeuren. Naast de klassieke manier van ontgraven kan de verontreiniging met VOCl door fysische processen verwijderd worden en/of de afbraak ervan kan chemisch of biologisch gestimuleerd worden. Afhankelijk van onder andere de kosten, saneringsdoelstelling en de toegankelijkheid van het gebied en de verontreinigde zone (bron en/of pluim) zal er voor een saneringstechniek gekozen worden. In onderstaande alinea's wordt een aantal van de in Nederland toegepaste technieken in het kort beschreven.

Ontgraving is een techniek die alleen voor grond in bronzones en eenvoudig te bereiken bodemlagen (meestal niet dieper dan 10 meter) met een hoog gehalte aan VOCl in te zetten is. Vaak is de verontreiniging met VOCl aanwezig in grond en grondwater op een grotere diepte, waarbij het door het grillige verspreidingspatroon (zie figuur 2) moeilijk is om te bepalen waar de zaklagen exact aanwezig zijn. Het gevolg hiervan is dat deze techniek bijna alleen in combinatie met andere technieken ingezet kan worden. Door het vluchtige karakter van VOCl is er tevens een grote kans op emissie naar de omgeving, met alle gevolgen van dien. Daarnaast zal de ontgraven grond alsnog moeten worden getransporteerd en gereinigd.

In tabel 1 uit 2008 is een overzicht te zien waarin verschillende in situ saneringstechnieken zijn opgenomen. Onderstaande technieken worden nog steeds gebruikt maar vaak in combinatie met elkaar om verontreinigingen, en hun afbraakproducten, effectiever aan te kunnen pakken (zie figuur 3 TCE-concept).

tabel 1: Overzicht genoemde in situ saneringstechnieken voor verontreinigingen met VOCl

Saneringstechniek		Zone	Aanpak	Ervaring in Nederland
Fysisch	Pump & treat	verzadigd	pluim	ruim
	Bodemluchtextractie	verzadigd / onverzadigd	bron / pluim	ruim
	Persluchtinjectie	verzadigd	pluim	ruim
	Stoominjectie	verzadigd / onverzadigd	bron	beperkt
Chemisch	Chemische oxidatie (ISCO)	verzadigd / onverzadigd	bron	beperkt
	Chemische reductie met nulwaardig ijzer	verzadigd	bron (injectie) / pluim (schermen)	beperkt - in ontwikkeling
Biologisch	Stimulatie anaërobe biologische afbraak	verzadigd	bron / pluim	beperkt - in ontwikkeling
	Stimulatie aërobe biologische afbraak	verzadigd / onverzadigd	pluim	beperkt - in ontwikkeling

bronnen: SKB-cahier, 2008 en Friis, 2008

Fysische technieken

Hierbij kan gedacht worden aan het onttrekken van grondwater (pump & treat), bodemluchtexttractie, persluchtinjectie (strippen of 'sparging'), in situ extractie (flushing) en stoomgestimuleerde extractie (bodemrichtlijn.nl-1). Bij deze technieken wordt de verontreiniging bovengronds verder verwerkt.

Grondwateronttrekking is en wordt veelvuldig toegepast en is een techniek waarbij het vervuilde grondwater wordt opgepompt en na zuivering wordt geloosd op het oppervlaktewater of het riool of benedenstrooms van de bronzone weer wordt geïnfiltreerd. In de praktijk is gebleken dat de saneringsduur vaak onredelijk lang werd omdat er nalevering bleef plaatsvinden vanuit de aanwezige zaklagen (puur product). Grondwateronttrekking is een goede techniek voor de pluimzone van de verontreiniging met VOCl, maar als er puur product aanwezig is zal de saneringsdoelstelling niet worden bereikt (SKB-cahier, 2008).

Wanneer bodemlucht onder vacuüm onttrokken wordt aan de onverzadigde zone van de bodem is er sprake van bodemluchtexttractie. Deze techniek zorgt ervoor dat VOCl verwijderd kan worden via de gasfase. De onttrokken bodemlucht wordt bovengronds gezuiverd. Door het aantrekken van schone lucht uit de omgeving stijgt de hoeveelheid zuurstof in de bodem waardoor tevens de aërobe biologische afbraak wordt gestimuleerd.

Om de beschikbaarheid van VOCl te verbeteren kan er onder hoge druk lucht geïnjecteerd worden onder de grondwaterstand. Deze techniek is bekend onder de naam 'sparging' ofwel persluchtinjectie. Hierdoor zal de verontreiniging vanuit de verzadigde zone overgaan in de onverzadigde zone waar het vervolgens verwijderd kan worden door middel van bodemluchtexttractie. In sommige gevallen kan deze techniek ook de aërobe biologische afbraak stimuleren. Nadeel bij deze techniek is dat de mogelijkheid bestaat dat zaklagen door verhoogde mobiliteit en temperaturen zich verticaal gaan verplaatsen in de aquifer (Henry et al, 2003). Wanneer de verticale opstijging wordt gehinderd kan de verontreiniging zich ook in horizontale richting verspreiden.

Een fysische techniek die in toenemende mate wordt toegepast in Nederland is het stoomstrippen ofwel de stoomgestimuleerde extractie. Hiermee wordt door middel van stoominjectie, warmte in de bodem gebracht wat leidt tot een verhoogde mobiliteit van de verontreiniging. Stoom, damp, water en puur product worden onttrokken uit de bodem en bovengronds gecondenseerd, gescheiden en gezuiverd. Deze intensieve techniek is geschikt voor een snelle aanpak van zaklagen maar er moet op gelet worden dat de verhoogde mobiliteit van de verontreiniging niet zorgt voor verdere verspreiding van DNAPL (soilpedia.nl-1, 2015).

Chemische technieken

Bij deze technieken worden de geochemische condities gemanipuleerd. Bij chemische oxidatie worden oxidatiemiddelen als oplossing in de verontreinigde zone gebracht en wordt de verontreiniging met VOCl afgebroken tot onschadelijke verbindingen. In Nederland worden waterstofperoxide met ijzer als katalysator, ozon en ozon/peroxide en permanganaat als oxidatiemiddelen ingezet voor intensieve bronverwijdering (bodemrichtlijn.nl-2, 2015).

Een andere vorm van chemische behandeling van verontreinigingen met VOCl kan plaatsvinden door reactieve schermen te plaatsen in de pluim stroomafwaarts van de verontreiniging en loodrecht op de stromingsrichting van het grondwater. Deze schermen zijn gevuld met nulwaardig ijzer in granulaatvorm. Hierdoor vindt een chemische reductie met ijzer van VOCl plaats door de natuurlijke stroming van grondwater door de schermen. Chemische reductie als techniek is nog sterk in ontwikkeling. Directe injectie met nulwaardig micro-ijzer als slurry in de bronzones wordt bijvoorbeeld in Weesp al toegepast (gtbv.nl,

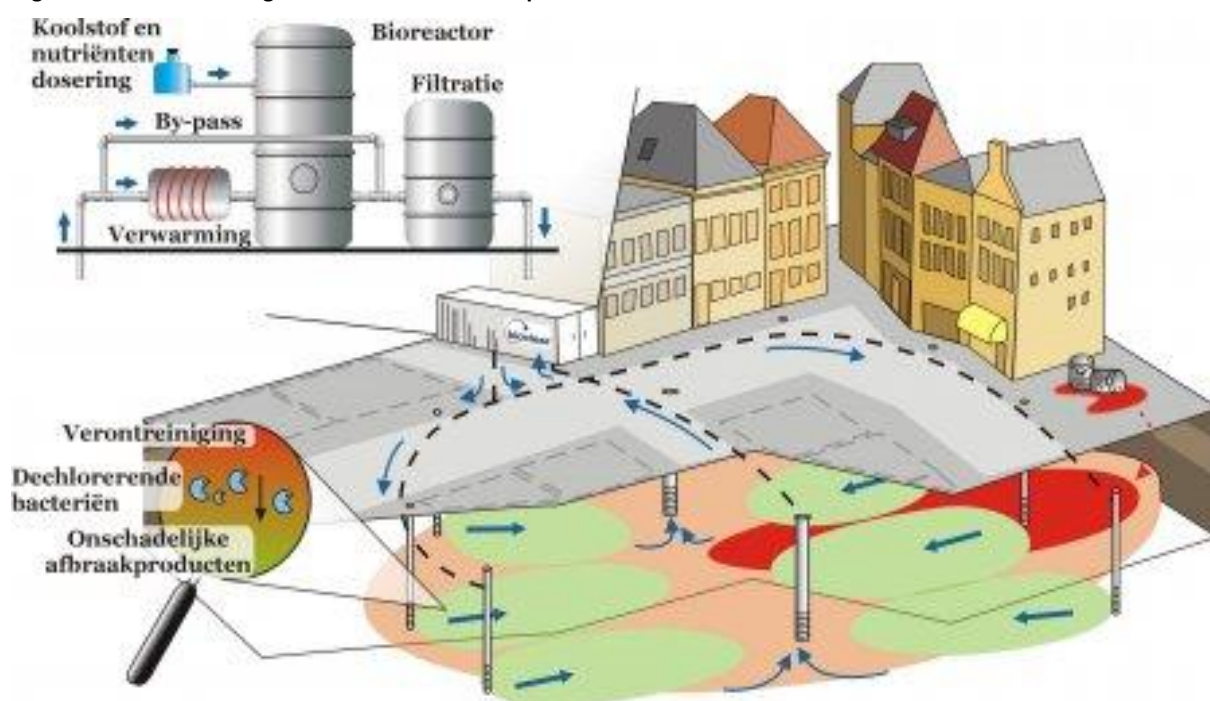
2015). In combinatie met deze slurry injecties wordt er in Weesp een makkelijk afbreekbaar substraat (koolstofbron) geïnjecteerd in de zones met een lagere concentratie VOCl ter bevordering van de anaërobe biologische afbraak.

Biologische technieken

De biologische afbraak kan ook op verschillende andere manieren gestimuleerd worden. Bijvoorbeeld door de toevoeging van nutriënten of geschikte micro-organismen en in sommige gevallen zuurstof. Het verhogen van de bodemtemperatuur tot tussen de 30 °C en 38 °C (optimaal voor biologische afbraak van verontreinigingen) kan ook zorgen voor versnelde afbraak van VOCl (soilpedia.nl-2, 2015).

In figuur 3 is het Technisch Concept Evenblij (TCE-concept) weergegeven. Deze innovatieve techniek is in de laatste tien jaar ontwikkeld en heeft zich inmiddels bewezen als waardevolle saneringstechniek voor verontreinigingen met VOCl in goed doorlatende bodem. De biologische afbraak wordt hier op verschillende manieren gestimuleerd.

figuur 3: stimulatie biologische afbraak - TCE-concept.



bron: bioclear.nl, 2015

Via een recirculatiesysteem wordt verontreinigd grondwater onttrokken en in een bioreactor worden een koolstofbron en dechlorerende bacteriën toegevoegd. Hierna wordt het behandelde grondwater weer in de bodem terug gebracht waar de afbraak van VOCl plaats vindt (bioclear.nl).

3.1.3 Wet- en regelgeving bodemenergie

Dit onderdeel van het onderzoek beperkt zich tot de huidige wet- en regelgeving. Veranderingen die op komst zijn door het in werking treden van de Omgevingswet in 2018 zijn buiten beschouwing gelaten.

Het huidige wettelijk kader voor open bodemenergiesystemen wordt gevormd door de AMvB Bodemenergie ofwel het Wijzigingsbesluit bodemenergiesystemen. Deze maatregel is op 1 juli 2013 in werking getreden en is gebaseerd op de volgende wetten: Wet milieubeheer, de Wet bodembescherming, de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht en de Waterwet. In figuur 4 is dit schematisch weergegeven. De AMvB Bodemenergie omvat wijzigingen van in totaal zeven bestaande algemene maatregelen van bestuur.

figuur 4: Structuur AMvB Bodemenergie



bron: bodemenergie.nl, 2015

De AMvB Bodemenergie kan worden gezien als een verruiming van de reikwijdte van de Wet bodembescherming en staat niet alleen in het teken van het belang van bescherming van de bodem maar ook van een doelmatig gebruik van bodemenergie.

De AMvB Bodemenergie is bedoeld als stimulans voor de toepassing van bodemenergiesystemen. In de praktijk blijkt dat de groei van bodemenergiesystemen achterblijft bij de vraag en de mogelijkheden in de markt. Het gebruik van bodemenergiesystemen draagt bij aan een duurzame energievoorziening en een reductie van de uitstoot van CO₂, met als gevolg een bijdrage aan het verwezenlijken van de klimaatdoelstellingen.

Andere doelen van de AMvB Bodemenergie zijn: het creëren van een zo veel mogelijk gelijk speelveld voor open en gesloten systemen, het verkorten van de vergunningsprocedure, standaardvoorschriften op provinciaal niveau voor open bodemenergiesystemen, het verbeteren van de kwaliteit en de betrouwbaarheid, het beter ordenen van de ondergrond voor een doelmatiger gebruik en het invoeren van gebiedsgericht beleid in drukke gebieden met een grote energiebehoefte.

Voor de aanleg van open bodemenergiesystemen (> 10m³ per uur) moet er een vergunning worden aangevraagd op grond van de Waterwet. Bij aanvraag van de vergunning dient tevens een effectenstudie te worden bijgevoegd waarbij modelberekeningen aantonen wat het effect van het systeem op de omgeving is. Bij systemen met een debiet van minder dan 50m³ per uur of 250.000m³ per jaar volstaat een vereenvoudigde effectenstudie die zich beperkt tot berekening van de invloedsafstand (Wijzigingsbesluit

bodemenergiesystemen). Bevoegd gezag voor de vergunningverlening en handhaving van open bodemenergiesystemen is de provincie (Gedeputeerde Staten). Bij een onttrekking van 1,5 miljoen kubieke meter of meer per jaar geldt een MER-beoordelingsplicht en vanaf 10 miljoen kubieke meter geldt een MER-plicht. (wettenoverheid.nl).

Vanaf 1 juli 2013 kan er binnen acht weken na de aanvraag een definitieve beschikking worden afgegeven. Aan de vergunning zijn voorschriften en instructieregels verbonden vanuit de AMvB Bodemenergie en de in figuur 4 genoemde, gewijzigde AMvB's met betrekking tot het belang van een doelmatig gebruik van bodemenergie. Hierbij valt te denken aan onder andere bescherming van de bodem, de retourtemperatuur, de energiebalans, vermenging en verzilting, verontreiniging en het lozen van afvalwater. De voorschriften en instructieregels zijn verder uitgewerkt in uitvoeringsmethoden van de SIKB (zie verderop in deze paragraaf).

Voor het ontwerpen, het aanleggen en het beheer en onderhoud van open bodemenergiesystemen geldt een erkenningsplicht. Dit houdt in dat uitvoering van werkzaamheden die genoemd zijn in het Besluit bodemkwaliteit moeten geschieden door een bedrijf dat daarvoor erkend is. De richtlijnen voor mechanisch boren zijn omschreven in de BRL 2100. De kwaliteitseisen voor het ontwerp, de aanleg van bronnen en het onderhoud en beheer van het open bodemenergiesysteem zijn beschreven in de BRL 6000 (onderdelen 6000-00 en 6000-21) en de BRL 11000. Deze erkenning is per 01-10-2014 wettelijke verplicht (rwsleefomgeving.nl-2).

Bij de aanleg van open bodemenergiesystemen krijgt men ook te maken de Wet Informatie-uitwisseling Ondergrondse Netten (WION). Deze wet verplicht om tijdig een graafmelding (Klic-melding) te doen bij het kadaster. Het doel hiervan is het minimaliseren van het aantal graafschades waardoor leveringsonderbrekingen van gas, water, elektriciteit, tele- en datacommunicatie worden voorkomen.

Zowel gemeenten en provincies als marktpartijen zijn gebaat bij een uniformering van de werkwijze bij het verlenen van een vergunning en de uitvoering van toezicht en handhaving voor open bodemenergiesystemen. Het SIKB heeft hiervoor in december 2014 de Besluitvormings Uitvoerings Methode (BUM) Bodemenergie en de Handhavings Uitvoerings Methode (HUM) Bodemenergie vastgesteld. Deze handreiking (BUM) en richtlijn (HUM) zijn een vertaling van de voorschriften uit het wettelijk kader. De BUM is een gebruiksaanwijzing voor het beoordelen van vergunningaanvragen voor bodemenergiesystemen en de HUM is een richtlijn voor toezicht en handhaving. De BUM en de HUM zijn beide opgesplitst in een deel (1) voor provinciale besluiten en taken met betrekking tot open bodemenergiesystemen, en een deel (2) voor gemeentelijke besluiten en taken met betrekking tot gesloten bodemenergiesystemen (sikb.nl)

Wanneer het open bodemenergiesysteem leidt tot het mogelijk verplaatsen van een aanwezige grondwaterverontreiniging dient er op grond van de Wet bodembescherming een melding te worden gedaan. De initiatiefnemer van het open bodemenergiesysteem is verplicht om een onderzoek uit te voeren naar de invloed van het systeem op de verontreiniging en de gevolgen hiervan op de omgeving. Dit kan aanleiding zijn om het open bodemenergiesysteem op een grotere diepte te installeren of het opstellen van een saneringsplan waarin het open bodemenergiesysteem een rol speelt bij het saneren of beheersen van de verontreiniging. Een ander mogelijkheid biedt een gebiedsgerichte aanpak waarbij verontreinigingen verplaatst mogen worden binnen de systeemgrens van de gebiedsgerichte aanpak (zie paragraaf 3.1.4).

Een aantal belangrijke standaardvoorschriften voor de invulling van de randvoorwaarde 'het belang van de bescherming van de bodem', voortkomend uit bovenstaande wet- en regelgeving, zijn:

- De toepassing van bodemenergie moet geschieden op duurzame wijze.
- Werkzaamheden moeten worden verricht door erkende personen of instellingen.

- De infiltratietemperatuur voor open bodemenergiesystemen bedraagt minimaal 6°C en maximaal 25°C.
- Een koudeoverschot is toegestaan en een warmteoverschot is verboden.
- Voorkomen van vermenging van grondwaterkwaliteiten en verzilting.
- Het voorkomen van interferentie met andere systemen.
- Jaarlijkse registratie van gegevens en deze overleggen aan bevoegd gezag.
- Het energierendement moet worden afgestemd op de behoefte.
- Beëindiging van het systeem moet gemeld worden.
- Na beëindiging moet het systeem opgevuld worden om zodoende de werking van scheidende lagen te herstellen.

Bovenstaande voorschriften zijn in het interview met de heer Huurman, toezicht en handhaving open bodemenergiesystemen, in paragraaf 3.2.1 nader toegelicht.

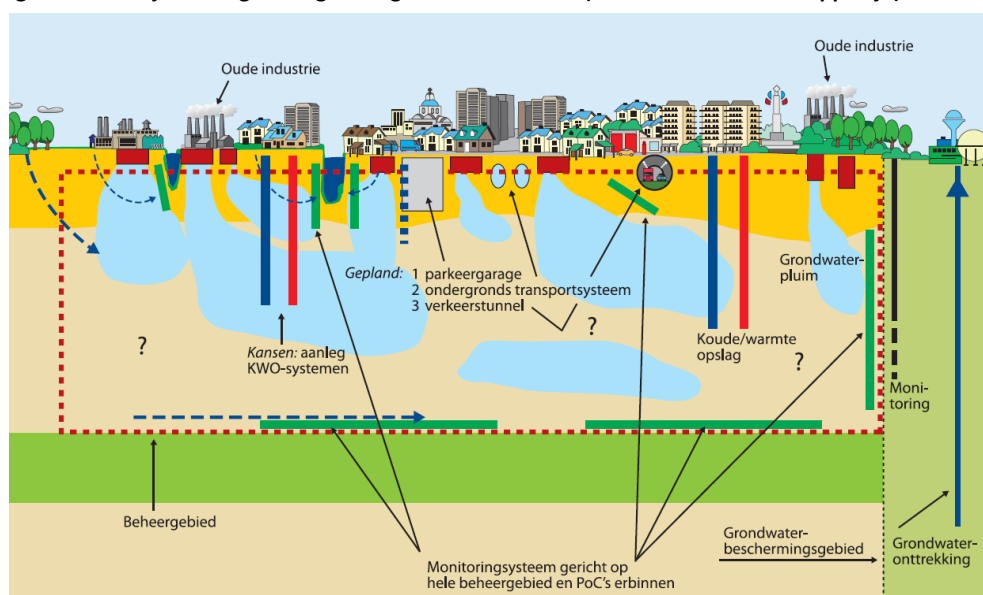
Het bevoegd gezag kan specifieke situaties en in het belang van doelmatig gebruik van bodemenergie bij maatwerkvoorschrift hogere infiltratietemperaturen en warmteoverschotten toestaan.

3.1.4 Gebiedsgericht grondwaterbeheer en participanten

Medio 2012 is de in hoofdstuk IV van de Wet bodembescherming opgenomen paragraaf 3b 'Bijzondere bepalingen inzake een gebiedsgerichte aanpak' in werking getreden. Hiermee lijkt een integrale gebiedsgerichte aanpak van grondwaterverontreinigingen dichterbij gekomen (Kremers, 2015). Daarnaast is een van de (vele) doelen van de op 1 juli 2013 in werking getreden AMvB Bodemenergie het invoeren van gebiedsgericht beleid in drukke gebieden met een grote energiebehoefte. Door deze verschuivingen in het bodembeleid is de nadruk komen te liggen op een creatief, innovatief en integraal gebruik van de bodem.

Voor dit integrale gebruik van de bodem is wel een goede regie vereist. Hierbij zullen gemeenten een initiërende rol moeten spelen waarbij een goede afstemming met de provincie nodig is. Gebiedsgericht grondwaterbeheer begint bij een visie op het gebruik van de ondergrond en het gehele grondwatersysteem binnen een aangewezen beheergebied en is voornamelijk het slim combineren van functies van het grondwater waarbij het van belang is de gemaakte bestuurlijke keuzes goed te kunnen motiveren. In figuur 5 is een voorbeeld van de reikwijdte van gebiedsgericht grondwaterbeheer weergegeven.

figuur 5: reikwijdte van gebiedsgericht grondwaterbeheer (omkaderd met rode stippellijn)



bron: SKB-cahier, 2014

Gemeente en provincie zijn binnen gebiedsgericht grondwaterbeheer vanzelfsprekend niet de enige betrokken partijen. Het coördineren van boven- en ondergrondse ontwikkelingen is een bijzonder complex proces waarbij veel meer partijen betrokken zijn. Partijen zoals projectontwikkelaars, politici, architecten, natuurontwikkelaars, probleemeigenaren en inwoners en gebruikers van het aangewezen gebied. Al deze partijen spreken hun eigen taal, lijken in hun eigen wereld te leven en hebben verschillende doelen en ambities. Om al deze partijen samen te brengen zal er gezocht moeten worden naar gezamenlijke belangen en een gemeenschappelijke visie met betrekking tot de diverse functies van de onder- en de bovengrond (CityChlor, 2013). Een gemeenschappelijke visie kan ontstaan door een knelpunt of een kans te benoemen die meerdere partijen raakt waardoor er een gevoel van saamhorigheid ontstaat en de wil om deze kans aan te pakken of het knelpunt op te lossen. Dit kan zich bij meerdere thema's voordoen. In tabel 2 zijn enkele voorbeelden van thema's en betrokken partijen weergegeven (SKB-cahier, 2014).

tabel 2: voorbeelden van thema's en betrokken partijen

THEMA	ASPECTEN	GEMEENTE	PROVINCIE	WATERSCHAP	DRINK-WATERBEDRIJF	OVERIG
Grondwaterkwaliteit / bodemverontreiniging	• Beleid • Onderzoek en sanering	x	x			Veroorzakers Eigenaren RUD
Grondwaterkwantiteit en wateropgave	• Grondwateroverlast • Ecologie (vernatting/verdroging) • Waterkwaliteit en kwantiteit oppervlaktewater en grondwater	x	x	x		Belangenverenigingen
Bodemenergie	• WKO/geothermie	x	x			
Ruimtelijke ontwikkeling	• Ruimtelijk beleid • Bouw • Riolering	x	x			Ontwikkelaars Eigenaren
Drinkwaterwinning	• Drinkwater	x	x		x	
Industriële onttrekking	• Industrie • particulier		x			Eigenaren onttrekkingen

bron: SKB, 2014

Wanneer er zich een kans voordoet zal het verloop van het project gebiedsgericht grondwaterbeheer bestaan uit het opstellen van een omgevingsanalyse waarbij er wordt geïnventariseerd wie er belang hebben bij het project en, wat nog belangrijker is, wie er een meerwaarde kunnen leveren. Door middel van een goed projectplan, waarin boven- en ondergrondse functies, relaties, beperkingen en toekomstige gebruikswensen zijn opgenomen, wordt het project van een juist kader voorzien. Een gebiedsplan of een grondwaterbeheerplan zorgt er vervolgens voor dat gemeentelijk beleid, wetgeving, en uitvoering met betrekking tot de ondergrond nader ingevuld worden.

Belanghebbenden die een rol kunnen spelen bij het ontwikkelen van gebiedsgericht grondwaterbeheer en de implementatie van open bodemenergiesystemen (waarbij sommige belanghebbenden meerdere rollen kunnen invullen) zijn:

- Bevoegd gezag Waterwet.
- Bevoegd gezag Wet bodembescherming.
- Provincie.
- Gemeente.
- Waterschap.

- Initiatiefnemer open bodemenergiesysteem.
- Drinkwaterwinning.
- Omgevingsdiensten.
- Verantwoordelijke(n) voor geval van bodemverontreiniging.
- Veroorzaker van geval van bodemverontreiniging.
- Industriële onttrekkingen.
- Projectontwikkelaar gebied.
- Eigenaar gebied.
- Belangenverenigingen.
- Installateur/beheerder open bodemenergiesysteem.
- Gebruiker open bodemenergiesysteem.
- Gebruiker/huurder opstallen.

Het is niet alleen van belang om bij elke fase van de ontwikkeling de juiste groep belanghebbenden te betrekken die het zelfde doel voor ogen hebben en daarbij goede afspraken te maken over de kosten, opbrengsten, energierendementen en effect op de verontreiniging van het te realiseren combinatieconcept. Het zal daarnaast noodzakelijk zijn om juist ook de groep die een ander doel voor ogen heeft erbij te betrekken. De uitdaging hierbij zal zijn om beide groepen op een lijn te krijgen.

Als er een grote groei van bodemenergiesystemen te verwachten is dan kan als aanvulling het Masterplan bodemenergie een goed instrument zijn voor het voeren van de regie op de ordening van open en gesloten bodemenergiesystemen binnen het aangewezen projectgebied. Dit Masterplan heeft geen juridische status en is geen verplicht planfiguur maar is nuttig om de visie en beleidsregels van gemeente en provincie op elkaar af te stemmen en vervolgens te verwerken in de juridische instrumenten zoals verordeningen en bestemmingsplannen (Handreiking masterplannen bodemenergie, 2011).

3.1.5 Combinatieconcepten

Grootschalige bodemverontreinigingen en geconcentreerde energievraag vallen vaak samen in de bebouwde omgeving. Op de meeste locaties waar een grootschalige grondwaterverontreiniging aanwezig is wordt deze slechts beheerst of beheerd en zorgt deze meestal voor een belemmering voor de installatie en het gebruik van open bodemenergiesystemen. Daarom is het belangrijk dat er in het kader van gebiedsgericht grondwaterbeheer op voorhand al rekening is gehouden met gebiedsontwikkelingen waarbij, onder andere, bodemenergiesystemen een rol spelen.

In paragraaf 3.1.1 is al gesteld dat open bodemenergiesystemen een beheersend effect kunnen hebben op grondwaterverontreinigingen door de onttrekking- en infiltratiebronnen slim te plaatsen. Tevens kunnen deze systemen, voornamelijk door de ontstane dynamiek van het grondwater, een positieve uitwerking hebben op de afbraak van verontreinigingen met VOCl in het grondwater. Temperatuursinvloeden die ontstaan bij in gebruik zijnde systemen blijken vaak te gering om duidelijke effecten waar te nemen (Meer met Bodemenergie (MMB9), 2012).

Als de bronnen van open bodemenergiesystemen strategisch geplaatst zijn, wordt de aanwezige verontreiniging met VOCl op zijn plek gehouden (beheerst). Hierbij dient wel rekening gehouden te worden dat deze bronnen niet in, of te dicht bij de bronzone van de verontreiniging geplaatst dienen te worden. Dit kan, naast aantasting van de gebruikte materialen, bij sommige bodemcondities een ongecontroleerde verspreiding van zaklagen en de verontreiniging veroorzaken (Zuurbier et al, 2013).

Afgezien van beheersing van de Verontreiniging met VOCl zijn er tevens mogelijkheden om het ontwerp van open bodemenergiesystemen aan te passen of uit te breiden zodat er een verhoogde stimulatie van de natuurlijke afbraak van de Verontreiniging met VOCl kan plaatsvinden. Voor elke situatie zal er na een goede afweging van de baten en de lasten een voorkeursconcept zijn. Vanzelfsprekend zal bij deze afweging het duurzaamheidsaspect een significante rol spelen.

Uit onderzoek, uitgevoerd in het kader van het programma Meer Met Bodemenergie van de SKB, is gebleken dat combinatieconcepten kosteneffectiever zijn dan het losse gebruik van bodemenergie en het apart uitvoeren van bodemsaneringen (Meer met Bodemenergie (MMB10), 2012).

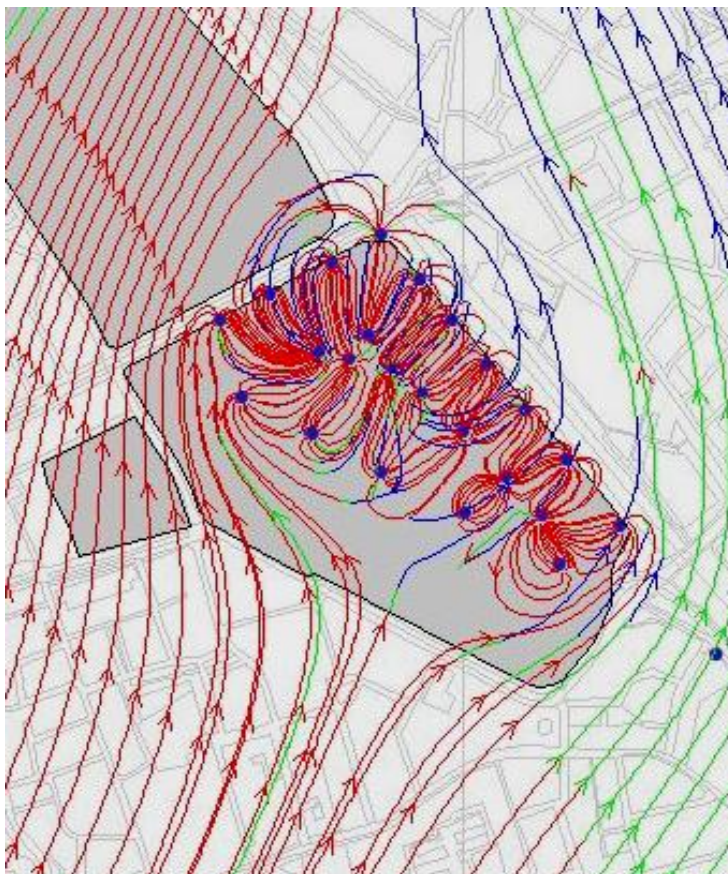
Verskillende combinatieconcepten op het gebied van bodemenergie en beheersing of sanering van verontreinigingen met VOCl zijn mogelijk. De keuze voor een bepaald combinatieconcept is sterk locatiespecifiek en elke locatie heeft zijn eigen randvoorwaarden. Daarbij moet gedacht worden aan een simpel en robuust ontwerp, een balans tussen energieopbrengst en beheersing of verwijdering van de verontreiniging, beperkte kosten voor aanleg en beheer en het concept moet in een druk bebouwde stedelijke omgeving toepasbaar zijn. Daarnaast mag het combinatieconcept niet leiden tot verhoogde putverstoppingsrisico's en humane en ecologische risico's door het rondpompen van verontreinigd grondwater (Meer met Bodemenergie (MMB10), 2012). De combinatieconcepten kunnen onderverdeeld worden in vier saneringscategorieën: beheersing, natuurlijke afbraak, reactieve zone en bovengrondse zuivering.

In de onderstaande paragrafen worden een aantal kansrijke combinatieconcepten, onderverdeeld in de vier saneringscategorieën, beknopt beschreven.

Beheersing van de verontreiniging met VOCl kan plaatsvinden door gebruik te maken van een doublet of een recirculatiesysteem. Vooral het recirculatiesysteem is hiervoor bij uitstek geschikt en kan bij een goed ontwerp zorgen voor het omleiden van de natuurlijke grondwaterstroming. Dit is goed te zien in figuur 6, waarin het grondwaterstromingspatroon van de pilot locatie 'Strijp S' te Eindhoven is weergegeven.

Bij de beheersing van verontreinigingen met VOCl is er geen sprake van actief verwijderen van de verontreiniging maar het is wel mogelijk dat de *natuurlijke afbraak* gestimuleerd wordt door een hogere grondwaterdynamiek en temperatuur. De natuurlijke afbraak wordt door de looptijd van de systemen (circa 30 jaar) voor een langere tijd gestimuleerd. Bij het project 'Biowasmachine' in Utrecht wordt er gebruik gemaakt van deze hogere grondwaterdynamiek die wordt veroorzaakt

figuur 6: *beheersing* Strijp S Eindhoven.



bron: Arcadis, 2011

door het grote aantal open bodemenergiesystemen binnen het projectgebied van het gebiedsgericht grondwaterbeheer (zie hiervoor paragraaf 3.2.3). Deze open bodemenergiesystemen zorgen echter ook voor een versnelde verspreiding en verdunning van de verontreiniging met VOCl binnen het project gebied in Utrecht. KWR Watercycle Research Institute heeft een methode ontwikkeld waarmee door middel van modellering is aangetoond dat deze verspreiding en verdunning alleen optreedt in het gebied waar open bodemenergiesystemen elkaar hydrologisch beïnvloeden (kwrwater.nl, 2015).

De natuurlijke afbraak van VOCl kan ook plaatsvinden door bovenstaande systemen te combineren met het transport van de verontreiniging naar een natuurlijke afbraakzone, waarbij het voordeel is dat de verontreiniging op natuurlijke wijze wordt afgebroken. Het nadeel is dat een schone locatie wordt verontreinigd. Ook kan netto warmte uit een open bodemenergiesysteem gebruikt worden om elders de afbraak van een verontreiniging met VOCl te stimuleren. Het rendement van het bodemenergiesysteem wordt hierdoor wel lager.

De afbraak van verontreinigingen met VOCl kan gestimuleerd worden door het creëren van een *reactieve zone*. Hierbij worden hulpstoffen of bacteriën binnen de invloedssfeer van het open bodemenergiesysteem toegevoegd. In deze ontstane reactieve zone kan de verontreiniging vervolgens afgebroken worden. Om eventuele putverstopping te voorkomen moet er wel rekening gehouden worden met het soort hulpstof en de plaats waar het aan het grondwater- of bodemenergiesysteem wordt toegevoegd.

Bij *bovengrondse zuivering* in combinatie met een bodemenergiesysteem wordt een deel van het door het open bodemenergiesysteem opgepompte water bovengronds gezuiverd en daarna weer geïnfiltreerd in de bodem. Omdat het debiet van een open bodemenergiesysteem vele malen groter is dan het debiet bij een grondwatersanering is het niet kosteneffectief om de gehele waterstroom te zuiveren. Het is wel mogelijk om tijdens een grondwatersanering de warmte van het voor zuivering opgepompte water te gebruiken. Dit wordt sinds 2009 in Apeldoorn toegepast voor warmte levering aan 36 woningen (vng.nl). Er kan ook netto grondwater uit het systeem onttrokken worden. Als de plaatselijke RWZI capaciteit over heeft kan deze deelstroom op het riool geloosd worden. Een andere mogelijkheid is om deze deelstroom te zuiveren en te lozen op het oppervlaktewater.

Wanneer bovenstaande systemen ingezet kunnen worden is afhankelijk van de saneringsdoelstelling. Bij de meeste combinatieconcepten geldt dat bij behoud van het rendement van het open bodemenergiesysteem, het saneringsrendement vrij laag zal zijn waarbij er altijd sprake is van een restverontreiniging. Slechts als er gebruik gemaakt wordt van bovengrondse zuivering of het toedienen van hulpstoffen of bacteriën zal het saneringsrendement omhoog gaan (Meer met Bodemenergie (MMB10), 2012). Vanzelfsprekend zullen de rendementen moeten worden gemonitord om tijdig te kunnen bijsturen.

Daarnaast is het zaak om de sanerende werking locatiespecifiek in kaart te brengen waarbij onder andere de mogelijkheden tot biologische afbraak onderzocht worden. In paragraaf 3.1.6 wordt dit verder omschreven.

Op de pilot locaties 'Biowasmachine' Utrecht en 'Strijp-S' Eindhoven wordt er voorlopig gebruik gemaakt van de door de open bodemenergie ontstane grondwaterdynamiek om de afbraak van de verontreiniging te stimuleren en door het slim plaatsen van de bronnen de grondwaterverontreinigingen te beheersen. Voor beide locaties worden wel onderzoeken uitgevoerd naar de mogelijkheid om de natuurlijke afbraak actief te stimuleren (Bruggeling, 2015). In paragraaf 3.2.3 wordt dit voor de locatie Utrecht nog verder behandeld.

3.1.6 Bodemgeschiktheid

De geschiktheid van een locatie hangt niet alleen af van de aanwezige energievraag of in hoeverre het gekozen combinatieconcept de verontreiniging met VOCl kan beheersen of saneren. De bodem moet wel

geschikt zijn om een combinatieconcept goed te laten functioneren. Voor het goed functioneren van een open bodemenergiesysteem spelen bodemopbouw en grondwater(stroming) een grote rol.

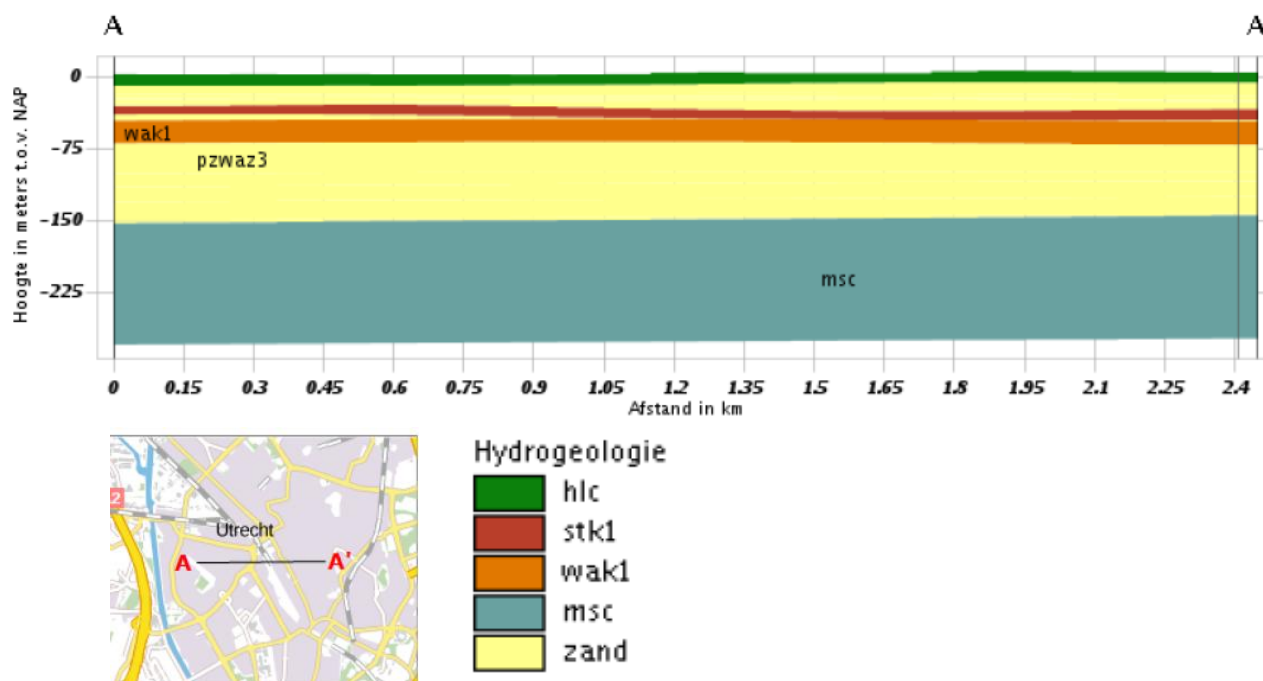
Open bodemenergiesystemen vereisen een zandige, goed doorlatende watervoerende pakketten (aquifers) en stellen tevens bepaalde eisen aan de samenstelling van het grondwater. De samenstelling van het grondwater is vooral belangrijk om bron- of putverstopping te voorkomen. Chemische of biologische putverstopping ontstaat door menging van zuurstof- en nitraathoudend water met ijzerhoudend, nitraatloos en zuurstofloos water en vindt voornamelijk plaats in de ondiepere watervoerende pakketten. Waar deze twee typen water bij elkaar komen wordt ook wel de redoxgrens genoemd.

In een groot gedeelte van Nederland zijn door rivierafzettingen veel zandlagen te vinden die zich kenmerken door een goede doorlatendheid. Binnen deze zandlagen kunnen zich wel minder goed doorlatende lagen bevinden van klei, veen of leem (aquitards). Globaal gezien kan de eerste 250 meter van de ondergrond van Nederland gebruikt worden voor bodemenergie. Hieronder bevindt zich de hydrologische of slecht doorlatende basis. Om een goed beeld te krijgen van de bodemopbouw van bijvoorbeeld een projectlocatie kunnen gedetailleerde gegevens opgevraagd worden bij TNO of ondergrondmodellen verkregen worden via de website www.dinoloket.nl. In figuur 7 is als voorbeeld een ondergrondmodel opgenomen van de stationszone Utrecht verkregen via deze website.

figuur 7: ondergrondmodel stationszone Utrecht

Verticale Doorsnede REGIS II v2.1

Hoogte t.o.v. NAP: -279



bron: dinoloket.nl, 2015

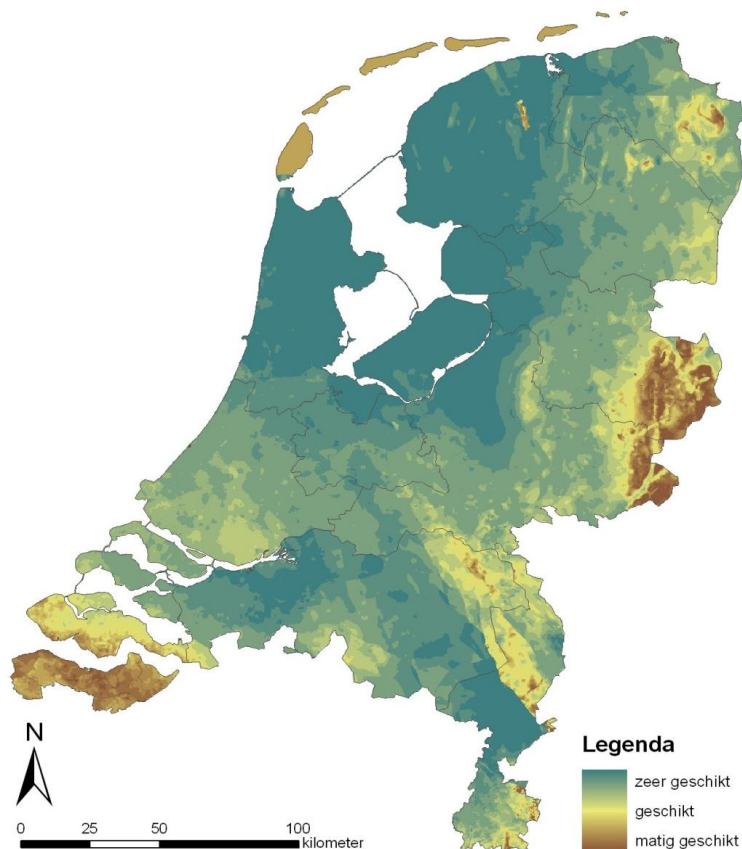
Naast de bodemopbouw en de samenstelling van het grondwater zijn er voor de afbraak van verontreinigingen met VOCl specifieke bodemeigenschappen vereist. In het voortraject is het belangrijk om de bodemeigenschappen op de projectlocatie te inventariseren. Van de meeste locaties in Nederland is de bodemopbouw bekend door het grote aantal boringen wat er tot op heden is geplaatst (zie figuur 7).

De afbraakcondities op de locatie kunnen in kaart gebracht worden door voorafgaand aan plaatsing van het open bodemenergiesysteem uitgebreide metingen uit te voeren. Hierbij kan gedacht worden aan onderzoek

naar de aanwezigheid van de juiste micro-organismen voor de afbraak van VOCl, voldoende electrondonor (organisch materiaal, vetzuren, alcoholen en waterstof) of de juiste redoxomstandigheden. Ook kan het uitvoeren van isotopenmetingen op het koolstofatoom veel inzicht geven. Door middel van Isotopenanalyses kan de voortgang van de afbraak nauwkeuriger worden vastgesteld. Bij natuurlijke afbraak is er in de bron een andere isotopenverhouding dan in de pluim (SKB-cahier, 2008). Door middel van het vast leggen van de nulsituatie op de locatie en buiten de invloedssfeer van het open bodemenergiesysteem kan er een beter beeld gegeven worden van de uiteindelijke afbraak tijdens het gebruik van het systeem en of deze aan het systeem toe kan worden geschreven.

De globale bodemgeschiktheid in Nederland met betrekking tot het gebruik van bodemenergie is in figuur 8 weergegeven.

figuur 8: bodemgeschiktheid bodemenergie Nederland



bron: sikb.nl, (2015)

Om een eerste indicatie te krijgen van de geschiktheid van een projectlocatie kan er gebruik gemaakt worden van de landelijke WKO-tool (www.wkotool.nl). Hier wordt niet alleen de bodemgeschiktheid maar worden tevens de mogelijke beperkingen met betrekking tot bodemwaarden, grondwaterkwaliteit, aanwezige verontreinigingen en interferentiegebieden weergegeven.

Effecten

Bij een juiste bodemgeschiktheid zal er altijd nog een effectenstudie aangeleverd moeten worden bij de vergunningaanvraag waarin de effecten van het open bodemenergiesysteem op de ondergrond de aanwezige verontreinigingen opgenomen dienen te worden. Omdat de bodem in grote delen van Nederland erg heterogeen is verschillen de eigenschappen per locatie, waardoor het niet direct duidelijk is wat de effecten van het open bodemenergiesysteem kunnen zijn.

Effecten die, onafhankelijk van het wel of niet aanwezig zijn van verontreinigingen, inzichtelijk gemaakt moeten worden zijn bijvoorbeeld hydrologische effecten zoals het fluctueren van de grondwaterstand en verandering van stromingsrichting van het grondwater (door het onttrekken en infiltreren van grondwater). Maar ook effecten door menging van verschillende kwaliteiten grondwater (zoet-zout gradiënt, hardheid en pH) en effecten door temperatuursverschillen (TCB S045, 2009). Uit het temperatuuronderzoek tijdens de eerste fase van het onderzoeksprogramma Meer met Bodemenergie in 2012 blijkt dat in het traject van 25°C tot 30°C geen significante veranderingen in de kwaliteit van het grondwater optreden. Dichtheidsstromingen kunnen daar en tegen wel optreden binnen dit temperatuursbereik (AMvB Bodemenergie).

Om verspreidingseffecten en menging van verschillende kwaliteiten grondwater te voorkomen moeten tevens de scheidende lagen op de projectlocatie goed in kaart gebracht worden zodat bij installatie van het open bodemenergiesysteem bekend is waar deze lagen te verwachten zijn. Het goed afdichten van deze lagen voorkomt verspreiding van verontreinigingen en menging van verschillende kwaliteiten grondwater.

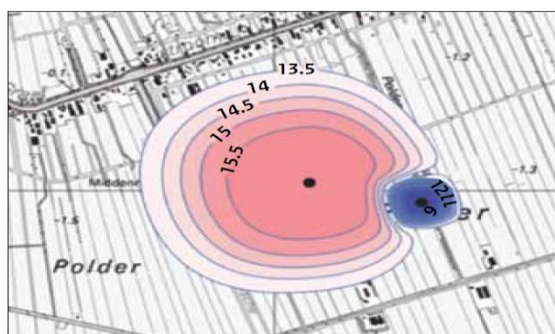
3.1.7 Energievraag

In Nederland heerst een gematigd klimaat waarbij er in de zomer een natuurlijk warmteoverschot en in de winter een natuurlijk koudeoverschot aanwezig is. Het opslaan van deze overschotten in de ondergrond om ze vervolgens bij tekorten weer te kunnen gebruiken is een logische stap. Een temperatuursverschil (ΔT) tussen de koude en de warme bron van enkele graden is al voldoende om een gebouw te verwarmen in de winter en te koelen in de zomer (Bloemendal, 2014). De warmte- en koudevraag, ofwel de energievraag, van gebouwen is voor het grootste deel bepalend voor de omvang en het soort open bodemenergiesysteem.

De grootste energievraag is aanwezig in de stedelijke omgeving en bestaat voornamelijk uit de energievraag van grote gebouwen. Sinds januari 2015 is de energienorm voor de woning- en utiliteitsbouw aangescherpt waardoor de vraag naar duurzame energie nog verder is toegenomen. Open bodemenergiesystemen zijn uitermate geschikt om aan deze vraag te voldoen. Het aantal open bodemenergiesystemen is dan ook sinds de eerste toepassingen rond 1990 gegroeid tot circa 1.500 systemen in 2012, en de verwachting is dat dit aantal in het jaar 2020 zal liggen tussen de 3.500 en de 18.000 systemen (Taskforce WKO, 2009). Dit geeft een enorme druk op de ondergrond in de stedelijke omgeving.

In bijvoorbeeld het stationsgebied in Utrecht staan veel multifunctionele gebouwen binnen een gebied met een straal van circa 600 meter en een watervoerend pakket van circa 20 meter. De aangevraagde en vergunde hoeveelheid thermische energie van de ondergrond bedraagt momenteel circa 60 GWh. De capaciteit om energie op te slaan in de bodem bedraagt 3 KWh per m^3 , bij een temperatuurverschil van 4 °C. Dit komt neer op een gebruik van circa 20 miljoen m^3 ondergrondse ruimte. Het totale beschikbare volume in het watervoerend pakket onder het centrum is circa 23 miljoen m^3 . Het lijkt erop dat de vraag het aanbod binnenkort gaat overstijgen (Bloemendal, 2014).

figuur 9: thermische kortsluiting - Agentschap.nl, 2013



Het uiteindelijke gebouwgebruik blijkt qua energiegebruik slecht te voorspellen en dit wordt vaak overschat. In de meeste gevallen is er een onbalans in de jaarlijkse koude- en warmtevraag. Het opheffen van deze onbalans gaat vaak ten koste van het rendement van het open bodemenergiesysteem. Wordt deze onbalans echter niet opgeheven dan neemt het ondergrondse ruimtebeslag toe en kan er zelfs thermische kortsluiting (zie figuur 9) optreden tussen warme en koude bronnen (DWA, IF, 2012).

Onbalans kan op verschillende manieren opgelost worden. Er kan extra warmte en koude de bodem in gebracht worden (regeneratie) of de inzet van het systeem kan verminderd worden.

Helaas worden er door de gevarieerde en onzekere energievraag van gebouwen vaak te grote vergunningen aangevraagd en wordt er daardoor in masterplannen te veel ruimte ingecalculleerd waardoor de ondergrondse ruimte nog niet optimaal benut wordt. Onderzoek door CBS en LGR (2009, 2012) wijst uit dat er gemiddeld maar 60% van de vergunde capaciteit gebruikt wordt (Bloemendal, 2014).

In drukke stedelijke gebieden met een variatie aan soorten gebouwen kunnen de ontstane warmte- en koude overschotten onderling uitgeruild worden. In sommige gevallen is op voorhand al bekend dat er een warmte- of koudeoverschot aanwezig is (Project Warmteatlas, 2015), of zal optreden en kan hier bij het ontwerp al rekening mee worden gehouden. In Amsterdam is een open bodemenergiesysteem toegepast voor het datacenter Equinix AM3. Het datacenter gebruikt de koude uit het systeem en de opgeslagen warmte wordt gebruikt door de naastgelegen Universiteit van Amsterdam (installlect.nl, 2015).

3.2 Resultaten uit interviews

In deze paragraaf worden de resultaten uit de gehouden interviews met de experts op de diverse gebieden uitgeschreven.

3.2.1 Experts WKO systemen

Interview op 20 september 2015 met R. Huurman die vanuit MWH Global gedetacheerd is als toezichthouder en handhaver bij de Provincies Utrecht en Zuid-Holland over vergunningverlening en handhaving bij open bodemenergiesystemen. In de onderstaande tekst is een samenvatting van de besproken onderwerpen opgenomen.

Vergunningen

Bij open bodemenergiesystemen met een debiet $> 10\text{m}^3$ per uur is een vergunning nodig in het kader van de Waterwet. De provincie is hierbij het bevoegd gezag. Bij systemen $< 10\text{m}^3$ per uur, volstaat een melding in het kader van het Waterbesluit. De vergunningprocedure duurde tot voor 1 juli 2013 ruim zes maanden. Met de invoering van het Wijzigingsbesluit bodemenergiesystemen op 1 juli 2013 is deze procedure aanmerkelijk verkort tot een periode van circa acht weken.

De leges voor de vergunningen voor open bodemenergiesystemen verschillen per provincie. In sommige provincies zijn er geen leges om het gebruik van bodemenergie te stimuleren. In andere provincies worden er leges gehanteerd die liggen rond de tienduizend euro voor systemen die rond de 300.000 m^3 grondwater per jaar verplaatsen.

Voor open bodemenergiesystemen die meer dan 1,5 miljoen kubieke meter grondwater per jaar verplaatsen geldt een MER-beoordelingsplicht en systemen groter dan 10 miljoen kubieke meter zijn MER-plichtig.

De verplichting tot onderzoek naar de verspreiding van de verontreiniging met VOCl en de gevolgen daarvan op de omgeving rust bij de initiatiefnemer van het open bodemenergiesysteem. In dit geval moet er een melding gedaan worden bij Gedeputeerde Staten. De aanwezigheid en de verplaatsing van de verontreiniging wordt dan meegenomen in de beoordeling van de watervergunningaanvraag. De WKO kan onderdeel worden gemaakt van een saneringsplan.

Voorkomen van systemen en dimensionering

Binnen de door R. Huurman bezochte open bodemenergiesystemen is het 'Doubletsysteem' het meest voorkomend, gevolgd door de 'Monobron'. Het 'Recirculatiesysteem' is erg locatiespecifiek en wordt het

minst toegepast. De debieten van deze systemen liggen tussen de 15 en 30 m³ per uur en daarmee wordt, afhankelijk van de dimensionering van het systeem, circa 150.000 tot 300.000 m³ grondwater per jaar verplaatst. Tijdens de opstart van het systeem kan dit hoger zijn en daar is wordt in de vergunning ook rekening mee gehouden. Bijna al dit onttrokken water dient volgens de vergunningen ook weer geïnfiltrerd te worden. Het afvalwater (spuiwater) dat voor de aanleg en het onderhoud van de bronnen wordt gebruikt (500 m³, volgens vergunning) wordt niet in de bodem teruggebracht. De voorkeursvolgorde voor lozing van het bij de aanleg ontstane afvalwater is; via het vuilwaterriool, op de bodem en daarna via overige routes. Bij het regenereren van de bronnen is deze volgorde; in de bodem, op het oppervlaktewater, via het vuilwaterriool en als laatste naar een externe verwerker.

Hydrologische situatie en verontreinigingen

Voor de invloed van open bodemenergiesystemen op mogelijke aanwezige grondwaterverontreinigingen dient door de aanvrager van de vergunning een effectenstudie gedaan te worden. In deze effectenstudie dient tevens de invloed van systemen, met een debiet van meer dan 50 m³ per uur en 250.000 m³ per jaar en waarvan de filters dieper staan dan 20 m-mv, op de hydrologische situatie (stijghoogte- en temperatuursveranderingen, zettingen maaiveld, invloedssfeer) en de kwaliteit van het grondwater van de omgeving in kaart te worden gebracht. Het rapport van deze effectenstudie dient bij de aanvraag gevoegd te worden.

Overige voorschriften open bodemenergiesystemen in vergunning

Overige opgenomen voorschriften in de vergunning voor open bodemenergiesystemen:

- Hoeveelheid bronnen.
- Diepte onttrekking ten opzichte van maaiveld.
- Melding aanvangsdatum aanleg en ingebruikname inrichting.
- Voorschriften systeem met betrekking tot aanleg (volgens NEN 5119, diepte boven- en onderzijde filter, diameter en lengte van filter, coördinaten en afwerking van bronnen).
- Voorschriften systeem met betrekking tot beheer (Infiltratietemperatuur > 5°C en < 25°C, sluitende energiebalans maximale afwijking 10%, mechanische of chemische regeneratie van de bronnen).
- Voorschriften systeem met betrekking tot registratie (Periodieke metingen onttrokken hoeveelheden, soort watermeters. Logboek inspecties, keuringen, incidenten et cetera).
- Voorschriften systeem met betrekking tot monitoring (Temperatuur, grondwaterstanden, grondwaterkwaliteit, energiehoeveelheid).
- Voorschriften systeem met betrekking tot rapportage (Jaarlijkse metingen, eerste evaluatie na drie jaar, opvolgende evaluaties eens per vijf jaar).
- Voorschriften systeem met betrekking tot beëindiging (Melding beëindiging, herstel grondwatertemperatuur, rapportage eindsituatie hydrologische en chemische situatie, herstel doorboorde scheidende lagen).

Belanghebbenden

Bij het realiseren van open bodemenergiesystemen worden de onderstaande belanghebbenden door de heer Huurman genoemd.

- Initiatiefnemer van de WKO.
- Gebruiker WKO.
- Aanvrager van de vergunning (ingenieurs of adviesbureau).
- Uitvoerder aanleg systeem (bronnen).
- Installatiebedrijf (technische installatie en beheer).

- Provincie / Omgevingsdiensten.
- Mogelijk conflicterende onttrekkingen.
- Gemeente (lozingen systeem op riool).
- Waterschap (lozingen systeem op oppervlaktewater).

Algemeen

In de provincie Zuid-Holland is het eerste watervoerend pakket inmiddels gesloten voor open bodemenergiesystemen en moet er worden uitgeweken naar het tweede watervoerend pakket. De maximale infiltratietemperatuur ligt hier ook boven de 25°C, namelijk op 30°C.

Bij circa 80% van de open bodemenergiesystemen wordt er niet gemeld wanneer men met de aanleg van het systeem aanvangt. Hierdoor kan de controle op de in de vergunningaanvraag opgegeven bodemopbouw, diepte van de te plaatsen bronnen en het doorboren/afdichten van scheidende lagen niet goed plaats vinden.

De jaarlijkse rapportage en vijfjarige evaluaties worden niet altijd gedaan. Hierdoor is er niet genoeg controle mogelijk op het energetisch rendement, de daadwerkelijke hoeveelheid onttrokken grondwater en de energiebalans van de systemen. Eigenaars of beheerders van open bodemenergiesystemen krijgen de mogelijkheid een plan van aanpak op te stellen waarin aangegeven wordt hoe zij aan de vergunningseisen zullen gaan voldoen.

Bij het chemisch regenereren van systemen dienen alle in grond en grondwater gebrachte stoffen weer uit de bodem verwijderd te worden.

De meeste systemen hebben een koude overschot. Voornamelijk verzorgingstehuizen en scholen gebruiken meer warmte dan koude. Eventuele overschotten kunnen door andere bedrijven gebruikt worden waardoor de energiebalans hersteld kan worden. Met de komst van het Wijzigingsbesluit Bodemenergiesystemen is een koudeoverschot toegestaan en een warmteoverschot verboden.

3.2.2 Experts combinatieconcepten

Interview op 4 november 2015 met de heer A. de Vries, adviseur ondergrond & natuurlijk kapitaal bij de gemeente Utrecht en van het begin af aan betrokken bij het gebiedsgericht grondwaterbeheer en het combinatieconcept 'Biowasmachine Utrecht'. In de onderstaande tekst is een samenvatting van de besproken onderwerpen opgenomen.

Gebiedsgericht grondwaterbeheer

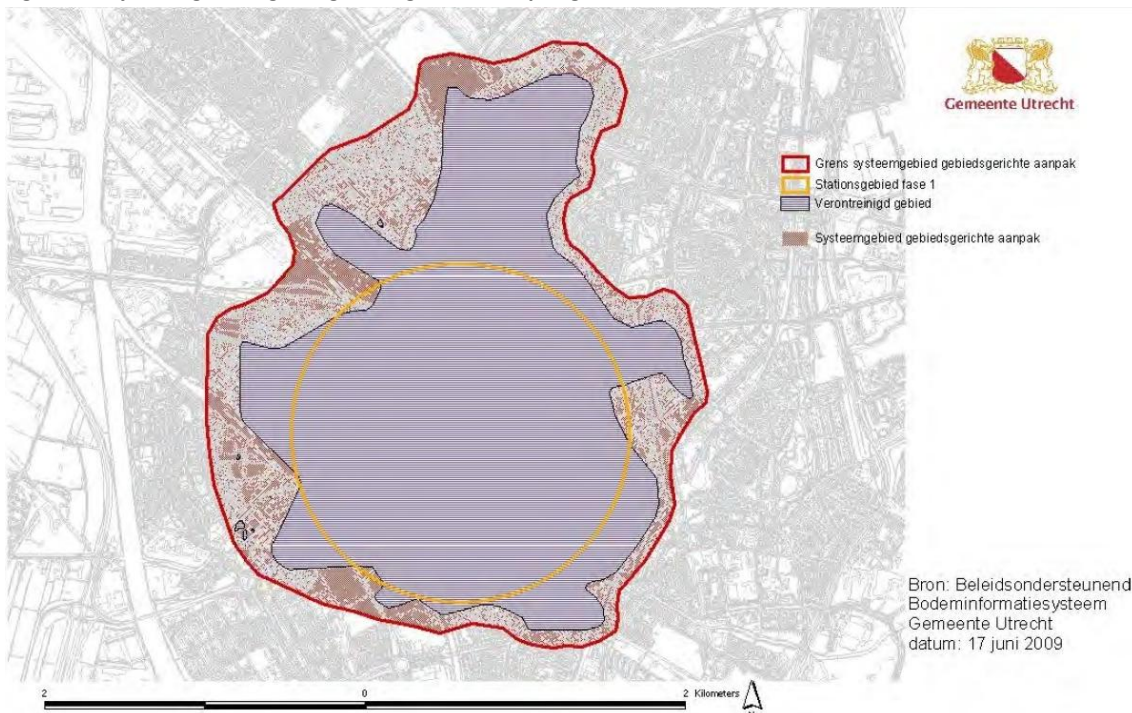
Het gebiedsgericht grondwaterbeheer is een initiatief van de gemeente Utrecht en is ontstaan bij de ontwikkelingsplannen voor het stationsgebied en de daarin aanwezige verontreinigingen met VOCl. Hierbij zijn diverse Europese steden bij betrokken geweest waaronder Gent en Stuttgart. Vervolgens is met ondersteuning van Interreg het Europese onderzoeksproject CityChlor opgestart om de problemen met VOCl in druk stedelijk gebied in kaart te brengen en door middel van gebiedsgericht grondwaterbeheer aan te pakken. Uitgangspositie van de gemeente Utrecht was één aanpak op basis van de stedelijke ontwikkelingsplannen waarbij alle grondwatergebruikers in het projectgebied een deel van de totale kosten van de Biowasmachine op zich namen. Als alle verontreinigingen op een conventionele manier verwijderd zouden moeten worden op basis van een gevalsgerichte aanpak dan waren de totale kosten vier tot vijf keer hoger geweest. Het gebiedsgericht grondwaterbeheer heeft het op deze manier voor eigenaren van verontreinigingen (anders dan gemeente) ook eenvoudiger gemaakt om de verontreiniging af te kopen. Bij

het project CityChlor waren diverse ingenieurs en adviesbureaus betrokken zoals Deltares, MWH en Bioclear. Het CityChlor project is in 2013 beëindigd.

Inmiddels heeft Bioclear zich verenigd met de bedrijven Witteveen+Bos, 3Dimensies en TTE Consultants onder de naam 'Adviescombinatie Gebiedsgericht Grondwaterbeheer' (AGGb) om initiatiefnemers van gebiedsgericht grondwaterbeheer gedurende het gehele traject te adviseren en te ondersteunen.

In figuur 10 is de systeemgebiedsgrens van de gebiedsgerichte aanpak van de gemeente Utrecht weergegeven.

figuur 10: systeemgebiedsgrens gebiedsgerichte aanpak gemeente Utrecht



bron: Gemeente Utrecht, 2009

Bij aanvang van het project Biowasmachine is er een milieu effect rapportage (m.e.r) opgesteld voor het gehele projectgebied. Hierbij is onder andere ook rekening gehouden met de te verwachten fluctuerende grondwaterstanden en de voor Utrecht zo typerende werfkelders en oude bomen in het centrum.

Voor het projectgebied en de directe omgeving daarvan is een saneringsplan voor gebiedsgerichte aanpak opgesteld door Arcadis. Het saneringsplan is in 2010 goedgekeurd. De gebiedsgerichte aanpak heeft de naam Biowasmachine meegekregen. Vanaf het begin af aan is het idee geweest om door open bodemenergiesystemen het grote aantal bodemverontreinigingen met VOCl in het stationsgebied van Utrecht te beheersen en de afbraak ervan te stimuleren. De saneringsdoelstelling die in aanvang van het project voor ogen is gehouden betrof het verwijderen van circa 40% van de aanwezige vracht van de verontreiniging.

Aantal en onderlinge interferentie van systemen

Voorafgaand aan het Biowasmachine project is er door middel van een plankaart voor open bodemenergiesystemen geïnventariseerd hoe (veel) open bodemenergiesystemen in het projectgebied geplaatst konden worden zonder dat ze onderling, en met reeds bestaande systemen, zouden interfereren. Het Jaarbeursgebouw was op dat moment al voorzien van een aantal grote systemen. Voordat het saneringsplan voor de gebiedsgerichte aanpak was goedgekeurd werd het nieuwe pand van de Rabobank in het projectgebied al gebouwd. Aangezien er ook voor dit pand gebruik zou worden gemaakt van

bodemenergie en de Rabobank niet kon wachten met de bouw van het pand is er voor dit systeem een deelsaneringsplan geschreven in opdracht van de Rabobank. Naast het Jaarbeursgebouw en de Rabobank zijn het nieuwe muziekcentrum Vredenburg, de kantorencomplexen van de gemeente Utrecht, Prorail, NS en Córío voorzien van een open bodemenergiesysteem.

Binnen de systeemgrens van het gebiedsgericht grondwaterbeheer is rekening gehouden met nieuwe bodemenergiesystemen maar deze ruimte wordt steeds beperkter. Per systeem moet er nog steeds een effectenstudie aangeleverd worden om te kijken of dit systeem binnen het projectgebied past. Er liggen al plannen klaar om de systeemgrens op te rekken op basis van bestaande ontwikkelingen en aanwezige verontreinigingen. De systeemgrens zal dan in de buurt van de drinkwateronttrekking van Vitens komen te liggen.

Onaanvaardbare risico's aanwezige verontreinigingen

Bij het voormalige gebruik van de bodem veroorzaakten de aanwezige verontreinigingen binnen het projectgebied geen directe onaanvaardbare risico's voor de omgeving, maar wel een belemmering voor de gebiedsontwikkeling. Bij aanvang van het project is er een verspreidingsmodel opgesteld van wat er zou gebeuren bij het niet aanpakken van de verontreinigingen binnen het projectgebied. Dit model liet over een periode van 200 jaar een verspreiding van de verontreinigingen zien naar het tweede watervoerend pakket en de verontreiniging zou ook binnen de invloedssfeer van de drinkwateronttrekking van Vitens komen te liggen. Dit is een extra motivatie geweest om actie te ondernemen.

Omdat er binnen de systeemgrenzen van het projectgebied veel vinylchloride (VC) aanwezig is, en deze stof erg vluchtig en schadelijk is, heeft er onderzoek plaatsgevonden naar de risico's op uitdamping van VC. Dit onderzoek heeft aangetoond dat er geen onaanvaardbare risico's met betrekking tot de uitdamping van VC aanwezig zijn. Voor het projectgebied is aangetoond dat de halfwaardetijd van VC ligt tussen de 4 en de 20 jaar.

Overige verontreinigingen in de bovengrond worden bij de gebiedsontwikkelingen waarbij er gewerkt wordt in de grond op een milieuverantwoorde wijze aangepakt en daar waar nodig gesaneerd. Als er verontreinigingen in de ondergrond binnen het bereik liggen van de werkzaamheden worden deze tevens gesaneerd door ontgraving. Binnen het projectgebied van de Biowasmachine zijn er geen gevallen bekend van aantasting van de gebruikte materialen voor de open bodemenergiesystemen door de verontreiniging met VOCl.

Inventarisatie en monitoring afbraakcondities en bodemgeschiktheid projectgebied

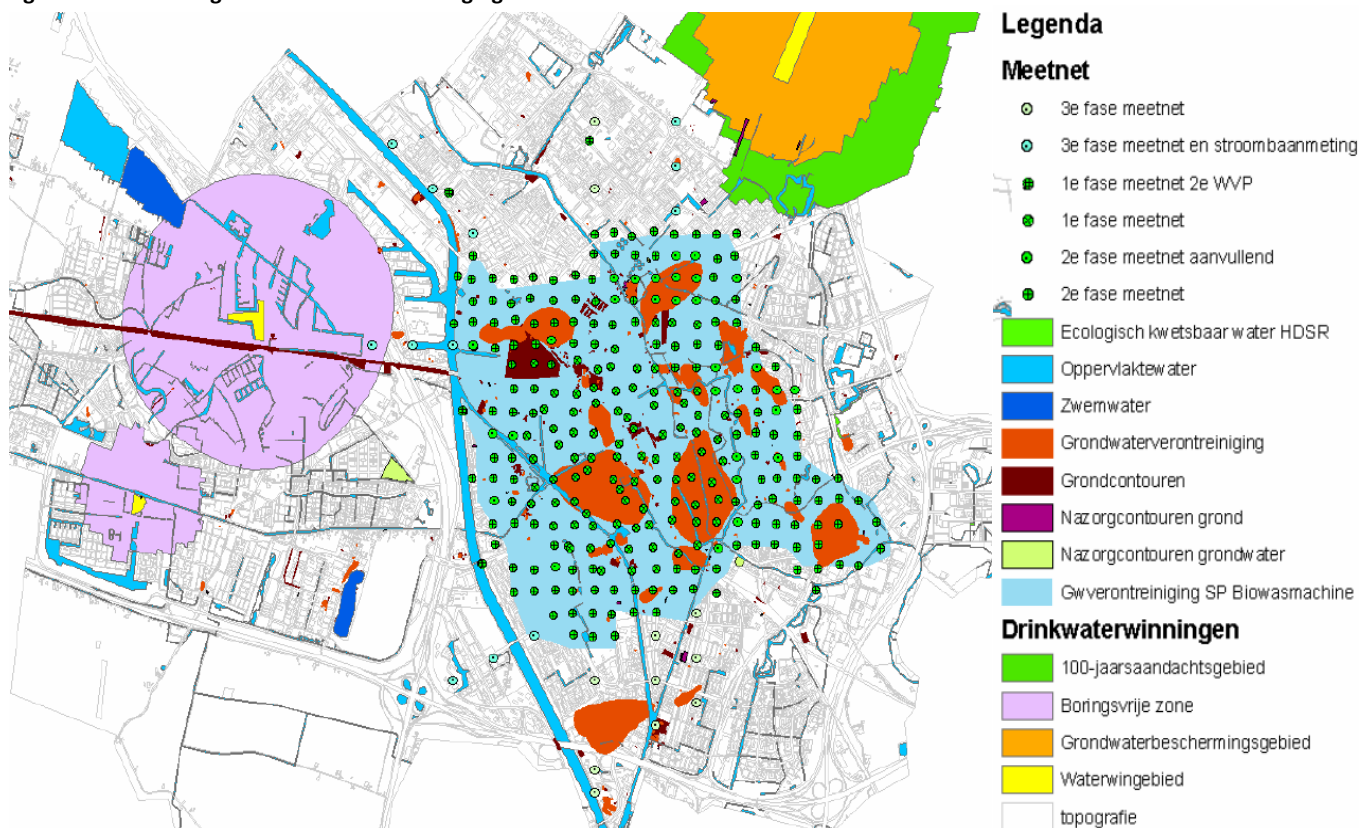
Om het project vorm te geven is er gewerkt met een conceptueel model. Hierin zijn de verwachtingen van de ondergrond en de verontreinigingen, de beschikbare bewegingsvrijheid van de open bodemenergiesystemen en de impact van deze systemen op de verontreinigingen opgenomen. In het kader hiervan is er onderzoek gedaan naar de afbraakcondities, zowel in het veld als door middel van laboratoriumtesten.

Om de condities van de ondergrond en de afbraak van de verontreinigingen te monitoren staan er circa 900 peilbuizen in en rond het projectgebied. Voor de monitoring van de afbraak is er in het begin veel onderzoek gedaan naar DHC bacteriepopulaties (micro-organisme dat zorgt voor de afbraak van VOCl). In de toekomst zal dit weer intensiever gaan plaats vinden om de zones waar zeer gunstige afbraakcondities heersen in kaart te brengen. Daarnaast is er door monitoring naar afbraakproducten aangetoond dat de afbraakcondities voor VOCl gunstig zijn op de gehele projectlocatie. Slechts in de bronzones worden nog tetrachlooretheen (PER) en trichlooretheen (TRI) aangetroffen, over het grootste gedeelte van de

projectlocatie zijn dat in het bijzonder de afbraakproducten cis-DCE en vinylchloride (VC). Onderzoek in samenwerking met Bioclear heeft een tweede bacteriesoort aangetoond. Dit is een micro-aerofiele bacterie die bij omstandigheden met zeer weinig zuurstof kan zorgen voor een versnelde afbraak van vinylchloride.

In figuur 11 is een overzicht van de verontreinigingen en het monitoringsnetwerk van de Biowasmachine in Utrecht opgenomen.

figuur 11: monitoringsnetwerk en verontreinigingen Biowasmachine Utrecht



bron: Gemeente Utrecht, 2013

Stimulatie afbraak door toedoen van Biowasmachine

Vanaf de start is er een afname van VOCl aangetoond. De mogelijkheid is natuurlijk dat dit door verdunning ontstaan is, maar de natuurlijke afbraak gaat gewoon door. Door de open bodemenergiesystemen is het reactorvolume groter geworden waardoor de kans ook groter is dat de aanwezige, voor reductieve dechlorering van VOCl benodigde, bacteriën in aanraking komen met de verontreiniging (ten opzichte van de gemiddelde grondwaterstroming van circa 10 m/jaar). Op sommige plekken gaat de natuurlijke afbraak sneller dan op andere. Bij het opstellen van het totale saneringsplan was de aanname van Arcadis dat de afbraak hooguit twee keer sneller zou plaatsvinden door het gebruik van de open bodemenergiesystemen. Voor het opstellen van dit saneringsplan is de hoeveelheid vracht VOCl bepaald in de ondergrond bij aanvang op 4581 kg VOCl. Wanneer de vracht vanuit de laag bronlocaties over de looptijd van het model (30 jaar) daarbij opgeteld wordt dan komt de totale vracht op 5869 kg VOCl. In 2013 is er berekend dat er circa 1500 kg VOCl vrachtvermindering heeft plaatsgevonden in 3 jaar tijd. Dat is dus een vermindering van 33% op de bij aanvang aanwezige vracht in de ondergrond en een vermindering van 26% op de totale vracht.

Stimulatie afbraak door hulpstoffen of bacteriën

Er zijn in het projectgebied testen uitgevoerd met zogenaamde 'passive samplers'. Deze samplers worden voor een langere periode in een peilbuis geplaatst en collecteren de verontreiniging. De totale gecollecteerde hoeveelheid verontreiniging in de sampler kan worden omgerekend met de hoeveelheid

grondwater die de peilbuis is gepasseerd. Zo kan de vrachtverplaatsing berekend worden en kan er ingegrepen worden als er een grote vracht gepasseerd is. Als er een vracht in de buurt komt van de systeemgrens kan hier een reactieve zone aangelegd worden door middel van hulpstoffen of bacteriën.

Vooralsnog wordt er geen gebruik gemaakt van het actief stimuleren van de natuurlijke afbraak van de verontreiniging door toedienen van hulpstoffen of bacteriën.

Algemeen

Door Europese subsidies in het kader van het CityChlor project is er veel onderzoek mogelijk geweest bij aanvang van het project Biowasmachine. Alle kennis die bij het opstarten en het in gebruik zijn van de Biowasmachine is opgedaan wordt gebruikt voor verdere optimalisatie ervan. De focus van het project heeft niet alleen gelegen bij de technische mogelijkheden maar juist ook op andere vlakken zoals samenwerking, communiceren en de financiële kant van het project. Het belang van het ontwikkelen van een gemeenschappelijk doel is zeer waardevol gebleken. Voor andere gemeenten zal een opzet als deze financieel niet altijd weggelegd zijn waardoor er een andere aanpak vereist is. Met betrekking tot de organisatie is het goed mogelijk om het gebiedsgericht grondwaterbeheer van de gemeente Utrecht als voorbeeld te nemen. De gegevens van het CityChlor project zijn tevens goed bruikbaar en nog steeds beschikbaar.

Voor bedrijven die investeren in energiezuinige technieken en duurzame energie is een fiscaal voordeel mogelijk via de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO).

In het kader van het stimuleren van de toepassing van goed werkende bodemenergiesystemen, en het vereenvoudigen van aanvragen heeft de gemeente Utrecht het 'Energiepunt Bodem' opgezet. Hiermee wil de gemeente de regie voeren op het gebruik van de bodem en goed functionerende bodemenergiesystemen bevorderen.

3.3 Resultaten bezoek Jaarcongres SIKB

Deze paragraaf geeft een korte samenvatting van het bezoek aan het Jaarcongres SIKB. Dit congres was op meerder punten zeer leerzaam. Buiten, de door mij bezochte, lezing over bodemenergie werd er veel aandacht besteed aan de toekomst van de bodemadviseur en de Omgevingswet die in 2018 in werking treedt. Vooral de openingsspreker mevrouw Tanja Klip, Dijkgraaf van het Waterschap Vallei en Veluwe, wist in haar betoog over de nieuwe omgevingswet en het realiseren van ambities in de praktijk van alledag een aantal punten te benadrukken die in dit onderzoek zeker niet misstaan. Kort samengevat is haar visie op het onderwerp van het jaarcongres gebaseerd op 'grensontkennende' samenwerking tussen belanghebbenden, het optimaal benutten en het maximaal beschermen van de ondergrond, een verschuiving van nee, tenzij naar ja, mits en van een sectorale naar een integrale aanpak. Het is tijdens dit onderzoek gebleken dat deze visie voor kansrijke combinatieconcepten ook een belangrijke rol speelt.

3.3.1 Lezing 'Bodemenergie meervoudig duurzaam'

De lezing 'Bodemenergie meervoudig duurzaam' werd verzorgd door drie sprekers die elk op hun eigen manier het onderwerp bodemenergie tot hun specialisme hebben gemaakt. Henk Broekhuizen van de firma Installeect, een gespecialiseerd bedrijf in gebiedsontwikkeling en ontwikkeling van duurzame energiesystemen waaronder grotere open bodemenergiesystemen. Marcel Imthorn van de firma Albreco, een installatiebedrijf voor gesloten bodemenergiesystemen en Manfred Beckman-Lapré van RWS Leefomgeving / Bodem+, over de verplichting tot erkenning bij het ontwerpen, installeren, beheren en onderhouden van het onder- en bovengrondse deel van bodemenergiesystemen.

De bijdragen van de heer Henk Broekhuizen en de heer Manfred Beckman-Lapré zijn voor dit onderzoek het meest relevant.

Het ontwerp, de realisatie en het beheer en onderhoud van het open bodemenergiesysteem begint bij de energievraag van het gebouw en de gebruikers. Aan de hand van een goede energetische gebouwanalyse kan het open bodemenergiesysteem ontworpen worden. Door ervaring met de installatie en het gebruik van open bodemenergiesystemen is er een standaardisatie ontstaan en wordt er gebruik gemaakt van bewezen concepten. De verplichting tot certificering heeft volgens de heer Henk Broekhuizen tevens bijgedragen aan steeds beter ontworpen en functionerende systemen. Meer inzicht leidt tot minder verrassingen.



bron: jongens van de tekeningen, jaarcongres SIKB, 2015

Bij een goed ontworpen en geïnstalleerd systeem hoort een goed beheer. Dit zorgt voor een goed functionerend systeem wat resulteert in een goede energieprestatie en balansbeheersing. De belangen van overheden liggen tevens op dit gebied en dienen door de eigenaar van het systeem regelmatig overlegd te worden. Als er een probleem is met de energiebalans is dit vaak door onjuist gebruik en is de eerste vraag die gesteld dient te worden of er niet te veel verwarmd is. De oplossing is meestal te vinden in het aanpassen van de energievraag van het gebouw.

Innovaties van de firma Installect zijn onder andere het combineren van sprinklerinstallaties met een open bodemenergiesysteem en het, door Agentschap NL tot voorbeeld voor de branche benoemde, gebruik van open bodemenergiesystemen voor de volledige koeling van datacenters.

Beide genoemde installatiebedrijven werken volgens methodes die in verschillende richtlijnen zijn vastgelegd en per 1 oktober 2014 wettelijk verplicht zijn voor zowel open- als gesloten systemen. Voor het ontwerpen, installeren en beheren van het bovengrondse deel van bodemenergiesystemen wordt de BRL 6000-00 in combinatie met de BRL 6000-21 toegepast. Het ontwerp, de realisatie en het onderhoud van het ondergrondse deel van bodemenergiesystemen is beschreven in de BRL 11000. Deze beoordelingsrichtlijnen en certificering komen voort uit Europese wetgeving en zijn vastgelegd in het Wijzigingsbesluit Bodemenergiesystemen. Deze AMvB bevat uniforme voorschriften met betrekking tot onder andere energiebalans, interferentie, rendement, en buitengebruikstelling en waarborgt hiermee een doelmatig en duurzaam gebruik van de bodem en moet bijdragen aan de doelstelling voor de reductie van CO₂. Voor de daadwerkelijke installatie van de bodemenergiesystemen wordt gebruik gemaakt van mechanische grondboringen. De technische eisen hiervoor zijn beschreven in de BRL 2100 en de onderliggende protocollen.

4. Analyse onderzoeksresultaten

Dit hoofdstuk bevat een analyse van de onderzoeksresultaten van het literatuuronderzoek, de interviews en het bezoek aan het jaarcongres van de SIKB. Voor elk onderwerp is een paragraaf opgenomen waarin de belangrijkste informatie met betrekking tot het betreffende onderwerp is uitgeschreven. Deze informatie is vervolgens verwerkt in het stroomschema dat is opgenomen als bijlage 1.

4.1 Open bodemenergiesystemen

Bodemenergie is een vorm van duurzame energie die de laatste jaren sterk in opkomst is. De Taskforce WKO voorspelde in 2009 een groei van het aantal systemen tussen de 3.500 en 18.000 rond het jaar 2020. Een groot gedeelte hiervan zal worden ingenomen door open bodemenergiesystemen. In de provincie Zuid-Holland is door deze ontwikkeling het eerste watervoerend pakket reeds afgesloten voor de toepassing van bodemenergiesystemen, waardoor er moet worden uitgeweken naar de diepere ondergrond.

Open bodemenergiesystemen gebruiken de warmte en koude die in de bodem aanwezig is als gevolg van de constante temperatuur van de bodem. De watervoerende pakketten in de ondergrond dienen hierbij als opslagmedium. In de zomer wordt het water uit de koude bel gebruikt voor koeling en in de winter wordt het water uit de warme bel opgewaardeerd door middel van een warmtepomp ten behoeve van verwarming. Bij 'recirculatiesystemen' wordt er zowel in de zomer als in de winter constant water van de zelfde temperatuur rondgepompt.

Open bodemenergiesystemen kunnen worden verdeeld in opslagsystemen (monobron en doublet) en doorstroomsystemen (recirculatiesysteem). Afhankelijk van de energievraag en de ondergrondse ruimte wordt er gekozen voor een bepaald systeem. Monobronnen zijn geschikt voor de kleinere toepassingen zoals kleine kantoren, scholen, woningbouw (vanaf 50 woningen) en zorginstellingen en vragen om een voldoende dikte van het watervoerende pakket. Doubletten hebben een grotere capaciteit en worden ingezet bij grote kantoorgebouwen, utiliteitsbouw, woningbouw en glastuinbouw. Recirculatiesystemen worden vaak ingezet bij industriële toepassingen waar er een continue behoefte is aan koeling.

Goed ontworpen en aangelegde systemen kunnen een energiebesparing opleveren van circa 50% op koelen en verwarmen. Dit betekent een reductie van de CO₂ uitstoot en minder gebruik van fossiele brandstoffen. De terugverdientijden van open bodemenergiesystemen variëren van 3 tot 15 jaar, afhankelijk van de grootte van het systeem. De levensduur van de systemen bedraagt circa 25 tot 35 jaar.

Veel systemen hebben een koudeoverschot. Vooral verzorgingstehuizen en scholen gebruiken meer warmte dan koude. Een goed beheer van het open bodemenergiesysteem kan hier uitkomst in bieden en resulteert niet alleen in een optimaal functionerend systeem met een goede energieprestatie maar zorgt tevens voor een goede balansbeheersing. Problemen met de energiebalans liggen vaak bij onjuist gebruik en zijn doorgaans op te lossen door het aanpassen van de energievraag van het gebouw. Een onbalans in het systeem zorgt voor een groter ondergronds ruimtebeslag.

Open bodemenergiesystemen maken gebruik van diverse ecosysteemdiensten van de ondergrond en het grondwater. De ondergrondse ruimte die een open bodemenergiesysteem in beslag neemt kan vervolgens niet meer voor een andere menselijke activiteit gebruikt worden. Afhankelijk van tijdsschaal en gezichtspunt kan de invloed op deze ecosysteemdiensten positief of negatief zijn. Uitgebreid onderzoek is nodig om de invloeden op diverse ondergrondse ecosysteemdiensten als natuurlijke afbraak en biodiversiteit in kaart te brengen.

Van de open bodemenergiesystemen is het doublet het meest voorkomende systeem, gevolgd door de monobron. Het recirculatiesysteem is erg locatie specifiek en heeft een lager rendement. Daardoor wordt deze het minst toegepast. Bij de pilot locatie 'Biowasmachine' in Utrecht worden voornamelijk doubletten toegepast. In Eindhoven op de pilot locatie 'Strijp-S' wordt gebruik gemaakt van een groot recirculatiesysteem.

Ontwikkelingen op het gebied van open bodemenergiesystemen bestaan uit het combineren van het systeem met sprinklerinstallaties en het toepassen van open bodemenergiesystemen voor de volledige koeling van datacenters waarbij de afgegeven warmte elders gebruikt kan worden.

4.2 Verontreinigingen met VOCI en saneringen

Industriële activiteiten in het verleden van bijvoorbeeld chemische wasserijen en metaalbedrijven, hebben vooral in de stedelijke gebieden door onjuist of ongecontroleerd gebruik van VOCI gezorgd voor een nalatenschap van veel grondwaterverontreinigingen.

VOCI zijn vluchtige organochloor-verbindingen zoals tetrachlooretheen (PER) en trichlooretheen (TRI), die voor mens en milieu bijzonder schadelijk kunnen zijn. VOCI kenmerken zich door een lage oplosbaarheid, een hoge dichtheid en een langzame natuurlijke afbraak. Hierdoor kunnen op verontreinigde locaties gebieden met puur product voorkomen waardoor er zaklagen gevormd kunnen worden op slecht doorlatende lagen in de bodem en er zeer grillige verontreinigingspluimen ontstaan.

De risico's van VOCI grondwaterverontreinigingen ontstaan doordat de stoffen en/of afbraakproducten, zoals het carcinogene vinylchloride, matig vluchtig zijn waardoor er een kans op uitdamping naar bijvoorbeeld kruipruimtes onder huizen bestaat. Daarnaast kan VOCI in het drinkwater terechtkomen vanwege permeatie door kunststof waterleidingen. Doordat VOCI zich relatief eenvoudig verspreidt bestaat tevens de kans dat de verontreiniging zich zal verplaatsen naar het oppervlaktewater of de invloedzone van drinkwateronttrekkingen.

Verontreinigingen met VOCI bevinden zich door de specifieke eigenschappen vaak op relatief grotere diepten en hebben een complex verspreidingspad. Dit maakt het actief saneren ervan een lastige onderneming. Als er geen onaanvaardbare risico's voor de mens of de omgeving aanwezig zijn worden deze vaak grootschalige verontreinigingen niet actief gesaneerd, maar wordt volstaan met de beheersing of de monitoring van de verontreinigingen. Anders dient er met spoed gesaneerd te worden.

Bestaande saneringstechnieken voor verontreinigingen met VOCI zijn voornamelijk in-situ technieken waarbij de verontreiniging fysisch, chemisch of biologisch aangepakt wordt. Ontgraving wordt slechts toegepast wanneer de bronzone van de verontreiniging zich in eenvoudig te bereiken bodemlagen bevindt.

Een trend die te zien is bij de ontwikkeling van in-situ saneringstechnieken is dat bestaande technieken gecombineerd of verfijnd worden en zich duidelijker richten op de bron of op de pluim. Deze effectieve, gerichte aanpak is mogelijk omdat de verontreinigingen ook steeds beter in kaart gebracht kunnen worden. Daarnaast is er een zichtbare verschuiving van traditionele in-situ technieken naar het steeds vaker toepassen van de chemische oxidatie- en reductietechnieken voor intensieve bronverwijdering, in combinatie met injecties van makkelijk afbreekbaar substraat (koolstofbron) in pluimzones.

4.3 Wet- en regelgeving bodemenergie

Om het principe "Wie het eerst komt, die het eerst pompt" te doorbreken, en daarmee te zorgen voor een betere ordening van bodemenergiesystemen en een optimale benutting van de ondergrondse ruimte, is op 1

juli 2013 het Wijzigingsbesluit bodemenergiesystemen (AMvB bodemenergie) in werking getreden. Naast het belang van bescherming van de bodem wordt hiermee ook gestreefd naar een doelmatig gebruik van bodemenergie.

De AMvB bodemenergie is bedoeld als stimulans voor de toepassing van bodemenergiesystemen waardoor een reductie van de uitstoot van CO₂ mogelijk gemaakt wordt. Hierdoor kan er een bijdrage geleverd worden aan het verwezenlijken van de klimaatdoelstellingen. Met het ingaan van de regeling zijn vergunningprocedures eenvoudiger en korter geworden, en zijn er uniforme voorschriften vastgelegd met betrekking tot de energiebalans, de retourtemperatuur, interferentie, het energierendement, monitoring en buiten gebruikstelling. De regeling richt zich tevens op het creëren van een gelijk speelveld voor open en gesloten systemen en het invoeren van gebiedsgericht beleid in drukke gebieden met een grote energiebehoefte.

Voor de open bodemenergiesystemen die relevant zijn voor dit onderzoek is altijd een vergunning nodig op grond van de Waterwet. In de vergunningaanvraag voor een open bodemenergiesysteem dient het gehele systeem uitgebreid beschreven te zijn. Van de totale dimensionering van het systeem tot het energierendement (ook wel SPF genoemd) en de besparing op conventioneel energiegebruik. Daarnaast dient er een effectenstudie van het grondwatersysteem toegevoegd te worden aan de vergunningaanvraag. Voor grote bodemenergiesystemen en bij een gebiedsgerichte aanpak kan het tevens nodig zijn om een milieu effect rapportage (m.e.r.) op te stellen.

Wanneer er grond(water)verontreinigingen aanwezig zijn dient er op grond van de Wet bodembescherming een melding gedaan te worden. Er zal onderzoek uitgevoerd moeten worden naar de invloed van het bodemenergiesysteem op de grondwaterverontreiniging. Wanneer het bodemenergiesysteem leidt tot verplaatsing van de grondwaterverontreiniging kan dit aanleiding zijn om het systeem op een grotere diepte aan te leggen, of het opstellen van een saneringsplan waarbij het systeem een rol speelt bij de sanering of beheersing van de verontreiniging. In gebieden waar gebiedsgericht grondwaterbeheer geldt, is het verplaatsen van de verontreiniging wel mogelijk, maar binnen de systeemgrens van het gebied.

Bij de aanleg van open bodemenergiesystemen dient men in het kader van de WION tijdig een graafmelding (Klic-melding) te doen bij het kadaster. Het spuiwater (afvalwater) dat bij de aanleg en het onderhoud van de bronnen ontstaat wordt niet in de bodem teruggebracht. Het lozen op het oppervlaktewater valt binnen de watervergunning. Wanneer het spuiwater op een ander manier geloosd zal, of moet worden, zullen hier maatwerkvoorschriften voor moeten worden opgemaakt.

Sinds 1 oktober 2014 geldt voor het ontwerpen, aanleggen en beheren van energiesystemen met betrekking tot de opwekking (bovengronds) en de bronnen (ondergronds) een erkenningverplichting. De kwaliteitseisen zijn beschreven in de beoordelingsrichtlijn BRL 6000. Het normdocument dat geldt voor de opwekking is de BRL SIKB 6000-21 en het normdocument dat geldt voor de bron is de BRL SIKB 11000. De richtlijnen voor mechanisch boren zijn beschreven in de BRL 2100 en de onderliggende protocollen.

De uniformering van de werkwijze van het verlenen van een vergunning en toezicht en handhaving is sinds december 2014 geregeld in de, door de SIKB vastgestelde, handreiking BUM en richtlijn HUM. Het betreft hier een vertaling van de voorschriften uit het wettelijk kader en beide documenten zijn opgesplitst in een deel voor provinciale taken en een deel voor gemeentelijke taken.

4.4 Gebiedsgericht grondwaterbeheer en participanten

Veranderingen in het bodembeleid door, de in de Wet bodembescherming opgenomen, paragraaf 3b 'Bijzondere bepalingen inzake een gebiedsgerichte aanpak' uit 2012, en de AMvB bodemenergie uit 2013 liggen aan de basis van de verschuiving van de traditionele gevalsgerichte aanpak naar een integrale gebiedsgerichte aanpak van grondwaterverontreinigingen. De verantwoordelijkheid van het gebiedsgericht grondwaterbeheer ligt bij de bevoegde overheden en betrokken regionale en lokale overheden.

Het gebruik van bodemenergiesystemen vervult de maatschappelijke behoefte aan het gebruik van meer hernieuwbare energie. Om in deze behoefte te voorzien is een goede regie nodig en hierin zullen gemeenten een initiërende rol moeten spelen. Een concrete visie op het ondergrondse ruimtegebruik en het grondwatersysteem in combinatie met het slim combineren van huidige en toekomstige grondwaterfuncties, waaronder het gebruik van bodemenergiesystemen, zal moeten leiden tot een effectieve gebiedsgerichte aanpak.

Door middel van een omgevingsanalyse waarin de kenmerken en het gebruik van het grondwater, de grondwaterproblemen en de (toekomstige) gebruikswensen van belanghebbenden zijn opgenomen kunnen de kaders van het gebiedsgericht grondwaterbeheer worden vastgelegd. Vervolgens kunnen gemeentelijk beleid, wetgeving, uitvoering met betrekking tot de ondergrond nader worden ingevuld door middel van een grondwaterbeheerplan.

Een essentiële factor in het gebiedsgericht grondwaterbeheer is om alle belanghebbenden de zelfde taal te laten spreken. Gezamenlijke belangen en een gezamenlijke visie met betrekking tot de diverse functies van onder- en bovengrond moeten leiden tot een gevoel van saamhorigheid.

De 'Biowasmachine' in Utrecht is hier een mooi voorbeeld van. Op basis van de stedelijke ontwikkelingsplannen is één aanpak opgesteld waarbij alle grondwatergebruikers in het projectgebied een deel van de totale kosten van het project op zich namen. Deze kosten waren overigens vier tot vijf keer minder dan wanneer de aanwezige verontreinigingen met VOCl op een conventionele manier zouden zijn aangepakt. De verontreinigingen met VOCl in het projectgebied mogen nu door toedoen van de stedelijke ontwikkelingen verplaatst worden mits ze binnen de systeemgrens blijven. Overige (immobiele) verontreinigingen in de bovengrond kunnen door werkzaamheden ten behoeve van de ontwikkelingen tevens verwijderd worden.

Elke fase van de ontwikkeling van het gebiedsgericht grondwaterbeheer kenmerkt zich door een bepaalde groep belanghebbenden en het is zaak om deze groep zorgvuldig samen te stellen waarbij rekening gehouden moet worden wie er daadwerkelijk belang hebben bij de diverse fasen en wie er op dat moment een meerwaarde kunnen leveren.

De rol die belanghebbenden kunnen invullen bij het realiseren van open bodemenergiesystemen op locaties met een bodemverontreiniging met VOCl vanuit het oogpunt van de initiatiefnemer is vertaald naar het diagram in figuur 12 op pagina 46. Aantekening hierbij is dat sommige belanghebbenden meerdere rollen kunnen invullen. Zo kan de gemeente bijvoorbeeld initiatiefnemer zijn van het open bodemenergiesysteem en eigenaar van de verontreiniging. Het diagram kan gebruikt worden door initiatiefnemers van open bodemenergiesystemen om een duidelijk beeld te krijgen van wie er per ontwikkelingsfase betrokken, geraadpleegd of overtuigd moeten worden.

De participanten rechts bovenin, in het donkere gedeelte van het diagram in figuur 12 zullen de meeste invloed uit kunnen oefenen, en hebben ook de grootste belangen bij de realisatie van het gebiedsgericht

grondwaterbeheer. De belangen van de participanten linksonder, in het lichte gedeelte van het diagram zijn klein en de invloed die zij op de ontwikkelingen kunnen uitoefenen is laag.

figuur 12: participanten combinatieconcepten



Marnix Hofland, 2015

4.5 Combinatieconcepten

Binnen de systeemgrenzen van het gebiedsgericht grondwaterbeheer is verplaatsen van verontreinigingen toegestaan waardoor gebruikers van het grondwater meer ruimte krijgen. Open bodemenergiesystemen kunnen worden geïnstalleerd, waarmee er kansen worden gecreëerd om juist door middel van deze systemen verontreinigingen met VOCl te saneren. Deze zogenoemde combinatieconcepten zijn vervolgens onder te verdelen in vier saneringscategorieën.

- Beheersing.
- Natuurlijke afbraak.
- Gestimuleerde afbraak in een reactieve zone.
- Bovengrondse zuivering van een deelstroom.

Beheersing van de verontreiniging met VOCl kan plaatsvinden door het slim plaatsen van de bronnen van het open bodemenergiesysteem, waarbij tevens de natuurlijke afbraak gestimuleerd wordt door een hogere grondwaterdynamiek en, in mindere mate, de temperatuursverandering. Om ongecontroleerde verspreiding van zaklagen en de verontreiniging en tevens aantasting van de gebruikte materialen te voorkomen dienen de bronnen van het open bodemenergiesysteem echter niet in, of te dicht bij de bronzone van de verontreiniging geplaatst te worden.

De natuurlijke afbraak kan ook gestimuleerd worden door de verontreiniging te transporteren vanuit het open bodemenergiesysteem naar een natuurlijke afbraakzone, of door kunstmatig een reactieve zone te creëren. Het creëren van een reactieve zone geschiedt door hulpstoffen of bacteriën toe te voegen aan het grondwatersysteem binnen de invloedssfeer van het open bodemenergiesysteem waardoor de afbraak van de verontreiniging chemisch of biologisch gestimuleerd wordt.

Bovengrondse zuivering in combinatie met een open bodemenergiesysteem is ook mogelijk. Omdat het debiet van een open bodemenergiesysteem een stuk hoger ligt dan bij een conventionele sanering is het niet kosteneffectief om de gehele waterstroom te zuiveren. Het zuiveren van een deelstroom biedt hierin een oplossing. Na zuivering kan het water weer in de bodem geïnfiltreerd worden of op het oppervlaktewater worden geloosd. Andere oplossingen zijn om netto water te onttrekken en deze deelstroom naar de plaatselijke RWZI te leiden, of om tijdens een sanering de warmte te gebruiken van het voor zuivering opgepompte water.

Bij behoud van het rendement van het open bodemenergiesysteem zal het saneringsrendement vrij laag zijn en zal er altijd sprake zijn van een restverontreiniging. Bij het gebruiken van warmte en koude die vrijkomt bij een sanering zal het energetisch rendement juist weer lager zijn. Afhankelijk van de saneringsdoelstelling zal hier een tussenweg in gezocht moeten worden.

De open bodemenergiesystemen van het pilotproject 'Biowasmachine' in Utrecht zijn voornamelijk doubletsystemen. Op de pilot locatie 'Strijp-S' in Eindhoven is een recirculatiesysteem actief. Beide locaties richten zich op het beheersen van de verontreiniging, waarbij deze zich niet verplaatst buiten de grenzen van het systeemgebied. Door de verhoogde grondwaterdynamiek ontstaat er een groter reactorvolume waardoor de kans dat de verontreiniging in aanraking komt met de benodigde bacteriën groter wordt en de natuurlijke afbraak van de verontreiniging wordt gestimuleerd. Op beide locaties worden onderzoeken uitgevoerd om door extra stimulatie van de natuurlijke afbraak de bodemkwaliteit te verbeteren.

4.6 Bodemgeschiktheid

In het grootste gedeelte van Nederland zijn door rivierafzettingen veel zandlagen en grindhoudende zandlagen te vinden die zich kenmerken door een goede doorlatendheid. Globaal gezien kan de eerste 250 meter van de ondergrond van Nederland hierdoor gebruikt worden voor bodemenergie. Naast een goede doorlatendheid van de bodem spelen de samenstelling en de stromingssnelheid van het grondwater in de watervoerende pakketten een grote rol bij het gebruik van open bodemenergiesystemen.

Bij het toepassen van combinatieconcepten op plaatsen waar verontreinigingen met VOCl aanwezig zijn, zullen tevens specifieke bodemeigenschappen aanwezig moeten zijn voor de natuurlijke afbraak van deze verontreinigingen.

Voorafgaand aan de realisatie van een combinatieconcept of de aanzet tot gebiedsgericht grondwaterbeheer waarbij meerdere open bodemenergiesystemen in deelnemen, zal het nodig zijn om de impact van het (totale) systeem op de bodemopbouw, de grondwaterstand, ecosysteemdiensten en de specifieke bodemeigenschappen in kaart te brengen door het uitvoeren van uitgebreide metingen en modelberekeningen op en rond de projectlocatie of binnen de systeemgrenzen van het gebiedsgericht grondwaterbeheer.

Metingen naar de aanwezigheid van de juiste micro-organismen, redoxomstandigheden en voldoende electrondonor voor de afbraak van VOCl of isotopenmetingen kunnen veel inzicht geven in de uiteindelijke afbraakpotentie van een locatie.

Wanneer blijkt dat de bodem geschikt is voor het realiseren van een combinatieconcept zal de effectenstudie duidelijkheid moeten verschaffen in de effecten die het systeem op de ondergrond, het grondwatersysteem en de aanwezige verontreinigingen (verplaatsing) heeft. Hierbij moet gedacht worden aan zettingen, fluctuatie van de grondwaterstand, verandering van natuurlijke grondwaterstromingsrichting, menging van verschillende kwaliteiten grondwater en grondwatertemperatuurverschillen.

In de fase van toezicht en handhaving is de bodemgeschiktheid al in kaart gebracht. Wel dient het bevoegd gezag in staat gesteld te worden om tijdens het plaatsen van de bronnen een controle uit te voeren op de vooraf aangegeven bodemopbouw, diepte van de te plaatsen bronnen en het juist afsluiten van doorboorde scheidende lagen. Dit voorkomt dat er grondwater van verschillende kwaliteiten bij elkaar komen en verspreiding van verontreinigingen.

4.7 Energievraag

De energievraag van gebouwen is voor het grootste deel bepalend voor de omvang en het soort open bodemenergiesysteem en is daarmee ook bepalend voor de 'grootte' van de vergunning. In Nederland is de grootste energievraag geconcentreerd in drukke stedelijke omgeving en komt voornamelijk van grote (multifunctionele) gebouwen. Door de toenemende vraag naar duurzame energie zal de druk op de ondergrondse ruimte in stedelijke omgeving alleen nog maar toenemen.

De energievraag wordt meestal overschat om een overschot te houden in het geval van variaties in klimaat en toekomstig gebruik van het gebouw. Hierdoor wordt er vaak een vergunning aangevraagd voor een groter debiet dan er eigenlijk gemiddeld jaarlijks gebruikt zal worden. Hierdoor wordt er beslag gelegd op een groter deel van de ondergrondse ruimte dan eigenlijk nodig is. In Utrecht is er hierdoor vergunningtechnisch gezien weinig ruimte in de ondergrond meer beschikbaar voor bodemenergie en zijn er plannen om de systeemgrenzen van het gebied op te rekken.

Daarnaast blijkt de energievraag van gebouwen slecht te voorspellen en ontstaat er in veel gevallen een onbalans in de warmte- en koudevraag wat ook zorgt voor een toename van het ondergronds ruimtebeslag. De meeste systemen in Nederland hebben een koudeoverschot, vooral scholen en verzorgingstehuizen. Een onbalans van open bodemenergiesystemen kan zorgen voor thermische kortsluiting tussen warme en koude bronnen.

Een goed ontworpen en geïnstalleerd systeem dat tevens goed beheerd wordt zal ook goed functioneren. Dit zorgt voor een goede energieprestatie en balansbeheersing. Als er een probleem is met de energiebalans is dit vaak door onjuist gebruik en is de eerste vraag die gesteld dient te worden of er niet te veel verwarmd is. De oplossing is meestal te vinden in het aanpassen van de energievraag van het gebouw.

Het uitvoeren van een omgevingsanalyse waarbij geïnterviewd welke variatie aan soorten gebouwen aanwezig is in het projectgebied, en welke energievraag deze gebouwen hebben kan uitkomst bieden voor het eventueel uitruilen van onderling warmte- en koudeoverschotten.

4.8 Conclusie analyse onderzoeksresultaten

Geconcludeerd kan worden dat de analyseresultaten van het onderzoek inzicht hebben gegeven in de problemen en mogelijkheden waar initiatiefnemers van open bodemenergiesystemen, in gebieden waar verontreinigingen met VOCl aanwezig zijn, mee te maken krijgen. Gebiedsgericht grondwaterbeheer kan een grote bijdrage leveren bij het realiseren van deze initiatieven. Gemeenten spelen hierin een grote rol en kunnen, met een duidelijke visie op de indeling van de ondergrondse ruimte, belanghebbenden samenbrengen om open bodemenergiesystemen en saneringstechnieken in drukke stedelijke gebieden met een geconcentreerde energievraag te combineren. Hiermee wordt naast het belang van bescherming van de bodem ook invulling gegeven aan een doelmatig gebruik van bodemenergie.

In hoofdstuk 5 is beschreven hoe de informatie uit het onderzoek is samengebundeld en is verwerkt in een stroomschema.

5 Stroonschema

Om een overzicht te creëren van de kansen en knelpunten bij initiatieven tot open bodemenergiesystemen op locaties waar verontreinigingen met VOCl aanwezig zijn, is de meest relevante informatie met betrekking tot de onderwerpen uit dit onderzoek verwerkt in een stroonschema. Deze overzichtelijke bundeling van informatie kan leiden tot meer kennis en draagvlak bij adviesbureaus, projectontwikkelaars en overheden op het gebied van combinatieconcepten waardoor er meer gebruik gemaakt kan worden van bodemenergie in een drukke stedelijke omgeving met een grote energievraag en de aanwezigheid van verontreinigingen met VOCl in de ondergrond. Het stroonschema is toegevoegd aan dit onderzoek als bijlage 1.

5.1 Ontwerp stroonschema

Het stroonschema is opgebouwd uit 4 fasen. In het stroonschema wordt verwezen naar hoofdonderwerpen van het onderzoek door vermelding van paragraafnummers. Specifieke verwijzingen worden aangegeven door vermelding van paginanummers. Bij alle fasen van het stroonschema wordt aangegeven welke wet- en regelgeving van belang is.

Fase 1, voorbereiding, behandelt de inventarisatie van gegevens met betrekking tot het open bodemenergiesysteem en de verontreiniging met VOCl. Dit leidt tot de aanzet van het combinatieconcept en vervolgacties die daarbij ontstaan. In fase 2 worden de geïnventariseerde gegevens verwerkt in het ontwerp van het combinatieconcept. Fase 3, uitvoer, behandelt de installatie van het boven- en ondergrondse systeem en fase 4 richt zich op beheer, onderhoud, monitoring en bijsturen van het combinatieconcept.

In de voorbereidingsfase (fase 1) zijn er aanvullende processen opgenomen voor de ontwikkeling van gebiedsgericht grondwaterbeheer. Initiatiefnemers van gebiedsgericht grondwaterbeheer kunnen gedurende het gehele traject geadviseerd en ondersteund worden door specialistische adviesbureaus zoals AGGb (Adviescombinatie Gebiedsgericht Grondwaterbeheer). Voor het inventariseren van kansen op het gebied van combinatieconcepten wordt er verwezen naar paragraaf 3.2.2. omdat de daar besproken 'Biowasmachine' een mooi voorbeeld is van het slim combineren van functies. In fase 2 is als aanvullend proces het opstellen van een conceptueel model opgenomen. Dit conceptueel model draagt bij aan de vormgeving van het project en wordt vervolgens in fase 4 geverifieerd.

Bij het ontwerp van het stroonschema is er van uitgegaan dat de verontreinigingen met VOCl ernstig en mobiel zijn. Wel is er onderscheid gemaakt tussen verontreinigingen met onaanvaardbare risico's die met spoed gesaneerd moeten worden en verontreinigingen zonder onaanvaardbare risico's.

Omdat verontreinigingen met VOCl doorgaans een beperking opleveren voor het plaatsen van open bodemenergiesystemen worden in het stroonschema alleen open bodemenergiesystemen die een effect op de verontreiniging met VOCl hebben volledig uitgewerkt.

Afhankelijk van de initiatiefnemer van het open bodemenergiesysteem, projectontwikkelaar of gemeente zullen stappen uit het stroonschema op een andere manier worden benaderd. Een projectontwikkelaar zal zich eerder richten op het te ontwikkelen open bodemenergiesysteem. Een gemeente zal zich meer richten op het integreren van het open bodemenergiesysteem binnen het gebiedsgericht grondwaterbeheer, of het ontwikkelen daarvan.

5.2 Validatie stroomschema

Voor de validatie van het stroomschema is er gekozen om het schema voor te leggen aan mijn tweede bedrijfsbegeleider, de heer E. van der Most. Hij is momenteel met een juridisch onderzoek bezig waarbij het ontstaan van een grote verontreiniging met VOCl in het centrum van Doorn het onderwerp vormt. De aanwezige verontreiniging zorgt voor onaanvaardbare risico's en dient met spoed gesaneerd te worden. Hierbij is de heer E. van der Most tevens aangesteld door de provincie Utrecht om de betrokken bewoners te adviseren en, daar waar nodig bevonden wordt namens de bewonersorganisatie, zienswijzen op te stellen.

Met het oog op het open bodemenergiesysteem van het gemeentehuis van Doorn, en de in het centrum van Doorn aanwezige verontreiniging met VOCl is het schema doorlopen. Een beperking hierbij werd gevormd doordat niet alle gegevens van dit open bodemenergiesysteem toegankelijk waren. Hierdoor kon er slechts een beperkte conclusie worden gevormd.

Het nieuwe gemeentehuis van Doorn heeft sinds 2011 een open bodemenergiesysteem in gebruik dat is opgenomen in de overzichtskaarten van de Nota Bodemenergie van de gemeente Utrechtse Heuvelrug van mei 2015. Door de gepresenteerde schaal en de ondoorzichtige tekeningen is het niet duidelijk of het open bodemenergiesysteem wel of niet in de pluim van de verontreiniging staat. In mei 2015 was al bekend dat de pluim groter was maar de feitelijke omvang was en is nog steeds niet bepaald.

Gegevens met betrekking tot het ontwerp van het open bodemenergiesysteem van het gemeentehuis in Doorn ontbreken bij de heer E. van der Most. Bijvoorbeeld in welk grondwaterpakket het systeem is geïnstalleerd, de omvang van de effectenstudie en of er maatregelen zijn getroffen bij het doorboren van scheidende lagen ter voorkoming van verspreiding van de verontreiniging. Mogelijk heeft het open bodemenergiesysteem wel een nadelig effect op de (pluim van) verontreiniging met VOCl. Rest de vraag wat er als belangrijker werd ervaren. Het juist in kaart hebben van de contouren van de verontreiniging en de invloed van het open bodemenergiesysteem, of het neerzetten van een modern en duurzaam gemeentehuis.

De heer E. van der Most vond dat het stroomschema logisch is opgebouwd en goed is te doorlopen, maar de grote hoeveelheid informatie die in het stroomschema verwerkt is werd als een beperking ervaren.

Het voordeel van het toepassen van het stroomschema in de situatie in Doorn is dat het wellicht had kunnen resulteren in een beter vooronderzoek voorafgaand aan het plaatsen van het open bodemenergiesysteem. Het is nu, achteraf en met de beperkte informatie, lastig te bepalen wat de effecten van het open bodemenergiesysteem op de verontreiniging met VOCl in Doorn zijn. Misschien zouden er door gebruik te maken van het stroomschema andere keuzes zijn gemaakt. Duidelijkheid met betrekking tot de contouren van de verontreiniging en daarbij de eventuele mogelijkheden tot beheersing van de pluim en stimuleren van de natuurlijke afbraak zouden het open bodemenergiesysteem mogelijk hebben kunnen transformeren tot een combinatieconcept of het verplaatsen van de bronnen van het bodemenergiesysteem.

6 Conclusies en aanbevelingen

De gegevens verkregen tijdens dit onderzoek en bij het samenstellen van het stroomschema zijn samengevat in onderstaande conclusies en aanbevelingen. Hiermee wordt een antwoord gegeven op de centrale onderzoeksvraag: *“Hoe kunnen open bodemenergiesystemen worden ingezet in gebieden met een (sterk geconcentreerde) energievraag en de aanwezigheid van verontreinigingen met VOCl in de bodem?”*.

6.1 Conclusies

Open bodemenergiesystemen dragen bij aan het gebruik van duurzame energie en het terugdringen van de CO₂ uitstoot, zijn financieel aantrekkelijk en zorgen voor weinig bovengrondse impact. Deze vorm van duurzame energie is de laatste jaren sterk in opkomst en kan toegepast worden in diverse sectoren, van woningbouw tot utiliteitsbouw.

Open bodemenergiesystemen kunnen in verreweg het grootste gedeelte van Nederland worden geïnstalleerd in de goed doorlatende watervoerende pakketten tot een diepte van circa 250 m –mv. In drukke stedelijk gebieden zijn er op de voor bodemenergie geschikte diepte vaak nog grootschalige verontreinigingen met VOCl aanwezig die niet actief gesaneerd worden.

Wanneer deze verontreinigingen wel actief gesaneerd (moeten) worden kan er, afhankelijk van de gekozen saneringstechniek, alsnog gebruik gemaakt worden van bodemenergie door warmte te onttrekken aan het voor zuivering opgepompte water. Er moet dan wel rekening gehouden worden met een laag energetisch rendement.

Veranderingen in wet- en regelgeving hebben een verschuiving van een traditionele gevalsgesichte, naar een integrale gebiedsgesichte aanpak van bodemverontreinigingen veroorzaakt.

Als er sprake is van gebiedsgericht grondwaterbeheer mogen verontreinigingen met VOCl verplaatst worden binnen de systeemgrenzen van het projectgebied. Afhankelijk van de ondergrondse opslagcapaciteit, kunnen meerdere open bodemenergiesystemen mogelijk zijn. Strategische plaatsing van de bronnen van open bodemenergiesystemen zorgt voor een beheersing van de verontreiniging met VOCl. Door de toename van de dynamiek van het grondwater wordt de natuurlijke afbraak van de verontreiniging gestimuleerd. In dit geval is het saneringsrendement lager en zal er sprake zijn van een restverontreiniging.

Open bodemenergiesystemen zijn vergunningplichtig op grond van de Waterwet en bij aanwezigheid van grond(water)verontreinigingen zal er afstemming moeten plaatsvinden in het kader van de Wet bodembescherming. Door middel van een effectenstudie zal de impact van het systeem op de omgeving en op de aanwezige verontreiniging aangetoond moeten worden.

Bij een gebiedsgesichte aanpak dient er voor het gehele projectgebied een saneringsplan opgesteld te worden waarin alle open bodemenergiesystemen als een groot combinatieconcept zijn opgenomen. Afhankelijk van de grootte van het gebied kan het noodzakelijk zijn om een milieu effect rapportage op te stellen. De verplichting hiervoor rust bij de initiatiefnemer van het gebiedsgericht grondwaterbeheer.

Bij een gevalsgesichte aanpak zal de invloed van het open bodemenergiesysteem op de verontreiniging met VOCl opgenomen moeten worden in een saneringsplan. De verplichting hiervoor rust bij de initiatiefnemer van het open bodemenergiesysteem.

Verontreinigingen met VOCl hoeven vanuit wet- en regelgeving dus geen belemmering te zijn voor het gebruik van open bodemenergiesystemen.

Bij gebiedsgericht grondwaterbeheer zal een duidelijke visie op het ondergrondse ruimtegebruik en het grondwatersysteem leiden tot het slim combineren van huidige en toekomstige grondwaterfuncties, waarbij kansrijke combinatieconcepten inbegrepen zijn. Een belangrijk gegeven hierbij is dat combinatieconcepten uiteindelijk kosteneffectiever zijn dan het apart realiseren van saneringen en bodemenergiesystemen.

Van bestaande combinatieconcepten zoals de 'Biowasmachine' in Utrecht en 'Strijp-S' in Eindhoven, die al wat langere tijd in gebruik zijn, kan voorzichtig gesteld worden dat deze een positieve invloed hebben op de afbraak van de verontreinigingen en vermindering van de totale vracht. De dynamiek van het grondwater blijkt voorlopig de belangrijkste of de meest bepalende factor voor geochemische en microbiologische grondwaterkwaliteitsveranderingen. Diverse saneringstechnieken kunnen binnen de combinatieconcepten worden ingezet om de natuurlijke afbraak van de verontreinigingen actief te stimuleren.

Belangrijkste problemen die kunnen ontstaan bij de realisatie van combinatieconcepten zijn een ongecontroleerde verspreiding van zaklagen en de verontreiniging, aantasting van de gebruikte materialen en putverstopping. Daarnaast is de energievraag van gebouwen vaak slecht te voorspellen en wordt deze meestal overschat. Dit leidt tot een te hoge inschatting van de energievraag of een onbalans in warmte- en koudevraag en de aanvraag van te grote vergunningen. Zowel de onbalans als de te hoge inschatting van de energievraag hebben een te hoog ondergronds ruimtebeslag tot gevolg. De aanwezigheid van een variatie aan soorten gebouwen binnen de projectlocatie met verschillende energiewensen kan zorgen voor een onderlinge uitruil van koude- en warmteoverschotten.

De wettelijke verplichting tot certificering voor het ontwerp, de installatie en het beheer heeft bijgedragen aan steeds beter ontworpen en functionerende bodemenergiesystemen. Een goed ontworpen en geïnstalleerd combinatieconcept zorgt bij een juist beheer voor goede energieprestaties en balansbeheersing en een juiste inschatting van het ondergrondse ruimtebeslag.

De meest relevante informatie met betrekking tot de onderwerpen uit dit onderzoek zijn verwerkt in het stroomschema in bijlage 1. Bij de validatie van het stroomschema is echter gebleken dat de grote hoeveelheid aan verwerkte gegevens mogelijk een beperking op kan leveren voor een doelmatig gebruik van het stroomschema.

6.2 Aanbevelingen

De visie op de nieuwe omgevingswet volgens Tanja Klip van het Waterschap Vallei en Veluwe, gebaseerd op 'grensontkennende' samenwerking tussen belanghebbenden, het optimaal benutten en het maximaal beschermen van de ondergrond, een verschuiving van nee, tenzij naar ja, mits en van een sectorale naar een integrale aanpak, geldt zeker voor de benadering van kansrijke combinatieconcepten op het gebied van open bodemenergiesystemen en saneringen van verontreinigingen met VOCl. Het slagen van deze combinatieconcepten is sterk afhankelijk van een integrale benadering van het probleem en de daarbij horende mogelijkheden.

Het gebruik van open bodemenergiesystemen vervult de maatschappelijke behoefte aan het gebruik van meer duurzame energie. In drukke stedelijke gebieden waar doorgaans veel grondwaterverontreinigingen aanwezig zijn is gebiedsgericht grondwaterbeheer de oplossing om open bodemenergiesystemen toe te kunnen passen. Initiatief en regie voor het gebiedsgericht grondwaterbeheer zal bij de gemeente moeten liggen waarbij het van belang is om een concrete visie te ontwikkelen op het ondergrondse ruimtegebruik en het grondwatersysteem. Huidige en toekomstige grondwaterfuncties zullen slim gecombineerd moeten worden. Het erkennen van belangen van participanten en goede afspraken over kosten en opbrengsten zullen bijdragen aan een gezamenlijke ambitie en de wil tot samenwerking.

Het verdient de aanbeveling om het ontwerp van een open bodemenergiesysteem of combinatieconcept niet alleen te richten op de energievraag, het gebruik van de ondergrondse ruimte en mogelijke slimme combinaties met andere grondwaterfuncties. In dit ontwerp zullen tevens de impact op de bodemwaarden, het grondwatersysteem en ecosysteemdiensten opgenomen dienen te worden. Daarnaast is het advies om voorafgaand aan het toepassen van een combinatieconcept de afbraakpotentie van het projectgebied te inventariseren door onderzoek te doen naar de mogelijkheden tot natuurlijke afbraak en de mogelijkheden om deze afbraak actief te stimuleren. Hierdoor zal er een duurzaam geheel ontstaan waarin bodemenergiesystemen en andere grondwaterfuncties optimaal kunnen blijven functioneren en verontreinigingen met VOCl binnen de systeemgrenzen van het projectgebied blijven. Het opstellen van een conceptueel model draagt bij aan de vormgeving van het project.

Omdat de opslagcapaciteit van de ondergrond zal afnemen bij elk open bodemenergiesysteem dat gerealiseerd wordt, is het noodzakelijk om vergunningaanvragen goed af te stemmen op de energievraag en het daadwerkelijke debiet van het systeem. Hierdoor zal de ondergrondse ruimte zo effectief mogelijk benut kunnen worden voor bodemenergiesystemen en andere ondergrondse functies.

Bij combinatieconcepten zal er bij aanvang duidelijk moeten zijn wat de leidende factor is, de sanering of het open bodemenergiesysteem. Alleen dan zal er een voldoende rendement kunnen ontstaan voor het leidende systeem.

Bij de installatie van combinatieconcepten zal extra aandacht gegeven dienen te worden aan het doorboren van scheidende lagen. Bij een degelijk herstel van deze lagen zal de kans op putverstopping door menging van verschillende kwaliteiten grondwater en ongecontroleerde verspreiding van verontreinigingen afnemen. Ongecontroleerde verspreiding van zaklagen en de verontreiniging met VOCl kan tevens worden voorkomen door de bronnen van open bodemenergiesystemen niet in, of te dicht bij, de bronzone van de verontreiniging te plaatsen. Putverstopping kan tevens worden voorkomen door bij het toedienen van hulpstoffen aan het combinatieconcept om de afbraak van verontreinigingen met VOCl te stimuleren rekening te houden met het soort hulpstof en de plaats waar deze hulpstoffen worden toegediend.

Om open bodemenergiesystemen en combinatieconcepten goed te laten functioneren is een goed beheer noodzakelijk. Dit leidt tot een goed energetisch rendement, balansbeheersing en het juiste ondergrondse ruimtebeslag.

Bestaande combinatieconcepten zullen als onderzoek- en informatiecentra moeten dienen om invloeden van de open bodemenergiesystemen op de afbraak van verontreinigingen met VOCl en ecosysteemdiensten van de ondergrond en het grondwater nader te bepalen. Niet alleen kan er dan tijdig bijgestuurd worden als er een ongecontroleerde vrachtverplaatsing ontstaat, maar dit kan tevens van grote waarde zijn voor andere en toekomstige combinatieconcepten.

Verontreinigingen met VOCl in de diepere ondergrond en in het grondwater zouden geen beperking moeten vormen voor ondergrondse ontwikkelingen door middel van open bodemenergiesystemen, juist de mogelijkheden hiervan zullen benadrukt moeten worden.

Door middel van dit onderzoek is getracht om de kansen en knelpunten die er zijn bij initiatieven voor gebruik van bodemenergie op locaties waar verontreinigingen met VOCl aanwezig zijn worden door middel van het stroomschema uit bijlage 1 op een overzichtelijke manier aan te reiken aan adviesbureaus, projectontwikkelaars en overheden. Door middel van het gebruik van dit stroomschema in combinatie met deze rapportage wordt kennis vergroot en het draagvlak voor de combinatieconcepten op het gebied van bodemenergie en bodemverontreinigingen versterkt.

Begrippenlijst

- AGGb – Adviescombinatie Gebiedsgericht Grondwaterbeheer. Vereniging van bedrijven Bioclear, Witteveen+Bos, 3Dimensies en TTE Consultants gespecialiseerd in advies en begeleiding gedurende het gehele traject van gebiedsgericht grondwaterbeheer.
- AMvB – Algemene maatregel van bestuur
- Aquifer – Watervoerende laag in de bodem.
- Aquitard – Scheidende laag in de bodem.
- Bodemwaarden – Waarden met betrekking tot de fysieke gesteldheid en kwaliteit van de bodem zoals bodemopbouw maar ook archeologische en aardkundige waarden, natuurwaarden en strategische grondwatervoorraden.
- BRL – Beoordelingsrichtlijn. Hierin worden technische en organisatorische eisen beschreven waar organisaties en producten aan moeten voldoen om in aanmerking te komen voor een certificaat.
- BUM – Besluitvoerings Uitvoerings Methode bodemenergie.
- CIS – cis-dichlooretheen (cis-DCE) afbraakproduct VOCl
- CityChlor – Europees onderzoeksproject voor een geïntegreerde aanpak van verontreinigingen met VOCl in stedelijk gebied.
- DHC – Dehalococcoides. Bacterie die positief effect heeft op de afbraak van VOCl.
- DNAPL – Dense Non-Aqueous Phase Liquid ,zie zaklagen.
- GWh – Gigawattuur. Komt overeen met 1 miljoen Kilowattuur (KWh).
- Halfwaardetijd – De tijd waarna er van een oorspronkelijke hoeveelheid stof nog de helft over is.
- HUM – Handhavings Uitvoerings Methode bodemenergie.
- Interreg – Europese subsidieregeling voor innovatieve en duurzame projecten die Europa sterker maken.
- ISCO – In Situ Chemische Oxidatie
- Isotopen – Atomen van hetzelfde chemisch element. Het aantal protonen is gelijk maar het aantal neutronen verschilt. Het aantal neutronen bepaalt de stabiliteit van de kern.
- m.e.r. – Milieu effect rapportage.
- Putverstopping – Ook wel bronverstopping genoemd. Het neerslaan van stoffen door chemische en /of biologische reacties. Kan ontstaan door toedienen van hulpstoffen en door menging van verschillende watertypen.
- RUD – Regionale Uitvoerings Dienst.
- SIKB – Stichting Infrastructuur Kwaliteitsborging Bodembeheer.
- SKB – Stichting Kennisontwikkeling en Kennisoverdracht Bodem.
- SPF – Seasonal Performance Factor
- Participanten – Belanghebbenden
- VC – Vinylchloride, afbraakproduct van VOCl
- VOCl – Vluchtige OrganoChloor-verbindingen, ofwel vluchtige alifatische chloorkoolwaterstoffen.
- WION – Wet Informatieuitwisseling Ondergrondse Netten
- WKO – Warmte Koude Opslag, in dit onderzoek worden open bodemenergiesystemen ook hiermee aangeduid.
- Zaklagen – (DNAPL) Worden gevormd door mobiel puur product van verbindingen met een hogere dichtheid dan water op een slecht doorlatende bodemlaag onder de grondwaterspiegel.

Literatuurlijst

- AMvB Bodemenergie, (2013), Besluit van 25 maart 2013 tot wijziging van een aantal algemene maatregelen van bestuur in verband met regels inzake bodemenergiesystemen en enkele technische verbeteringen, Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden, Jaargang 2013, 112.
- bioclear.nl, geraadpleegd op 25-10-2015 op: <http://www.bioclear.nl/nl/diensten/bodem-water/biologische-saneringen/saneringen/biologische-afbraak/tce-concept.html> .
- Bloemendal, M., Olsthoorn, T., Boons, F. (2014). How to achieve optimal and Sustainable use of the subsurface for Aquifer Thermal Energy Storage. *Energy Policy*, 66, 104-114.
- bodemenergie.nl, geraadpleegd op 13-10-2015 op:
<http://www.bodemenergie.nl/Bodemenergie/Opslagconcepten>.
- bodemrichtlijn.nl-1, geraadpleegd op 25-10-2015 op:
<http://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bodemsaneringstechnieken/b-in-situ-reiniging/b1-algemene-aspecten-in-situ-reiniging/in-situ-sanering-verwijdering-door-fysische-processen>.
- bodemrichtlijn.nl-2, geraadpleegd op 25-10-2015 op:
<http://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bodemsaneringstechnieken/b-in-situ-reiniging/b3-chemische-technieken/b3-1-in-situ-chemische-oxidatie-isco/in-situ-chemische-oxidatie-principe-van-de-techniek-oxidatiemidd8516>
- Bruggeling, M., (2015). Effect of additional active remediation of Volatile Chlorinated Hydrocarbons in combination with an Aquifer Thermal Energy Storage system: A case study on Sanergy at Strijp-S, Eindhoven, the Netherlands. Master thesis. Faculty of Geosciences Theses, Utrecht.
- CBS, geraadpleegd op 25-10-2015 op: <http://www.cbs.nl/nl-NL/menu/themas/industrie-energie/publicaties/artikelen/archief/2015/gebruik-van-warmte-uit-bodem-in-5-jaar-verdubbeld.htm>.
- Circulaire bodemsanering per 1 juli 2013, Staatscourant Nr. 16675.
- CityChlor, (2013). Success Factors for an Integrated Approach – Sustainable urban development including contaminated soils: how to successfully build bridges between different ambitions. TAUW
- DWA, IF, (2102). *Onderzoek criteria energiebalans WKO*. Eindrapportage in opdracht van Stichting Kennisontwikkeling en Kennisoverdracht Bodem (SKB), Gouda.
- 2015Eneco, (2013). *Veranderingen in ons energielandschap*. Alphen a/d Rijn: Kluwer.
- Friis, A.K., (2006). The potential for reductive dechlorination after thermal treatment of TCE-contaminated aquifers. Institute of Environment & Resources, ISBN 87-91855-01-2.
- gtbv.nl, geraadpleegd op 25-10-2015 op:
<http://www.gtbv.nl/images/stories/factsheets/NL/VOCI%20sanering%20in%20Weesp.pdf>
- Handreiking masterplannen bodemenergie, (2011). Gouda: SKB duurzame ontwikkeling ondergrond.
- Henry, S.M., Hardcastle,, C.H., and Warner, S.D., (2003). Chlorinated solvent and DNAPL remediation: An overview of physical, chemical and biological processes.
- installect.nl, geraadpleegd op 10-11-2015 op: http://www.installect.nl/pg-26571-7-62314/pagina/innovatie_-_wko_voor_datacenters.html
- Kremers, G.J., (2015). Paragraaf 3b van hoofdstuk IV Wbb: Op weg naar een integrale aanpak van grootschalige grondwaterverontreiniging. *TBR – Tijdschrift voor Bouwrecht*, 2015/110, 651-660.
- Kwrwater.nl, geraadpleegd op 05-12-2015 op: <http://www.kwrwater.nl/WKO-systemen/>
- LGR – Landelijk Grondwater Register.
- Lijzen et al, (2015). Ecosystem services of the groundwater and the subsurface: Filling the knowledge gap, geraadpleegd op 22-11-2015 op: <http://kennisonline.deltares.nl/34/m/search/products.html?qtype=1&q=filling+the+knowledge+gap>.

Meer met Bodemenergie (MMB9), (2012). *Effecten op sanering – Effecten van bodemenergiesystemen bij inzet bodemsanering - resultaatmetingen op pilot locaties en in labtesten*. Gouda: SBK duurzame ontwikkeling ondergrond.

Meer met Bodemenergie (MMB10), (2012). *Mogelijkheden voor combinatie van WKO met bodemsanering – Overzicht van technieken en nieuwe mogelijkheden*. Gouda: SKB duurzame ontwikkeling ondergrond.

Meer met Bodemenergie (MMB11), (2012). *Gebiedsgericht grondwaterbeheer – Inpassing van bodemenergie in gebiedsgrondwaterbeheer – kansen en aandachtspunten*. Gouda: SKB duurzame ontwikkeling ondergrond.

Meijden, van der A., (2014). Cursus Bodemsanering, Les 1 blok 1, sheet 3, Hogeschool Utrecht.

NVOE, (2010). Nederlandse Vereniging voor Ondergrondse Energieopslag. *Handleiding BOEG, Bodemenergie en grondwaterverontreiniging, Het ijs gebroken.*'s-Hertogenbosch: ARCADIS NEDERLAND BV.

Project Warmteatlas, Agentschap NL, geraadpleegd op 17-11-2015 op:
<http://agentschapnl.kaartenbalie.nl/gisviewer/viewer.do?code=0f2d31b5cee824a43bf2ad238f41d101> rvo.nl, geraadpleegd op 05-10-2015 op: <http://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/duurzame-energie-opwekken/bodemenergie/aardwarmte>.

rwsleefomgeving.nl-1, geraadpleegd op 05-10-2015 op:
<http://www.rwsleefomgeving.nl/onderwerpen/bodem-ondergrond/bodemenergie/bodemenergie/>.

rwsleefomgeving.nl-2, geraadpleegd op 04-10-2015 op:
<http://www.rwsleefomgeving.nl/onderwerpen/bodem-ondergrond/bodemenergie/vragen/bodemenergie-5/faq/opdrachtgever/>.

sikb.nl, geraadpleegd op 05-10-2015 op: <http://www.sikb.nl/2822>.

SKB-cahier, (2008). *VOCl, Vluchtige chloorkoolwaterstoffen in de bodem*. Rijswijk: Quantas.

SKB-cahier, (2012). *Meer met bodemenergie*. Pijnacker: Grafia.

SKB-cahier, (2013). *Bodemenergie, warm aanbevolen*. Pijnacker: Grafia.

SKB-cahier, (2014). *Gebiedsgericht grondwaterbeheer*. Pijnacker: Grafia.

soilpedia.nl-1, geraadpleegd op 25-10-2015 op: <http://soilpedia.nl/Wikipaginas/Extractieve-saneringstechnieken-VOCl.aspx>

soilpedia.nl-2, geraadpleegd op 27-10-2015 op: <http://soilpedia.nl/Wikipaginas/principe-van-in-situ-gestimuleerde-biologische-afbraak.aspx>

Taskforce WKO, 2009. *Groen Licht Voor Bodemenergie*. Rapportage van ministerie van VROM, Den Haag.

TCB S045, (2009). Technische Commissie Bodem. *Advies duurzaam gebruik bodem voor warmte-koudeopslag*. In opdracht van ministerie van VROM, Den Haag.

vng.nl, geraadpleegd op 06-12-2105 op:
https://vng.nl/files/vng/vng/Documenten/Extranet/Milieu/20101019-TTE-Pionieren_ondergrond-kb.pdf wettenoverheid.nl, geraadpleegd op 04-10-2015 op:
http://wetten.overheid.nl/BWBR0006788/volledig/geldigheidsdatum_09-09-2014#Bijlage.

Wijzigingsbesluit bodemenergiesystemen. (2012). AMvB, publicatie Staatscourant – WBBe defstb-2013-112. Ministerie van Infrastructuur en Milieu.

Zuurbier, K.G., Hartog, N., Valstar, J., Post, V.E.A., Breukelen, van, B.M. (2013). The impact of low-temperature seasonal aquifer thermal energy storage (SATES) systems on chlorinated solvent contaminated groundwater: Modeling of spreading and degradation. *Journal of Contaminant Hydrology*, 147, 1-13.

Bijlagen

1 Stroomschema

Aantal pagina's: 5 (inclusief legenda)