



Meer met Bodemenergie

Koppeling met beleid

Koppeling
onderzoekresultaten MMB
met beleidsaspecten

Rapport 1 – Koppeling met beleid

Koppeling onderzoeksresultaten MMB met beleidsaspecten

Eindrapport

Colofon

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

Opdrachtgever

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

Auteurs

Marloes Luitwieler, Bioclear
Diane van Beek, IF Technology
Sanne de Boer, IF Technology
Marc Koenders, IF Technology

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

Eric van Griensven, Brabant Water
Reinder Slager, gemeente Zwolle
Aat Dijkshoorn, Productschap Tuinbouw
Suzanne Buil van den Bos, provincie Gelderland
Monique Buiting, provincie Groningen
Daphne Bücken, provincie Limburg
René van Elswijk, provincie Utrecht
Peter Michielsen, provincie Zeeland
Charles van der Pijl, provincie Zuid-Holland
Jan Meijles, provincie Zuid-Holland
Patrick van Beelen, RIVM
Arno Peekel, SKB
Rob Eijnsink, Vewin

Datum

25 juni 2012

Goedgekeurd door de Technische Commissie Meer met Bodemenergie

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

Penvoerder

Marc Koenders, IF Technology

Secretariaat

Marion Hetterscheid, IF Technology

Website

www.meermetbodemenergie.nl

Copyright © cover Identim 2012

© MMB 2012

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

Participanten

Agentschap NL / Bodem+
Arcadis
Brabant Water - Hydreco
Eneco
Essent
gemeente Almelo
gemeente Amersfoort
gemeente Apeldoorn
gemeente Den Bosch
gemeente Deventer
gemeente Haarlem
gemeente Hengelo
gemeente Tilburg
gemeente Utrecht
gemeente Zwolle
Havenbedrijf Rotterdam
NVOE
Productschap Tuinbouw
provincie Drenthe
provincie Flevoland
provincie Friesland
provincie Gelderland
provincie Groningen
provincie Limburg
provincie Noord-Brabant
provincie Noord-Holland
provincie Overijssel
provincie Utrecht
provincie Zeeland
provincie Zuid-Holland
SKB
Stichting Bodemsanering NS
Vewin
Vitens
Waterschap Groot Salland
Waterschap Regge en Dinkel

Samenvatting

Bodemenergie is een veel toegepaste techniek voor de duurzame klimatisering van gebouwen. De toepassing ervan wordt vanuit de overheid gestimuleerd, blijkt ook het Besluit Bodemenergie dat op 1 januari 2013 van kracht wordt. Het tweejarige onderzoeksprogramma Meer Met Bodemenergie (MMB) richt zich op het invullen van een aantal kennisleemtes ten aanzien van bodemenergie. Dit is gewenst vanuit de markt als overheidspartijen aangezien er nog een aantal onduidelijkheden aanwezig zijn met betrekking tot de effecten van de techniek op de ondergrond (bodem & grondwaterkwaliteit). Het project is ingericht in verschillende werkpakketten, waarvan Werkpakket 1 het overkoepelende deel is. Centraal in dit werkpakket staat de koppeling van de onderzoeksresultaten naar beleid.

Het onderzoek is uitgevoerd door vier partijen (Bioclear, Deltares, IF Technology en Wageningen University and Researchcentre (WUR)). Het project is gefinancierd door 35 participanten, bestaande uit overheids- en marktpartijen. De belangrijkste vragen waarop het onderzoeksprogramma MMB antwoord geeft zijn:

- *Welke effecten (hydrologisch, thermisch, microbiologisch en chemisch) treden op in het bodemsysteem bij toepassing van bodemenergie?*
- *Welke technische mogelijkheden zijn er voor het duurzaam inpassen van bodemenergie in de water- en energieketen? Is het mogelijk om meerdere doelstellingen tegelijk te verwezenlijken door slimme combinaties te maken?*

Tijdens werksessies met de participanten en onderzoekers zijn aan MMB gerelateerde beleidsthema's vastgesteld (tabel 0.1).

tabel 0.1 **Beleidsthema's gerelateerd aan MMB**

Beleidsthema	Relevantie
Infiltratietemperatuur	Momenteel is onvoldoende bekend wat de invloed is van de infiltratietemperatuur op de bodem- en grondwaterkwaliteit.
Combinatie open systemen en sanering	Momenteel belemmert de aanwezigheid van verontreinigingen de toepassing van open systemen, terwijl dit ook combinatiekansen biedt.
Energiebalans	De nut en noodzaak van de energiebalanseis is niet goed onderbouwd. Daarnaast worden de huidige eisen voor energiebalans in de praktijk vaak niet gehaald.
Interferentie open systemen	Op dit moment is onvoldoende kennis beschikbaar over de risico's van interferentie tussen open systemen onderling.

Ook is door de participanten aangegeven hoe de onderzoeksresultaten gebruikt kunnen worden voor beleidsontwikkeling. Hierin zijn drie stappen te onderscheiden:

1. Het advies kan bijdragen aan de ontwikkeling van gebieds- en functiegericht beleid, waardoor duurzaam gebruik van de ondergrond geborgd wordt (door overheid);
2. De onderzoeksresultaten dienen gebruikt te worden om het huidige beleidskader (Waterwet en Wet Bodembescherming) tegen het licht te houden (binnen MMB);
3. De onderzoeksresultaten dienen te leiden tot advies aan de overheid over de ontwikkeling van gebieds- en functiegericht beleid voor de ondergrond (binnen MMB).

Voor de onderzoeksresultaten wordt verwezen naar hoofdstukken 3 t/m 6 in dit rapport en de afzonderlijke onderzoeksrapporten. De vertaling van de onderzoeksresultaten naar beleidsontwikkeling is ingedeeld per beleidsthema.

Infiltratietemperatuur

In de provinciale verordeningen wordt voor open systemen een maximale infiltratietemperatuur van 25 °C gehanteerd. Uitzondering hierop is de provincie Zuid-Holland, zij hanteert een maximale infiltratietemperatuur van 30 °C. In het nieuwe Besluit Bodemenergie wordt de optie geboden om beargumenteerd af te wijken.

Voor open bodemenergiesystemen die worden toegepast in de woningbouw en utiliteit voldoet het huidige beleid (maximale infiltratietemperatuur van 25 °C) momenteel. Echter, in bijvoorbeeld de industrie en tuinbouw moet binnen het huidige beleidskader veel warmte vernietigd worden. In gebieden waar veel restwarmte en/of tuinbouw aanwezig is, is afwijken van deze maximale infiltratietemperatuur (en de provinciale verordening) daarom vanuit het energie oogpunt gewenst. De nieuwe AMvB Bodemenergie voorziet hier dus in.

Uit de meetdata gepresenteerd in het rapport 3/4 blijkt dat op de locatie met infiltratietemperaturen < 30°C veranderingen in waterkwaliteit worden gemeten, maar dat deze vermoedelijk vooral het gevolg zijn van menging van verticaal gestratificeerde aquifers. De effecten van menging zijn in dit temperatuurbereik groter dan de effecten van alleen de temperatuur. Mogelijke worden de directe temperatuurseffecten door de menging gemaskeerd. Dit is een goede rechtvaardiging om veldonderzoek aan te vullen met laboratoriumonderzoek. Kolomproeven die zijn uitgevoerd door KWR/VU geven aan dat bij het opwarmen van het grondwater van 11 °C naar 25 °C en 60 °C organische stof wordt gemobiliseerd en arseen vrijkomt. De mobilisatie van organische stof is bij 25 °C zeer gering en bij 60 °C significant, hetgeen consistent is met het de labproeven die binnen MMB zijn uitgevoerd en de resultaten van eerder uitgevoerd onderzoek (Brons et al., 1991). Als verklaring voor de mobilisatie van arseen in de labproeven van KWR/VU wordt desorptie van ijzerhydroxiden gegeven. Bij de veldmetingen die binnen MMB zijn uitgevoerd bij projecten met hogere opslagtemperaturen is geen mobilisatie van arseen geconstateerd, met uitzondering van de locatie Zwammerdam. Bij de hoge temperatuuropslag van Zwammerdam is echter waterbehandeling met zoutzuur toegepast, wat binnen MMB als vermoedelijke verklaring voor de mobilisatie van arseen is aangehouden. Het is echter niet uitgesloten dat hierbij ook de hoge temperatuur uit het verleden (in de warme bron > 80 °C geweest) een rol heeft gespeeld.

De resultaten van het onderzoek van MMB en KWR/VU komen op hoofdlijnen overeen. In veldmetingen zijn tot 20 graden vooral effecten van menging te zien. Uit de kolomproeven uitgevoerd bij KWR blijkt sulfaatreductie in het gehele traject 5 - 60 graden sterk temperatuurafhankelijk (proeven uitgevoerd bij 5, 12, 25 en 60 °C). Dit duidt op temperatuurafhankelijkheid van microbiologische activiteit. Bij 25 graden is tevens een verhoging in As waarden gemeten. Vermoedelijk het resultaat van een veranderend evenwicht met ijzerhydroxiden, een proces dat ook in internationale literatuur wordt beschreven en dat ook voor andere elementen die aan ijzerhydroxiden binden te verwachten is. Dit proces zal dan beperkt zijn tot de warme bel, als het water weer afkoelt kan een deel van het arseen vermoedelijk weer gebonden worden. KWR/VU is voornemens om nog proeven uit te voeren om dit aspect nader te onderzoeken. Mogelijk is dat tevens de verklaring voor de verschillen tussen de labproeven van KWR/VU (mobilisatie van arseen) en de resultaten van de veldmetingen van MMB (niet/nauwelijks mobilisatie van arseen gevonden). Als dat het geval is dan treedt dit effect vooral bij aanvang op.

Indien geen kwetsbare functies binnen het grondwater aanwezig zijn, rechtvaardigen de resultaten van MMB de afweging van aanvullend beleid. Wij bevelen daarom aan dat provincies de pilot-optie op gebiedsniveau invullen. Dit houdt in dat zij a) gebieden binnen hun provincie aanwijzen waar afwijken mogelijk is, en b) randvoorwaarden opstellen die binnen deze gebieden gelden. Dit kan een snellere doorloop van deze aanpak betekenen terwijl de huidige leemten in kennis via de pilot kunnen worden ingevuld.

Open systemen en sanering

Er bestaat behoefte aan projecten waarbij open systemen en sanering van vervuild grondwater gecombineerd worden. Dit mede ingegeven door stagnatie in zowel sanering van grondwaterverontreinigingen als stagnatie in gebiedsontwikkeling (financieel, veelal stadscentra). Een vraag die hierbij naar voren komt is welk combinatieconcept hierbij het beste kan worden toegepast. Daarnaast is er onvoldoende inzicht in de daadwerkelijke saneringsbijdrage van een open systeem bij een bodemsaneringsproject. Deze twee onderwerpen zijn in MMB onderzocht.

Uit MMB blijkt dat er aanwijzingen zijn dat de afbraakcondities kunnen worden verbeterd door toepassing van open systemen. Vooral menging en verdunning lijken hier een bijdrage aan te leveren. Het is niet bekend of deze verbeterde afbraakcondities zullen resulteren in een toename van de afbraak en of deze effecten ook op de lange termijn in stand blijven. Ook is niet te zeggen in hoeverre deze effecten representatief zijn voor andere locaties/andere omstandigheden. Doorzetten van de metingen is daarom noodzakelijk. De menging en verdunning suggereren een toename van de verspreiding van de verontreiniging naar de omgeving (horizontale richting) en/of in de diepte (verticale richting). Verspreiding van verontreinigingen naar de omgeving kan worden verminderd door het slim positioneren van open systemen (voorbeeld Strijp-S).

Op dit moment kunnen nog geen algemene stelregels worden gegeven in welke situatie en onder welke omstandigheden open systemen een sanerende werking hebben en hoe groot deze sanerende werking kan zijn. Deze sanerende werking zal locatiespecifiek onderzocht moeten worden door onder andere het bepalen van het biodegradatiepotentieel (aanwezigheid benodigde bacteriën, redoxcondities, aanwezigheid elektrondonor/elektronacceptor) en de grondwaterstroming.

In het algemeen geldt dat van de verschillende systemen het recirculatiesysteem het meest geschikt is om een verontreiniging te beheersen. Indien hulpstoffen aan het systeem worden toegevoegd is een recirculatiesysteem of een energetisch gunstiger triplet het meest geschikt vanwege de grotere voorspelbaarheid van de stroombanen. Het triplet heeft als bijkomend voordeel dat de relatief gelijkmatige stromingspatronen gecombineerd worden met een 'warme bel' waarin de natuurlijke afbraak mogelijk gestimuleerd wordt.

Het huidige wettelijke kader waarbinnen de combinatie van sanering met open systemen valt, is de Wet bodembescherming (Wbb). De Wbb wordt momenteel aangepast en biedt dan expliciet ruimte voor een gebiedsgerichte aanpak van grootschalige verontreinigingen. De gebiedsgerichte aanpak biedt goede kansen om op een verantwoorde manier om te gaan met de combinatie verontreiniging en open systemen. Dit biedt kansen omdat gebiedsgericht beheer aanvullende ruimte biedt voor de invulling van hoe een (eventueel) gewenste kwaliteitsverbetering tot stand kan worden gebracht in een groter gebied. Kansen ook doordat bij gebiedsgericht grondwaterbeheer een bredere toepassing van waterstromen wordt bekeken én een integratie en afweging van meerdere aspecten (op verschillende niveaus) plaatsvindt. In de praktijk worden nu nog veel vergunningen voor open systemen geweigerd vanwege de kans dat een verontreiniging wordt verplaatst. Hiermee wordt energiebesparing en CO₂-emissiereductie geblokkeerd. Momenteel wordt hard gewerkt aan het stimuleren en faciliteren van gebiedsgericht grondwaterbeheer, waardoor beter maatwerk kan worden toegepast. Wij raden aan om kennis en ervaring die wordt opgedaan op het gebied van gebiedsgericht grondwaterbeheer actief te delen met alle relevante partijen. Bijvoorbeeld door continuering van de communicatiestructuur die binnen MMB is opgericht.

Energiebalans

Het onderwerp 'energiebalans' maakt geen deel uit van het oorspronkelijke projectplan van Meer Met Bodemenergie. Echter, tijdens de werksessies voor werkpakket 1 is gebleken dat meer inzicht en kennis over dit onderwerp gewenst is. Daarom is dit beleidsaspect wel meegenomen. Voor een belangrijk deel is gebruik gemaakt van de resultaten van het "Onderzoek Criteria Energiebalans WKO".

Om een duurzaam ondergronds ruimtegebruik te waarborgen en te voorkomen dat de ondergrond structureel opwarmt of afkoelt, is het beleid om de hoeveelheid onttrokken koude en warmte binnen bepaalde marges met elkaar in evenwicht te laten zijn. Per provincie varieert de energiebalanseis van 15% afwijking in de eerste 5 jaar en 10% afwijking na 10 jaar tot een sluitende balans per twee jaar. In het Besluit Bodemenergie zal de energiebalans landelijk worden geüniformeerd.

Uit het “Onderzoek Criteria Energiebalans WKO” is gebleken dat de energiebalans slechts één van de factoren is die het ondergronds ruimtegebruik bepalen. De andere factoren die een rol spelen zijn het gebouwgebruik, de klimaatomstandigheden, de kwaliteit van het beheer en de grondwaterstroming. Daarnaast wordt geconcludeerd dat het corrigeren van de onbalans leidt tot een hoger energiegebruik wat de beoogde energiebesparing en emissiereductie vermindert en tegelijkertijd de kosten verhoogt. Tevens kan de balanseis tot gevolg hebben dat bodemenergie minder wordt ingezet. De grootste vraag wordt daarbij deels gedekt met behulp van conventionele installaties, zodat de netto vraag aan de ondergrond in balans is: dat is eenvoudiger te realiseren dan het volledig leveren van de warmte- en koudevraag met WKO in combinatie met regeneratie voor het herstellen van de energiebalans.

Omdat de borging van een energiebalans niet garandeert dat het beoogde doel, namelijk het waarborgen van een duurzaam ondergronds ruimtegebruik en het voorkomen van structurele opwarming of afkoeling van de ondergrond, wordt behaald en omdat een energiebalans installatietechnisch en financieel complex is, stellen wij voor om de huidige set van eisen opnieuw tegen het licht te houden.

Wij raden de betrokken partijen aan om op korte termijn aan tafel te gaan zitten om bovenstaande te bespreken. De discussie die speelt betreft de wijze waarop het ondergrondse ruimtegebruik voor bodemenergie en de eventuele effecten van de temperatuur het beste kunnen worden ingevuld. Deze discussie speelt ook in het Besluit Bodemenergie, waar nog invulling gegeven moet worden aan het ‘doelmatig gebruik’ van de ondergrond. Het doel is om te komen tot een set van voorschriften en parameters die leiden tot het gezamenlijke doel, namelijk het doelmatig gebruik van de bodem en het goed functioneren van systemen, zonder dat de ondergrond structureel opwarmt of afkoelt. We raden daarbij aan te denken buiten de huidige kaders. Het loslaten van de huidige eisen en het ontwikkelen van alternatieve eisen kan dus een mogelijkheid zijn.

Interferentie open systemen

Uit de diverse werksessies met participanten is gebleken dat verwacht wordt dat interferentie in drukke gebieden al optreedt of anders bij een (grote) groei van het aantal systemen zal optreden. Door beleidsmakers en beheerders van open systemen wordt interferentie als onwenselijk gezien indien dit leidt tot een verminderd rendement van de systemen zelf of tot vergroting van effecten op andere (kwetsbare) belangen. Om hier meer inzicht in te krijgen is in MMB onderzocht wat de invloed is van interfererende open systemen op elkaars rendement en op de omgeving.

Het MMB onderzoek wijst uit dat de rendementen van open systemen niet veel te leiden hoeven te hebben onder interferentie, zolang bij de vergunningaanvraag voldoende rekening is gehouden met de omliggende systemen. Sterker nog, wanneer de open systemen slim ten opzichte van elkaar gepositioneerd worden kunnen de rendementen worden verhoogd. Dit betekent dat, onder bepaalde fysieke voorwaarden (geschikte grondwaterstromingssnelheid en –richting en homogene bodemopbouw), systemen dicht bij elkaar gerealiseerd zouden kunnen worden. Daarnaast kan het periodiek heroverwegen van de vergunde waterhoeveelheid (naar aanleiding van de werkelijk verpompte waterhoeveelheid en toekomstige energiebehoefte) leiden tot het voorkomen van onnodige claims van de ondergrondse ruimte.

In gebieden waar een groot aantal systemen aanwezig is of verwacht wordt is extra aandacht nodig voor het voorkomen van interferentie. De huidige invulling van het Besluit Bodemenergie speelt hier al op in. Die geeft het bevoegd gezag namelijk de mogelijkheid om zogenaamde interferentiegebieden aan te wijzen. Voor deze interferentiegebieden kan aparte regelgeving opgesteld worden. Dit kan bijvoorbeeld door het opstellen van een masterplan bodemenergie. In de Handreiking Masterplannen Bodemenergie wordt beschreven hoe een masterplan opgesteld kan worden.

Ook buiten interferentiegebieden kan extra aandacht gaan naar bijvoorbeeld flexibiliteit en maatwerk voor bronpositionering, zoals het verkleinen van bronafstanden tussen de koude en warme bronnen. Daarnaast kan worden gestuurd op optimaal gebruik van bodemenergiesystemen. Ten aanzien van het vraagstuk interferentie en optimaal gebruik van de ondergrond worden de volgende acties geadviseerd:

1. Wijs drukke gebieden aan als interferentiegebied en ontwikkel hierbinnen aanvullend beleid.
2. Neem als bevoegd een actieve houding aan ten aanzien van het evalueren van de vergunningen Waterwet.
3. Voer nader onderzoek uit naar de daadwerkelijke interferentie. Doe dit op zowel thermische en hydrologisch maar ook financieel gebied. Aan de hand van deze informatie kunnen criteria worden opgesteld voor het beoordelen van interferentie: wanneer is sprake van interferentie en hoe dien je hiermee om te gaan?

Inhoudsopgave

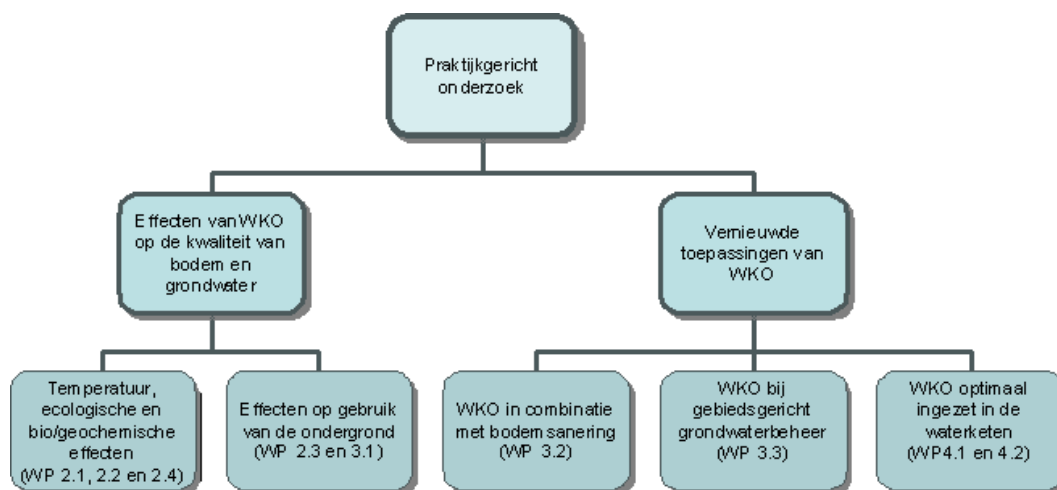
Samenvatting	4
1 Introductie.....	12
1.1 Waarom Meer Met Bodemenergie?	13
1.2 Rol participanten	14
1.3 Huidig beleidskader	15
1.3.1 Beleidsthema's	15
1.4 Leeswijzer	16
2 Werkzaamheden WP 1	17
2.1 Werkwijze/activiteiten	17
2.2 Toelichting werksessies.....	18
2.2.1 Werksessie 1 Inventarisatie	18
2.2.2 Werksessie 2 Gebieds- en functiegerichte benadering	18
2.2.3 Werksessie 3 Uitwerking gebieds- en functiegerichte benadering	19
2.2.4 Werksessie 4 Gebied- en functiegerichte benadering	19
3 Infiltratietemperatuur.....	21
3.1 Kader	21
3.2 Onderzoeksvragen	22
3.3 Resultaten.....	23
3.3.1 Natuurlijke variatie bodemtemperatuur	23
3.3.2 Meetresultaten uit praktijk en laboratorium	25
3.3.3 Modelleren temperatuureffecten	30
3.4 Beleid.....	31
3.4.1 Huidig beleidskader	31
3.4.2 Gewenste aanpassingen.....	32
3.4.3 Voor- en nadelen aanpassingen	33
3.5 Advies	33
4 Open systemen en sanering	36
4.1 Kader	36
4.2 Onderzoeksvragen	36
4.3 Resultaten.....	37
4.3.1 De (sanerende) effecten van open systemen	37
4.3.2 Technische aspecten op individueel niveau.....	40
4.3.3 Technische aspecten van gebiedsgericht grondwaterbeheer.....	41
4.4 Beleid.....	45
4.4.1 Huidig beleidskader	45
4.4.2 Aandachtspunten gebiedsgerichte benadering.....	46
4.4.3 Aandachtspunten gevalgerichte benadering.....	48
4.5 Advies	48
5 Energiebalans.....	50
5.1 Kader	50

5.2	Onderzoeksvragen	51
5.3	Resultaten onderzoek.....	52
5.3.1	Open systemen en de bovengrondse installatie	52
5.3.2	Open systemen en ondergronds ruimtegebruik	54
5.3.3	Autonome opwarming	56
5.4	Beleidskader	57
5.4.1	Huidige beleidskader	57
5.4.2	Gewenste aanpassingen.....	57
5.4.3	Afwegingen gewenste aanpassingen.....	58
5.5	Advies	59
6	Interferentie open systemen.....	61
6.1	Kader	61
6.2	Onderzoeksvragen	62
6.3	Resultaten.....	63
6.4	Beleid.....	64
6.4.1	Huidig beleidskader	64
6.4.2	Mogelijke aanpassingen.....	65
6.4.3	Voor- en nadelen aanpassingen	66
6.5	Advies	66
7	Hoe nu verder?	68
7.1	Infiltratietemperatuur.....	68
7.2	Open systemen en saneren.....	69
7.3	Energiebalans.....	70
7.4	Interferentie.....	70
7.5	Evaluatie consortium MMB	71
	Literatuur	73
	Bijlage I Overzicht Participanten	LXXV
	Bijlage II Beleidsthema's werksessie 8 februari 2011.....	LXXVII

1 Introductie

Bodemenergie¹ is een techniek die al meer dan 20 jaar wordt toegepast in Nederland. Bodemenergie is onder te verdelen in open systemen (ook wel koude-/warmteopslag (KWO, WKO) genoemd) en gesloten systemen (bodewarmtewisselaars (BWW)). Met behulp van bodemenergie kunnen gebouwen (bijvoorbeeld kantoren, woningen, kassen) op duurzame wijze gekoeld en verwarmd worden. De effecten van bodemenergie op de omgeving zijn op hoofdlijnen bekend, maar er zijn ook een aantal kennisleemtes. Daarnaast biedt de toepassing van bodemenergie ook kansen bij combinatie met andere toepassingen.

Het project Meer Met Bodemenergie (MMB) richt zich op het invullen van een aantal van deze kennisleemtes en mogelijke kansen ten aanzien van open systemen. Het project is ingericht met verschillende werkpakketten. In figuur 1.1 zijn deze werkpakketten weergegeven. Elk werkpakket behandelt een ander vraagstuk. In werkpakket 2 worden de effecten van individuele en collectieve bodemenergiesystemen op de ondergrond en de omgeving onderzocht, in werkpakket 3 worden de kansen voor bodemenergie en bodemsanering onderzocht en in werkpakket 4 worden nieuwe duurzame combinaties van KWO met andere functies verkend.



figuur 1.1 Samenhang tussen onderzoeksvragen en werkpakketten

¹ Bodemenergie is een term die wordt gebruikt voor alle mogelijke vormen van energie opslaan en onttrekken aan de bodem. Dit zijn energieopslag, maar ook geothermie en hogetemperatuuropslag. In de context van dit onderzoek wordt de term bodemenergie gebruikt voor energieopslag.

Werkpakket 1 is het overkoepelende deel waarin communicatie, beleid en participatie van deelnemers van MMB centraal staat. Voor u ligt de eindrapportage van werkpakket 1 van MMB. Het doel van de eindrapportage van WP1 is:

- de lezer te informeren over de activiteiten die hebben plaatsgevonden in het kader van werkpakket 1;
- het integraal bespreken van de resultaten uit de andere werkpakketten in het licht van vier geselecteerde beleidskaders;
- daar waar mogelijk een doorkijk geven naar toekomstige beleid.

1.1 Waarom Meer Met Bodemenergie?

Het onderzoeksproject MMB is een tweejarig onderzoeksprogramma dat zich richt op de langetermijneffecten van bodemenergie en op de kansen voor verdere duurzame toepassing van bodemenergie. Op dit moment wordt bodemenergie veel toegepast. Bovendien wordt de toepassing van bodemenergie vanuit de overheid gestimuleerd (zie www.taskforcebodemenergie.nl).

Vier partijen te weten Bioclear, Deltares, IF Technology en WUR, hebben de handen ineengeslagen om openstaande onderzoeksvragen te beantwoorden en hiermee handvatten aan te kunnen reiken voor verdere beleidsontwikkeling. De onderzoeksbehoefte was groot, gezien aantal bijdragende participanten.

De belangrijkste vragen waarop het onderzoeksprogramma MMB antwoord geeft zijn:

- Welke effecten (hydrologisch, thermisch, microbiologisch en chemisch) treden op in het bodemsysteem bij toepassing van bodemenergie?
- Welke technische mogelijkheden zijn er voor het duurzaam inpassen van bodemenergie in de water- en energieketen? Is het mogelijk om meerdere doelstellingen tegelijk te verwezenlijken door slimme combinaties te maken (combinaties met bodemsanering, maatregelen tegen wateroverlast of het reduceren van de thermische belasting van oppervlaktewater)?

Voor het beantwoorden van bovenstaande vragen is bureauonderzoek gedaan (bv. literatuurstudie en modellering) en zijn metingen uitgevoerd bij negen bestaande bodemenergieprojecten. Aanvullend hierop is ook laboratoriumonderzoek uitgevoerd. Het meten van de effecten van bestaande systemen en het uitvoeren van het laboratoriumonderzoek heeft plaatsgevonden in werkpakket 2 en 3. Voor een uitgebreide beschrijving van het onderzoek en de resultaten wordt verwezen naar de eindrapportages van het onderzoeksprogramma.

Wanneer de vier werkpakketten aangehouden zouden worden, zouden de rapporten te omvangrijk worden. Derhalve is gekozen om per onderwerp (effecten/sanering) en onderdeel (praktijkmetingen/labtesten/modellering) een rapportage op te stellen. Dit heeft geresulteerd in 12 deelrapporten. In tabel 1.1 is het complete overzicht van de eindrapportages opgenomen. In deze tabel is ook aangegeven onder welk werkpakket het betreffende rapport valt.

tabel 1.1 Overzicht eindrapporten Meer Met Bodemenergie

nr.	Rapport naam	Werkpakket			
		1	2	3	4
1	Koppeling met beleid - Koppeling onderzoeksresultaten MMB met beleidsaspecten.	X			
2	Literatuuronderzoek - Overzicht van kennis en onderzoeksvragen rondom bodemenergie.		X	X	X
3 & 4	Effecten op de ondergrond - Effecten van bodemenergiesystemen op de geochemie en biologie in praktijk. Resultaat metingen op pilotlocaties en labtesten.		X	X	
5	Modellering systemen - Effecten van bodemenergiesystemen op hun omgeving. Modellering individuele projecten.		X	X	
6	Hogetemperatuurwarmteopslag - Kennisoverzicht en praktijkmetingen rondom hogetemperatuurwarmteopslagsystemen		X		
7	Interferentie - Effecten van bodemenergiesystemen op hun omgeving – modellering grootschalige inpassing in stedelijke gebieden.		X	X	
8	Autonome opwarming - Autonome ontwikkeling bodemtemperatuur.		X		
9	Effecten op sanering - Effecten van bodemenergiesystemen bij inzet bodemsanering - resultaat metingen op pilotlocaties en in labtesten.			X	
10	Combiconcepten en sanering - Combinatieconcepten bodemenergiesystemen en bodemsanering: overzicht van technieken en nieuwe mogelijkheden.			X	
11	Gebiedsgericht grondwaterbeheer - Inpassing van bodemenergie in gebiedsgerichtgrondwaterbeheer - kansen en aandachtspunten.			X	
12	Combinatie met de waterketen - Nieuwe toepassingen van bodemenergie bij combinatieconcepten in de waterketen.				X

1.2 Rol participanten

Het project is gefinancierd door 35 participanten (zie bijlage 1). De participanten bestaan uit zowel overheidspartijen (het rijk, gemeentes, waterschappen en provincies) als marktpartijen (waterleidingbedrijven, energiebedrijven, adviesbureaus, SKB en de NVOE). Dit illustreert dat de behoefte aan meer inzicht in de effecten en mogelijkheden van bodemenergie groot is.

De participanten hebben een grote rol binnen het project. Ze hebben een inhoudelijke en actieve rol ten aanzien van onderzoeksvraagstukken en de resultaten. Op een aantal vastgestelde momenten (halfjaarlijkse klankbordbijeenkomst) hebben de participanten kunnen reageren op de onderzoeksresultaten en de voortgang van het project. Daarnaast heeft binnen werkpakket 1 drie keer een inhoudelijke werksessie plaatsgevonden. Tijdens deze werksessies is mede bepaald op welke wijze de onderzoeksresultaten kunnen worden gekoppeld met het beleid.

1.3 Huidig beleidskader

Zoals aangegeven in paragraaf 1.1 wil de landelijke overheid de duurzame toepassing van bodemenergie stimuleren. Daarnaast blijkt dat initiatiefnemers van bodemenergie en overheden in de praktijk te maken hebben met een aantal beleidsvraagstukken, namelijk:

- beleid m.b.t. de aanleg en het beheer van bodemenergiesystemen;
- beleid m.b.t. het combineren van bodemenergie met sanering;
- beleid m.b.t. het combineren van nieuwe technieken (innovatie).

Eenzijds wil de overheid dus de toepassing van bodemenergie stimuleren, aan de andere kant hebben overheden ook de taak om de ondergrond nu en voor de toekomst beschermen. Dit is opgedragen via de Wet Bodembescherming en de Waterwet.

Omdat het inzicht in de effecten van bodemenergie nog niet volledig is, is in 2009 gestart met het opstellen van het onderzoeksprogramma Meer Met Bodemenergie. Dat de opzet van het onderzoeksprogramma aansloot bij de behoeften van verschillende organisaties, blijkt uit de diversiteit van de participanten: zowel beheerders, beschermers als gebruikers van de bodem participeren in het onderzoek.

De gedachte achter het onderzoeksprogramma MMB is dat de resultaten uit het onderzoek breed gedragen worden. Hiermee wordt bereikt dat de resultaten van het onderzoek kunnen worden gebruikt als bouwstenen voor het ontwikkelen van toekomstig beleid. Het onderzoeksplan (Meer met Bodemenergie, 2009) is daarom bij de start van het onderzoek besproken en aangescherpt samen met de participanten.

Voor het advies in dit rapport geldt dat deze in samenwerking met de participanten is opgesteld. Zij hebben vanuit de praktijk aangegeven met welke invulling van beleidsaspecten men op dit moment moeite heeft.

1.3.1 Beleidsthema's

De inhoudelijke verwerking van de onderzoeksresultaten van MMB is uitgevoerd aan de hand van een viertal beleidsthema's, te weten:

- Infiltratietemperatuur;
- Combinatie KWO & sanering;
- Energiebalans;
- Interferentie tussen open systemen.

Deze vier thema's sluiten bij aan de onderwerpen die door de participanten zijn benoemd in de eerste werksessie.

1.4 Leeswijzer

Het voorliggende rapport is als volgt opgebouwd:

In hoofdstuk 2 is beschreven hoe de deelname van de participanten is vormgegeven. De resultaten van de verschillende werksessies worden hier besproken. Daarnaast is in dit hoofdstuk ook besproken welke beleidsthema's op dit moment het belangrijkst zijn voor markt- en overheidspartijen.

In de hoofdstukken 3 t/m 6 worden vervolgens de vier belangrijkste beleidsthema's besproken. Per hoofdstuk wordt het kader geschetst, de relevante onderzoeksresultaten benoemd en het huidige beleidskader beschouwd. Daarna is beschreven welke aanpassingen gewenst zijn.

In het laatste hoofdstuk (hoofdstuk 7) wordt vervolgens de vraag beantwoord 'hoe kunnen we verder met de resultaten van MMB?'. En wat zijn bijvoorbeeld nog de openstaande onderzoeksvragen.

2 Werkzaamheden WP 1

Participatie en vertaling naar beleid zijn de twee aspecten die centraal staan in werkpakket 1 van MMB. Hoe zijn deze twee onderdelen vormgegeven? In dit hoofdstuk is de aanpak voor werkpakket 1 toegelicht. Allereerst wordt in paragraaf 2.1 ingegaan op het proces gedurende de 2 jaar looptijd van het project. Vervolgens beschrijven de paragrafen 2.2 t/m 2.4 specifiek de resultaten van de werksessies met participanten.

2.1 Werkwijze/activiteiten

Voor de invulling van werkpakket 1 is gebruik gemaakt van werksessies en de klankbordbijeenkomsten. De klankbordbijeenkomsten vonden 2 x per jaar plaats. Deze bijeenkomsten gaven de onderzoekers en participanten de mogelijkheid om gezamenlijk de voortgang en onderzoeksresultaten van MMB te evalueren. De werksessies waren kleinschaliger van karakter. Hierdoor was een interactieve dialoog tussen participanten en onderzoekers mogelijk. Het totale traject voor werkpakket 1 zag er als volgt uit:



figuur 2.1 Aanpak werkpakket 1

2.2 Toelichting werksessies

2.2.1 Werksessie 1 Inventarisatie

De eerste werksessie vond plaats op 18 februari 2010. Tijdens deze werksessie is onderzocht waar de participanten de link tussen de resultaten van MMB en het beleid verwachten.

De overall conclusie van deze werksessie was dat er vooral behoefte heerste om het bestaande beleidskader nog eens te beschouwen. Enkele voorbeelden van beleidsvraagstukken die naar voren kwamen zijn:

- Het handhaven van een strikte (100%) energiebalans;
- Het niet toestaan van infiltratietemperaturen boven 25 °C (m.u.v. provincie Zuid-Holland, hier is 30 °C de bovengrens);
- Implementatie van gebiedsgericht grondwaterbeheer;
- Het gebruik van antivries in gesloten systemen.

Een aantal participanten heeft tijdens deze bijeenkomst echter ook aangegeven dat versoepeling van deze beleidsthema's nog niet aan de orde is. Juist omdat voor hen nog niet alle effecten van bodemenergie voldoende onderzocht en gekwantificeerd zijn, terwijl de belangrijke functies van veilig en schoon grondwater in het geding zijn. Dit onder-schrijft het nut en de noodzaak van het onderzoeksprogramma MMB.

Op de vraag wie iets met de resultaten van MMB zou moeten doen zijn bijna alle overheidslagen door de participanten benoemd. Maar wel met de kanttekening dat met name het bevoegd gezag voor open (en straks ook gesloten) systemen aan de slag moeten gaan. Enerzijds moeten zij de resultaten van MMB vertalen naar beleid en anderzijds moeten zij ook juridisch de zaken op orde brengen. De door de participanten benoemde beleidsthema's zijn terug te vinden in de verschillende hoofdstukken van dit rapport.

2.2.2 Werksessie 2 Gebieds- en functiegerichte benadering

Op 21 juni 2010 heeft de tweede werksessie plaatsgevonden. Het doel van de tweede werksessie was samen met de participanten na te denken over hoe de resultaten van MMB kunnen worden verwerkt in beleid. Tijdens deze werksessie stond de vraag centraal of het beleid een generiek karakter zou moeten hebben of dat een gebiedsspecifiek beleid gewenst is.

Uit deze sessie is gebleken dat het vertalen van de onderzoeksresultaten naar gebieds- en functiegericht advies het beste aansluit bij de verwachting van de participanten. De inzet op gebieds- en functiegericht advies levert de volgende kansen op:

- De gebieds- en functiegerichte benadering streeft het duurzaam gebruik van de ondergrond na.
- Gebieds- en functiegerichte aanpak kan de kansen voor meerdere ondergrondse functies, en dus ook voor bodemenergie, vergroten.

- De gebieds- en functiegerichte benadering gaat uit van kansen zodat groei van bodemenergie mogelijk is, mits er geen onaanvaardbare nadelige effecten optreden.

De gebieds- en functiegerichte benadering geeft de mogelijkheid om per gebied een aangepast beleid te formuleren. Op basis van deze en de voorgaande sessie kan geconcludeerd worden dat de onderzoeksresultaten gekoppeld kunnen worden aan beleidsthema's en dat deze koppeling vooralsnog op gebiedsgericht niveau plaatsvindt. Hierbij kun je denken aan bijvoorbeeld indeling in stedelijke industriële gebieden, landelijk gebied en intrekgebieden drinkwaterwinning.

2.2.3 Werksessie 3 Uitwerking gebieds- en functiegerichte benadering

De derde werksessie vond plaats op 8 februari 2011. Het doel van deze werksessie was om de gebied- en functiegerichte benadering nog verder vorm te geven: voor welke beleidsthema's zouden specifieke aanpassingen gewenst zijn? En op welke wijze kan MMB hier een rol spelen?

Tijdens deze sessie is geïnterviewd welke beleidsvraagstukken invloed hebben op de gewenste groei van het aantal bodemenergiesystemen en adequate bescherming van de ondergrond. Hieruit bleek dat niet alle beleidsvraagstukken verband houden met MMB. Zo werd bijvoorbeeld het beleidsvraagstuk 'het beëindigen van open en gesloten systemen' benoemd, maar ook het ontbreken van een universele meetlat waarin bodemenergie met andere (duurzame) technieken wordt vergeleken. Tijdens de werksessie is dit onderscheid (wel of niet MMB gerelateerd) gemaakt. Op basis hiervan hebben de participanten een lijst samengesteld van de beleidsthema's die relevant zijn voor de onderzoeksresultaten van MMB. Deze beleidsthema's zijn opgesomd in tabel 2.1. Een compleet overzicht van alle opgesomde beleidsthema's is te vinden in bijlage 2.

De volgende stap is het vertalen van de onderzoeksresultaten naar beleid (zoals beschreven in het projectplan van MMB, paragraaf 3.1). Zoals tijdens de eerste werksessie is aangegeven, moet de overheid de vertaling van onderzoeksresultaten naar beleid gaan vormgeven. Binnen het MMB is een voorzichtige voorzet worden gegeven voor deze vertaling, op basis van gebieds- en functiegerichtbeleid, zodat de overheid op basis hiervan de volgende stap kan zetten (zie stap zes, figuur 2.1).

2.2.4 Werksessie 4 Gebied- en functiegerichte benadering

De laatste werksessie was op 23 januari 2012. Tijdens deze werksessie is de opbouw van rapport 1 besproken. Tijdens deze werksessie is benadrukt dat de koppeling van de onderzoeksresultaten met het gebiedsgerichte beleid zeer gewenst is.

tabel 2.1 Beleidsthema's gerelateerd aan MMB

nr.	Beleidsthema	Relevantie	Hoofdstuk
1.	Infiltratietemperatuur	Momenteel is niet bekend wat de invloed is van de infiltratietemperatuur op de bodem- en grondwaterkwaliteit.	3
2.	Combinatie open systemen en sanering	Momenteel belemmert de aanwezigheid van verontreinigingen de toepassing van open systeem, terwijl dit ook combinatiekansen biedt.	4
3.	Energiebalans	De huidige eisen voor energiebalans worden in de praktijk vaak niet gehaald.	5 + 'Onderzoek energiebalans'*
4.	Interferentie open systemen	Op dit moment is de kennis over de risico's van interferentie tussen open systemen nog niet volledig	6

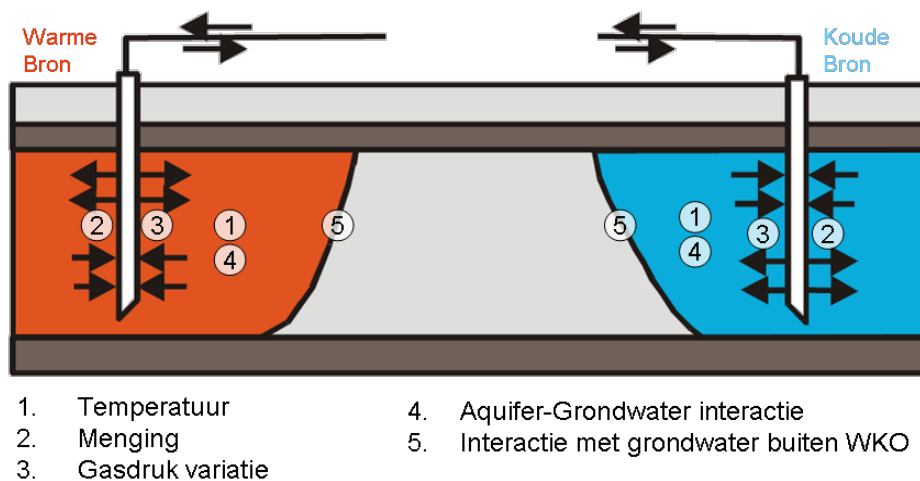
* Onderzoek criteria energiebalans WKO', 22 februari 2012, DWA installatie en energieadvies - IF Technology, in opdracht van SKB.

3 Infiltratietemperatuur

In dit hoofdstuk zijn de meet- en modelleringresultaten ten aanzien van de infiltratietemperatuur beschreven. Het betreft de effecten van temperatuurveranderingen op de grondwater en bodemkwaliteit (fysisch, chemisch en microbiologisch). Daarnaast is ook gekeken naar de effecten van menging en hoe deze zich verhouden tot de effecten die optreden ten gevolge van temperatuur.

3.1 Kader

De temperatuur in de ondergrond heeft invloed op diverse chemische, fysische en microbiologische aspecten. Veel van deze aspecten hebben ook weer invloed op elkaar, met name bij de inzet van een open systeem (zie figuur 3.1). Door het bemonsteren van het grondwater bij verschillende typen bodemenergiesystemen (waaronder ook een gesloten systeem) hebben de onderzoekers een beeld gekregen van de effecten van temperatuur op de ondergrond.



figuur 3.1 Overzicht van processen gerelateerd aan bodemenergie die de geochemische samenstelling van het grondwater kunnen beïnvloeden.

Op het geochemische vlak worden vooral de oplosbaarheid van mineralen en de snelheid van biogeochemische reacties beïnvloed (#rapport 3/4, par. 3.2.1). Een voorbeeld hiervan is de oplossing en neerslag van kalk in het watervoerende pakket. Door temperatuurverandering kunnen chemische evenwichten verschuiven en reacties versnellen of juist vertragen.

Voor micro-organismen geldt dat ieder type micro-organisme zijn eigen temperatuur heeft waarbij hij goed gedijt. Het ene micro-organisme functioneert goed bij temperaturen rond 4 °C graden (psychrofielen), de andere gedijt beter bij 39 °C graden (mesofielen). Wanneer de temperatuur in de ondergrond verandert kan dus ook de samenstelling van de microbiologische populatie veranderen (#rapport 2, hfdst. 7, rapport 3/4, par. 3.2.2 en rapport 6, par. 4.2).

In de literatuurstudie (#rapport 2, hfdst. 4) is uitvoerig beschreven wat de invloed is van temperatuur op de fysische gesteldheid van de bodem. Temperatuursverschillen veroorzaken verschillen in dichtheid en viscositeit van het grondwater, waardoor de grondwaterstroming kan veranderen. Hierdoor hebben dichtheid en viscositeit ook invloed op het thermisch functioneren van een systeem. Daarnaast is uit het literatuuronderzoek gebleken dat de effecten van een hoge(re) infiltratietemperatuur op met name de chemie irreversibel kunnen zijn (#rapport 2, par. 6.1.1).

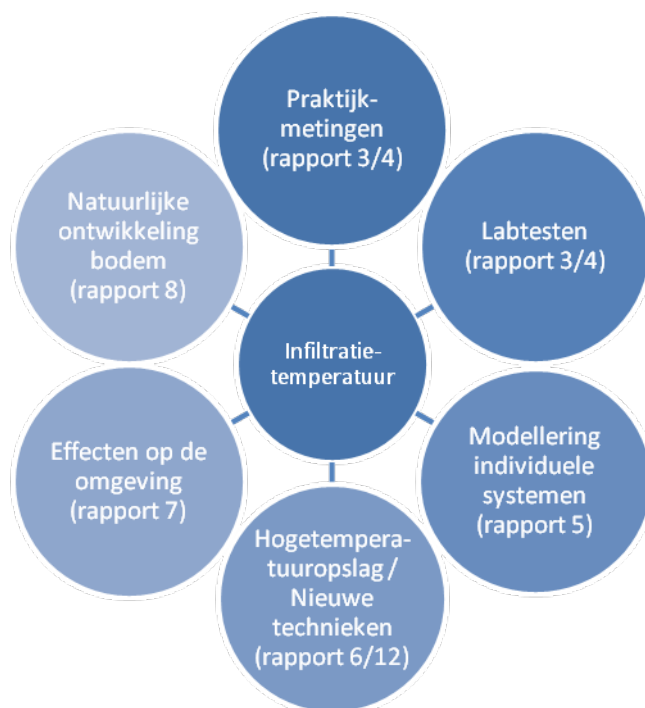
3.2 Onderzoeksvragen

Het onderzoek naar de effecten van de infiltratietemperatuur is onder te verdelen in het onderzoek naar individuele projecten en naar grootschalige toepassing van bodemenergie. De centrale vraag met betrekking tot dit onderwerp is:

- *Wat is het effect van temperatuurverandering op de kwaliteit van het grondwater? Hierbij worden de volgende aspecten bekeken: fysisch, chemisch, microbiologisch.*

Hierbij dient opgemerkt te worden dat voor het onderzoek naar individuele projecten veldmetingen zijn gedaan. Het onderzoek naar grootschalige toepassing van open systemen gaat in op interferentie en is gebaseerd op modelberekeningen.

In figuur 3.2 zijn de verschillende onderwerpen die temperatuur gerelateerd zijn aangegeven (incl. de bijbehorende rapportage).



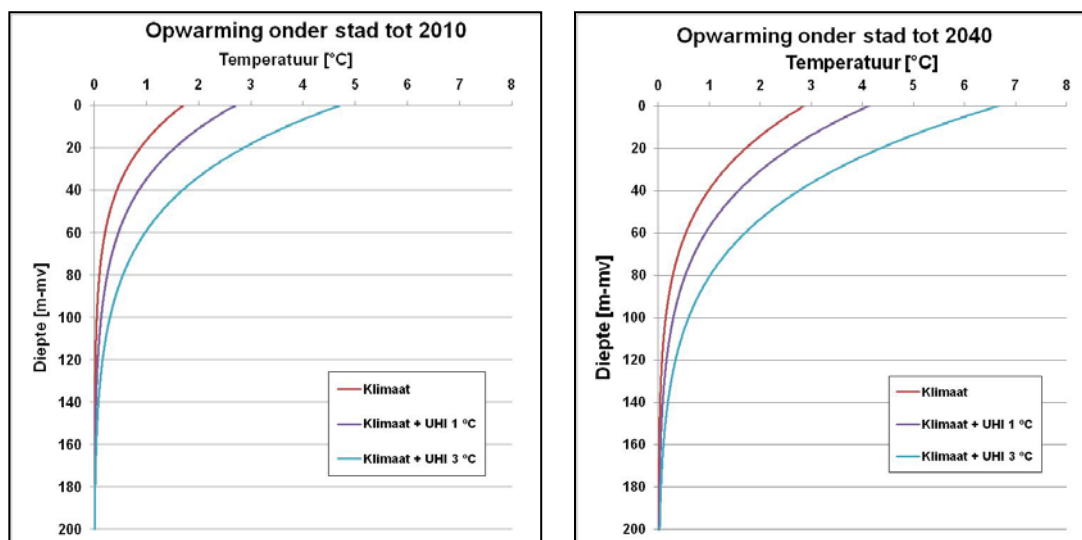
figuur 3.2 Betrokken onderwerpen infiltratietemperatuur

3.3 Resultaten

3.3.1 Natuurlijke variatie bodemtemperatuur

Bij de beoordeling van de infiltratietemperatuur en de effecten hiervan is het belangrijk om deze natuurlijke temperatuursontwikkeling als referentie in ons achterhoofd te houden. Van nature varieert de bodemtemperatuur in Nederland tussen de 10 en 16 °C, op de diepte waarop bodemenergie wordt toegepast (0 - 250 m-mv) (#rapport 8, par. 1.3.1).

In #rapport 8 is onderzoek verricht naar de opwarming aan de oppervlakte en de effecten hiervan op de bodemtemperatuur. Uit meetgegevens van het KNMI blijkt dat de gemiddelde temperatuur aan de oppervlakte door klimaatverandering is toegenomen met 1,7 °C sinds 1900. Daarnaast is in steden sprake van het stedelijk warmte-eiland effect, waardoor de oppervlaktetemperatuur in de stad 1 à 3 °C hoger ligt dan in het omliggende landelijke gebied. In figuur 3.3 is weergegeven hoe de temperatuur toeneemt naar de diepte ten gevolge van opwarming aan het oppervlak.



figuur 3.3 Opwarming onder de stad ten gevolg van het klimaat en het stedelijk warmte-eiland effect (Urban Heat Island, UHI)

De opwarming aan de oppervlakte zorgt ervoor dat ook de temperatuur van de ondergrond toeneemt. Doordat de opwarming aan de oppervlakte plaatsvindt en slechts zeer geleidelijk doordringt naar grotere diepte, is de mate waarin opwarming van de ondergrond optreedt sterk afhankelijk van de diepte. De autonome opwarming van de ondergrond is geconcentreerd in de bovenste 50 à 100 meter van de ondergrond en zal pas op zeer lange termijn (honderden tot duizenden jaren) op grotere diepten merkbaar zijn. Bij (open) bodemenergie die zich in dieper gelegen watervoerende pakketten bevinden speelt de autonome opwarming dan ook geen rol van betekenis. De ontwikkeling van de bodemtemperaturen wordt momenteel ook onderzocht in het kader van het promotieonderzoek van Philip Visser. Momenteel zijn hiervan nog geen publicaties beschikbaar.

De gesloten bodemenergiesystemen bevinden zich nagenoeg allemaal volledig in de bovenste 100 meter en ondervinden daardoor de meeste invloed van de autonome opwarming. Aangezien een groot deel van de gesloten systemen wordt gebruikt voor verwarming, is de opwarming voor een groot deel van de gesloten systemen gunstig voor het functioneren: deze systemen kunnen nuttig gebruik maken van de warmte die als gevolg van de autonome opwarming aan de ondergrond wordt toegevoegd.

De natuurlijke opwarming vindt dus voornamelijk in de bovenste 50 à 100 m van de ondergrond plaats. Welke effecten de natuurlijke opwarming heeft op de bodemkwaliteit en de microbiologie valt buiten de scope van dit onderdeel van het onderzoek. Wel kan worden geconcludeerd dat dit effect meestal (afhankelijk van de diepte, zie figuur 3.3) veel kleiner is dan de (lokale) temperatuuffecten van bodemenergie (bij een gemiddeld temperatuurverschil van 5 °C tussen de koude en warme bron is de temperatuurverandering door bodemenergie 2 à 3 °C).

3.3.2 Meetresultaten uit praktijk en laboratorium

Effect van temperatuur op de chemische kwaliteit van het grondwater

Op basis van de uitgevoerde metingen blijkt dat temperatuur een marginale invloed heeft op de samenstelling van het grondwater binnen het temperatuurbereik van de onderzochte locaties (11 tot 30 °C). Dit geldt voor zowel het optreden van mineraalevenwichten als voor kinetisch gecontroleerde reacties². Bij hogere temperatuurverschillen tussen warme en koude bron ($\Delta T > 20$ °C) en het loslaten van een thermische balans kan de invloed van temperatuur belangrijke effecten opleveren. Voor de bemonsterde open lagetemperatuursystemen (tot 30 °C) zijn minimale effecten van temperatuur aangetroffen. Dit sluit aan bij wat er op theoretische gronden te verwachten valt.

Bij het hogetemperatuuropslagsysteem Zwammerdam is de chemische samenstelling van het grondwater sterker veranderd door temperatuur. Om de gevolgen van deze verandering, namelijk kalkneerslag, te voorkomen is waterbehandeling toegepast. Het uitgevoerde onderzoek geeft aan dat waterbehandeling nodig kan zijn bij temperaturen boven de 40 °C vanwege deze kalkneerslag (#rapport 2, par. 9.2.2 en #rapport 6, par. 4.1).

De waterbehandeling bestaat uit het toevoegen van zoutzuur (HCl). Deze toevoeging kan leiden tot het oplossen van kalk uit het aquifersediment in de directe omgeving van de bron. Deze kalkoplossing is een zeer lokaal, maar onomkeerbaar. Ook de toevoeging van chloride is onomkeerbaar. De veroorzaakte stijging van het chloridegehalte is bij toepassing in zout grondwater te verwaarlozen, maar bij toepassing in zoet grondwater significant. Door menging met het natuurlijke grondwater daalt het chloridegehalte echter geleidelijk naar de achtergrondwaarde. Als gevolg van zoutzuurdosering treedt verder een beperkte pH-daling op waardoor sporenelementen gemobiliseerd kunnen worden.

Effect van temperatuur op de microbiologische samenstelling van het grondwater

In de labtesten zijn bij temperaturen van 6, 10 en 18 °C geen effecten op de aantallen en het functioneren van de micro-organismen vastgesteld (#rapport 3/4, par. 4.4). Bij 30 °C is de activiteit van de micro-organismen lager dan bij 10 °C. In het veld zijn deze effecten binnen het temperatuurbereik tussen 11 °C en 35 °C niet gevonden, de gemeten hoeveelheden en samenstelling van de bacteriën vallen binnen de totale natuurlijke variatie in de Nederlandse ondergrond die zowel binnen als buiten het bodemenergiesysteem gemeten is. De aantallen en samenstelling zijn primair afhankelijk van de bemonsterde locatie. Op het warmste punt van de locatie Beijum (39 °C) zijn wel veranderingen in de samenstelling gevonden maar bleven de gemeten functies op het gebied van organische stof en nutriënten gebruik en hergebruik³ (bijvoorbeeld de capaciteit om sulfaat te reduceren) in tact. Deze effecten komen overeen met de theoretische verwachting. Rond deze temperatuur heeft een andere groep micro-organismen een selectief voordeel. De specifieke soorten die de verschillende functies uitvoeren kunnen naar gelang de temperatuur wel veranderen/verschuiven.

² Kinetische reactie: voor veel reacties, zowel biologische als puur chemische, nemen de reactieconstanten voor KWO tussen de 2 tot 3 keer toe bij een verhoging van 10 °C naar 20 °C (Hartog, 2011, #131, rapport 3/4).

³ Omzettingsreacties

Op de locatie Zwammerdam (hogetemperatuuropslag) is in het verleden sprake geweest van infiltratie met hoge temperaturen (# rapport 3/4, par. 3.4.7 en bijlage 1). De temperaturen van 80 °C zijn dusdanig hoog, dat verondersteld kan worden dat zowel mesofiele als gematigd thermofiele organismen hierin niet hebben kunnen overleven. Aangezien destijds geen monsters zijn genomen is deze veronderstelling niet met metingen te ondersteunen. Sinds 2004 is het systeem buiten gebruik gesteld en is temperatuur teruggegaan tot beneden de 30 °C. Acht jaar na afsluiting van het systeem Zwammerdam blijkt uit de metingen dat de exacte samenstelling van de populatie is veranderd ten opzichte van voor de aanleg van het systeem, maar dat de microbiële populatie zich qua functioneren en biodiversiteit (aantal verschillende soorten) heeft hersteld. Hieruit wordt geconcludeerd dat de temperatuureffecten op het functioneren van de microbiële populatie dus reversibel zijn.

Pathogenen

Eerder uitgevoerd onderzoek, zoals samengevat in de literatuurstudie, geeft aan dat de meeste pathogenen (ziekteverwekkende bacteriën) onder de zuurstofloze, voedselarme condities in de ondergrond niet kunnen concurreren met de van nature aanwezige soorten die wel zijn aangepast aan de omstandigheden in de ondergrond. De meeste pathogenen worden daardoor in de ondergrond verwijderd. In waterwingebieden wordt gebruik gemaakt van deze natuurlijke verwijdering van pathogene micro-organismen tijdens de bodempassage (filtrerende werking). Voor dit doel wordt een verblijftijd van 60 dagen met een minimum van 30 meter afstand vanaf de individuele waterwinputten aangehouden als minimale grootte van het waterwingebied (beschermingszone waarin extra regels van toepassing zijn ter bescherming van de grondwaterkwaliteit). Daarbuiten is er nog een 25- of 50-jaars beschermingszone, waarin minder zware beperkingen van toepassing zijn (grondwaterbeschermingsgebied). Deze verblijftijd van 60 dagen biedt voldoende bescherming tegen een belangrijk deel van de pathogenen. Volgens de meest recente kennis is een verblijftijd van minimaal 2 jaar voldoende om ook bescherming te bieden tegen de meest persistente pathogenen.

Er zijn echter ook pathogenen die van nature in het grondwater voorkomen en dus zijn aangepast aan de condities die in de ondergrond voorkomen, waarvan *Clostridium perfringens* een belangrijke is. Binnen MMB is daarom naast een groep belangrijke algemene pathogenen ook specifiek onderzoek gedaan naar *Clostridium*. In het onderzoek zijn op slechts enkele locaties zeer lage aantallen pathogenen (waaronder *Clostridium*) aangetroffen. Deze aantallen blijven ver onder de toegestane normen voor bijvoorbeeld oppervlaktewater en vormen dus geen aanvullend risico. *Legionella pneumophila* werd op geen enkele locatie aangetroffen, wat overeen komt met eerdere studies zoals samengevat in de literatuurstudie. Op basis van de meetresultaten bij twee open systemen (Heuvelgalerie 32 °C, Beijum 39 °C) is geen groei van pathogenen vastgesteld. Bij systemen met hogere temperaturen (boven 42 °C) graden zijn humane pathogenen slecht of niet in staat te overleven en vormen daarmee een laag risico.

Andere onderzoeken

Gelijktijdig aan het MMB onderzoek is door de combinatie KWR/VU Amsterdam een onderzoek uitgevoerd naar de effecten van bodemenergie op de chemische samenstelling van het grondwater. Kolomproeven uit dit onderzoek geven aanwijzingen dat bij temperaturen van 25 °C verschuiving van concentraties zware metalen die oxyanionen vormen (arseen en boor) en minimale mobilisatie organische stof optreedt (Bonte et al., 2011). Bij zware metalen als Co, Ni, Bi zijn juist weer geen effecten waargenomen met toenemende temperatuur. Bij 60 °C treden deze effecten in versterkte mate op. Daarnaast blijkt uit de kolomproeven dat het van nature zeer trage proces sulfaatreductie significant wordt versneld als de temperatuur stijgt, niet alleen bij hoge temperaturen, maar ook in het temperatuurbereik van 11-25 °C (pers comm. M. Bonte 2012).

Als verklaring voor de mobilisatie van arseen in de labproeven van KWR/VU wordt desorptie van ijzerhydroxiden gegeven (pers comm. M. Bonte 2012). De sterke temperatuurafhankelijkheid hiervan wordt in de literatuur gemeld door bijvoorbeeld Kersten en Vlasova (2009).

Bij de veldmetingen die binnen MMB zijn uitgevoerd bij projecten met hogere opslagtemperaturen is geen mobilisatie van arseen als gevolg van de temperatuurverhoging geconstateerd. Wel zijn veranderingen in het arseengehalte gevonden bij de systemen in Rosmalen en Zwammerdam. In Rosmalen is deze verandering te verklaren door menging met ondiep grondwater met hogere arseengehaltes. In Zwammerdam is de toename van arseen in de warme bron toegeschreven aan de waterbehandeling met zoutzuur die hier is toegepast. Het is echter niet uitgesloten dat hierbij ook de hoge temperatuur uit het verleden (in de warme bron is de temperatuur in het verleden > 80 °C geweest) een rol heeft gespeeld. Aanbevolen wordt, om een hydrochemische modellering van het systeem uit te voeren om hierover meer duidelijkheid te geven.

Als desorptie van ijzerhydroxiden geheel of gedeeltelijk van toepassing is, dan zal dit proces niet alleen optreden bij temperaturen boven de 25 °C, maar ook in het temperatuurbereik daaronder (0-25 °C). Dit proces zal niet alleen van toepassing zijn op arseen, maar ook op andere sporenelementen die aan ijzerhydroxiden adsorberen. Verder zou het proces dan omkeerbaar zijn: bij een temperatuurstijging vindt desorptie plaats en als de temperatuur vervolgens daalt, dan zal het arseen weer geadsorbeerd worden. In dat geval zou je mogen verwachten dat in de warme bel desorptie plaatsvindt en in de koude bel adsorptie, zodat arseen wordt verplaatst van de ijzerhydroxiden in de warme bel naar de ijzerhydroxiden in de koude bel. Het gaat dan om een proces wat met name in de opstartfase van belang is omdat in die periode de grootste temperatuurveranderingen optreden. Uit kolomproeven van Bonte blijkt het effect inderdaad het grootst in het begin, vooral als de temperatuur sterk wordt verhoogd. Bij een matige temperatuursverhoging (25 graden) gaat de uitloging veel geleidelijker en is na 25 keer doorspoelen nog steeds een duidelijke verhoging in arseen waarneembaar.

Na verloop van tijd wordt dan een nieuwe evenwichtsituatie bereikt waarin het transport van arseen beperkt is. Dit zou tevens kunnen verklaren waarom deze effecten bij de binnen MMB bemeten projecten (er is bewust gekozen voor oude projecten om zodoende uitspraken te kunnen doen over de lange termijn effecten) niet/nauwelijks mobilisatie van arseen is gevonden. Dat zou suggereren dat dit proces op de lange termijn minder belangrijk is. Een andere mogelijke verklaring is dat de effecten wel degelijk optreden, maar door de lage concentraties bij aanvang niet opvallen (in verband met de meetnauwkeurigheid nabij de detectiegrens).

Benadrukt wordt dat de desorptie van ijzerhydroxiden momenteel slechts een mogelijke verklaring is voor de gevonden mobilisatie van arseen. Er is meer onderzoek nodig om meer inzicht te verkrijgen in het mechanisme achter de mobilisatie van arseen.

De kolomproeven die zijn uitgevoerd door KWR/VU geven aan dat bij het opwarmen van het grondwater van 11 °C naar 25 °C en 60 °C organische stof wordt gemobiliseerd. De mobilisatie van organische stof is bij 25 °C zeer gering en bij 60 °C significant, hetgeen consistent is met het de labproeven die binnen MMB zijn uitgevoerd en de resultaten van eerder uitgevoerd onderzoek (Brons et al., 1991). Overigens is het ook mogelijk dat (een deel van) de organische stof die wordt gemobiliseerd weer wordt verbruikt door de microbiologische populatie, bijvoorbeeld voor sulfaatreductie. In dat geval zou ook bij temperaturen onder de 25 °C ongemerkt al enige mate van mobilisatie van organische stof kunnen optreden. Dergelijke effecten zijn vermoedelijk te subtiel om in het veld te kunnen onderscheiden.

In de historische gegevens uit de periode 1992-1997 zijn enkele metingen gevonden die duiden op een toename van opgelost organische koolstof en een gelijktijdige afname van sulfaat. De aanwijzingen die zijn gevonden voor de versnelling van sulfaatreductie bij een toename van de temperatuur zijn echter niet duidelijk naar voren gekomen uit het veldonderzoek dat binnen MMB is uitgevoerd. Dit geeft aan dat er op de onderzochte locaties op de lange termijn blijkaar geen duidelijke invloed is op de grondwaterkwaliteit. Bij lage temperaturen is sulfaatreductie van nature een zeer traag proces. Bij een verhoging van de temperatuur van 11 °C naar 25 °C kan de snelheid van sulfaatreductie weliswaar significant toenemen, maar zal nog steeds sprake zijn van een (zeer) traag proces (ondanks een versnelling door een temperatuurverhoging). Bij hoge temperaturen kan de versnelling dusdanig groot worden dat sulfaatreductie wel degelijk een significant proces wordt. Uit de metingen die binnen MMB zijn uitgevoerd zijn echter geen duidelijke aanwijzingen gevonden voor versnelde sulfaatreductie, wellicht omdat de effecten worden gemaskeerd door de effecten van andere processen of nog steeds te gering zijn om een duidelijk effect op de grondwatersamenstelling te hebben.

Omdat het hier gaat om processen die bepalend zijn voor de redoxtoestand van het grondwater en dus voor de algehele grondwaterkwaliteit, wordt aanbevolen hier nader onderzoek naar te doen, met name monitoring bij middelhoge en hoge temperatuur opslagsystemen. Laboratoriumproeven kunnen hierbij een nuttige aanvulling zijn, onder voorwaarde dat hiervoor externe financiering beschikbaar is (als de initiatiefnemer deze kosten moet dragen, dan komt daarmee de haalbaarheid van het project onder druk te staan).

Effecten van menging

Bij gesloten systemen is het verplaatsen van grondwater niet aan de orde. Hierdoor heerste bij aanvang van het MMB onderzoek de verwachting dat bij gesloten systemen alleen het effect van temperatuur aanwezig zou zijn. Uit de metingen bij Beijum blijkt echter dat het optreden van dichtheidsstroming een dusdanig effect heeft op de geochemische kwaliteit van het grondwater dat dit de *directe* temperatuurseffecten overheerst. Hierbij dient opgemerkt te worden dat dichtheidsstroming zelf het gevolg is van temperatuurseffecten (#rapport 2, par. 4.4) en alleen bij grote temperatuurverschillen (bij infiltratietemperaturen $> 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, of als de doorlatendheid hoog is ($> 40\text{ m/dag}$) bij infiltratietemperaturen $> 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) een rol van betekenis speelt.

De mate waarin menging tot waterkwaliteitsverandering leidt hangt sterk af van de aanwezigheid, aard en sterkte van aanwezige gradiënten waarover gemengd wordt, en is dus locatiespecifiek. Hierbij zijn de volgende aspecten bepalend voor de gradatie van verandering van concentraties:

- de samenstelling (verticale gelaagdheid) van grondwaterkwaliteit bij aanvang van een open systeem;
- de verschillen in locale bodemopbouw op het gebied van redoxpotentiaal en aanwezigheid van organisch koolstof en aanwezigheid van micro-organismen in biofilms (op porieniveau);
- de verschillen in regionale bodemopbouw op het gebied van redoxpotentiaal en aanwezigheid van organisch koolstof en aanwezigheid van micro-organismen in biofilms (op locatieniveau);
- diepte waarop de filter zitten.

Uit MMB blijkt dat bij open systemen (tot ongeveer $30\text{ }^{\circ}\text{C}$) menging in de regel een grotere invloed heeft op de samenstelling van het grondwater dan temperatuur. Met name bij het systeem StrijpS zijn deze effecten zichtbaar: door de significante stijging in de mengsnelheid. Hier zijn veranderingen in het aantal organismen in de verschillende peilbuizen waargenomen. Waardoor deze groei optreedt: door groei of door loslaten uit biofilm is nog niet onduidelijk. Welke mogelijke effecten deze verandering mogelijk tot gevolg hebben is ook nog niet duidelijk. Dit heeft te maken met het feit dat de rol van micro-organismen in biofilm nog niet duidelijk is.

Bij hogere temperaturen gaan temperatuurseffecten een sterkere rol spelen. Wanneer het effect van temperatuur belangrijker wordt dan van mening is niet goed vast te stellen.

3.3.3 Modellering temperatuureffecten

Uit de voorgaande paragrafen blijkt dat op basis van de huidige data bij de traditionele lagetemperatuursystemen geen significante veranderingen in de grondwaterkwaliteit waargenomen zijn ten gevolge van de infiltratietemperatuur. In het lab treden echter wijzigingen in de microbiologie al bij 30 graden op. In het veld zijn alleen bij systemen die infiltratietemperaturen hebben boven 35 °C zijn veranderingen in bodemchemie en microbiologie aangetroffen. Deze veranderingen zijn veelal aangetroffen in of nabij de bron van het open systeem. Op dit moment wordt er bij vergunningaanvragen voor nieuwe open systemen gewerkt met thermische- en hydrologische modellen om de verwachte verandering te simuleren. Vraag is in hoeverre simulatie van de invloed van de temperatuur met deze modellen succesvol is en of het resultaat van deze modellen aansluit bij wat er in de praktijk gebeurt.

De effecten van temperatuur op de grondwaterkwaliteit en het invloedsgebied kunnen worden bepaald met thermische modellen. In deze thermische modellen wordt meestal geen rekening gehouden met heterogeniteit van de gebruikte bodemlagen. Uit onderzoek naar de gevolgen van heterogeniteit voor het opslagrendement van open systemen blijkt dat enige heterogeniteit weliswaar invloed heeft op de temperatuurverdeling in de ondergrond gedurende de opslagcyclus, maar dat de invloed op het opslagrendement relatief klein is (Buscheck et al., 1983; Ferguson, 2007; Caljé, 2010; presentatie Sommer, 1^e Nationaal congres bodemenergie, 2011). Voorwaarde hierbij is dat de afstand tussen de warme en koude bronnen groot genoeg is (conform NVOE richtlijnen), zodat kortsluiting/rondpompen wordt voorkomen. Onder sterk heterogene omstandigheden zal de heterogeniteit overigens wel degelijk een merkbare nadelige invloed hebben op het opslagrendement. Deze conclusie geldt niet alleen voor interferentie tussen de eigen koude en warme bron, maar ook voor interferentie tussen naast elkaar gelegen open systemen (#rapport 5, par. 5.2).

Individuele systemen

In #rapport 5 (hfdst. 3) zijn de resultaten opgenomen van bodemtemperatuurmetingen die in het kader van MMB zijn uitgevoerd bij de hogetemperatuuropslag van Zwammerdam, 8 jaar na stopzetting van het systeem. De gemeten temperaturen zijn vergeleken met modelberekeningen. De berekende uitdoving van de temperatuur bij de warme bron (140-150 m-mv) komt goed overeen met de metingen. Ook de berekende uitdoving van de temperaturen vlak boven de opslag komt goed overeen met de metingen, maar verder naar boven toe loopt het verschil tussen de berekeningen en de metingen op tot 3 °C op 65 m diepte. Ten opzichte van de oorspronkelijk opgeslagen temperaturen (> 80 °C) is dit een beperkt verschil. Geconcludeerd is dat de uitdoving van de temperatuur goed kan worden voorspeld met een thermisch model. Hierbij maken de onderzoekers wel de volgende kanttekening: De betrouwbaarheid van de voorspelde effecten hangt af van de betrouwbaarheid van de invoer in het model. Het gaat hierbij om het gebruikspatroon van het systeem (verpompte waterhoeveelheden, onttrekkings- en infiltratietemperaturen en variatie in de tijd), de eigenschappen van het systeem (bronlocaties, filterlengtes en filterdieptes) en de ondergrond (heterogeniteit, doorlatendheid).

Cumulatieve effecten

Op basis van voorgaande paragraaf kan geconcludeerd worden dat men met de huidige modellen in staat is om thermische effecten na te bootsen. Met behulp van deze modellen is het dus ook mogelijk om iets over de regionale invloed te zeggen, dit is onderzocht in #rapport 7 van MMB. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de resultaten met een slag om de arm geïnterpreteerd dienen te worden, omdat de regionale eigenschappen niet in het model zijn meegenomen.

Met behulp van thermische modelsimulaties van het centrum van Den Haag zijn de kwantitatieve en thermische effecten berekend. De locatie Den Haag kent een van de grootste dichtheden aan open systemen in Nederland.

Uit de simulaties blijkt dat wanneer open systemen dicht bij elkaar worden geplaatst enkele thermische zones van meerdere systemen gekoppeld raken. De grootte van het thermische invloedsgebied blijft echter gelijk aan die van de verschillende individuele systemen en breidt dus niet uit extra naar de omgeving (#rapport 7, par. 4.2).

Tevens is geconstateerd dat de rendementen bij normaal functionerende systemen na verloop van tijd toenemen. Dit is fysisch goed verklaarbaar. Dit komt omdat de omgeving van de bronnen opgewarmd (of afgekoeld) raken door de eerste hoeveelheden warmte (of koude) en daardoor later minder verlies optreedt. Op basis van de uitkomsten van de modelberekeningen in het centrum van Den Haag is geen sprake van noemenswaardig rendementsverlies. In een aantal gevallen blijken de opslagrendementen (verhouding tussen teruggewonnen en opgeslagen hoeveelheid energie) zelfs iets toe te nemen. (#rapport 7, par. 4.4).

Conclusie

Uit het onderzoek blijkt dat thermische modellen goed in staat zijn de temperatuurontwikkeling in de bodem, rondom een open systeem, te voorspellen zolang de invoer in het model (gebruikspatroon open systemen, infiltratietemperaturen, verpompte hoeveelheden, filterlengte, bronposities, bodemeigenschappen, etc.) voldoende overeen komt met de werkelijkheid. Dit is getoetst met behulp van praktijkmetingen in combinatie met modellering.

3.4 Beleid

3.4.1 Huidig beleidskader

Open systemen zijn vergunningplichtig in het kader van de Waterwet. De eisen ten aanzien van de maximale infiltratietemperatuur in de Waterwet zijn afkomstig uit het Drinkwaterbesluit. In het Drinkwaterbesluit is opgenomen dat het drinkwater op het leveringspunt en op het tappunt voldoet aan de eisen die zijn opgenomen in bijlage A (par. 3.1.1, art. 13). Eén van de daar omschreven eisen is een maximumtemperatuur van 25 °C (tabel IIIa). Vanuit de Waterwet is deze temperatuur overgenomen in de provinciale verordeningen. Een uitzondering hierop vormt de provincie Zuid-Holland. In Zuid-Holland is het overgrote deel van het grondwater zout en derhalve niet bruikbaar voor de drinkwatervoorziening. Hier is een maximale infiltratietemperatuur van 30 °C toegestaan.

In het Besluit Bodemenergie dat op 1 januari 2013 van kracht wordt is de maximum infiltratietemperatuur gesteld op 25 °C. Het opnemen van een afwijkend voorschrift in de vergunning is mogelijk in de volgende situaties [ontwerp BUM BE deel, par. 3.3: toetsingscriterium 3.1]:

- In het kader van een onderzoeksproject (pilot). Hogetemperatuuropslag valt hier voorlopig ook onder.
- Indien het retourwater wordt geïnjecteerd op een diepte waar van nature sprake is van een grondwatertemperatuur van 30 °C of hoger.
- Indien uit de effectberekeningen blijkt dat chemische en biologische veranderingen in het grondwater de (potentiële) andere functies van het grondwater niet zullen belemmeren

3.4.2 Gewenste aanpassingen

Uit de praktijk blijkt dat het in specifieke gevallen wenselijk is om een hogere infiltratietemperatuur dan 25 °C toe te staan. Twee voorbeelden:

- In de tuinbouw heeft men in de zomer te maken met warmteoverschotten in de kas. Door deze overtollige warmte op te slaan in de bodem met behulp van een open systeem, is het mogelijk om de warmte in de winter weer gebruiken. De temperaturen in de kas zijn 's zomers echter zo hoog, dat de maximum infiltratietemperatuur van 25 °C overschreden wordt. Dat betekent dat de warmte nu moet worden vernietigd, terwijl deze warmte in de winter goed gebruikt kan worden voor het verwarmen van de kas.
- Bij productieprocessen kan warmte vrijkomen die gebruikt kan worden voor ruimteverwarming (woningen, andere bedrijvigheid). Omdat het productieproces niet altijd parallel loopt met de warmtevraag, is het wenselijk de overtollige warmte (tijdelijk) op te slaan in de ondergrond. Omdat in principe het grondwater met een temperatuur boven 25 °C niet opgeslagen mag worden, geldt ook bij deze situatie dat warmte vernietigd moet worden omdat het niet opgeslagen kan worden.

Het Besluit Bodemenergie biedt de mogelijkheid om op projectniveau af te wijken door middel van pilots. Dit betekent dat voor ieder project een heel traject doorlopen dient te worden. Dit brengt voor de vergunningaanvrager veel onzekerheid en extra inspanning met zich mee. Ook voor de vergunningverlener levert dit veel extra werk op. Daarom kan gebiedsgericht beleid in gebieden waar veel glastuinbouw en/of restwarmte aanwezig is een uitkomst bieden.

Uit de veldmetingen van MMB is gebleken dat een infiltratietemperatuur tot 30 °C geen meetbare effecten heeft op de (micro)biologie en chemie van de ondergrond. In de labtesten zijn bij deze temperatuur wel veranderingen in de activiteit van de microbiële populatie vastgesteld, die bij 18 °C nog niet optraden. Daarnaast is aangetoond dat bij open systemen (tot ongeveer 30 °C) de effecten van menging groter zijn dan de effecten van temperatuur.

3.4.3 Voor- en nadelen aanpassingen

Argumenten om de maximale infiltratietemperatuur te verruimen zijn dat efficiënter gebruik kan worden gemaakt van de beschikbare ondergrondse ruimte en dat het rendement/inzet van een open systemen vergroot wordt. Het infiltreren van grondwater met een hogere infiltratietemperatuur kan de volgende voordelen opleveren:

- Er is minder grondwater benodigd voor dezelfde energiehoeveelheid om in de winter te voldoen aan de warmtevraag van bijvoorbeeld een kas. Door de hogere temperaturen zal het rendement worden vergroot, omdat minder water verpompt hoeft te worden om dezelfde hoeveelheid energie te halen dan wanneer de infiltratietemperatuur 25 °C is. En minder waterverbruik leidt tot minder waterverplaatsing. Dit levert besparing in kosten en elektriciteit op.
- Hierdoor neemt het ondergronds ruimtegebruik af. Er kunnen dus meer bodemenergiesystemen in hetzelfde gebied worden gerealiseerd. Dit is met name relevant voor de locaties waar veel warmtevragers en/of warmteleveranciers bij elkaar aanwezig zijn.
- Doordat hogere temperaturen geïnfiltreerd kunnen worden, kunnen ook hogere temperaturen aan de warme bron worden onttrokken. Bij hogere temperaturen is het niet meer noodzakelijk om gebruik te maken van een warmtepomp. Voor glastuinbouw en lagetemperatuurverwarming is dit interessant vanaf 40 à 50 °C, voor bestaande bouw en tapwater vanaf 70 à 80 °C. Dit levert een belangrijke energiebesparing (en dus ook CO₂ emissiereductie) op ten aanzien van het elektriciteitsgebruik.

Aan het verhogen van de infiltratietemperatuur zijn de volgende nadelen verbonden:

- Bij een hogere infiltratietemperatuur gaat meer warmte verloren in de ondergrond. Dit wordt veroorzaakt door het grotere verschil tussen de natuurlijke grondwatertemperatuur en de infiltratietemperatuur, en een verminderde terugwinning doordat natuurlijke achtergrondstroming een relatieve grotere verschuivende invloed heeft op kleinere geïnjekteerde volumes.
- Bij infiltratietemperaturen groter dan 25 °C treedt een dichtheidsstroming op die een dusdanig effect heeft op de geochemische kwaliteit van het grondwater dat dit de *directe* temperatuurseffecten overheerst.
- Uit het literatuuronderzoek is gebleken dat de effecten van een hoge(re) infiltratietemperatuur op met name de chemie irreversibel kunnen zijn.
- Op basis van huidige meetdata kan nog niet worden vastgesteld wat de omvang van effecten zijn van infiltratietemperaturen boven 30 °C.

3.5 Advies

In de provinciale verordeningen wordt voor open systemen een maximale infiltratietemperatuur van 25 °C gehanteerd. Uitzondering hierop is de provincie Zuid-Holland, zij hanteert een maximale infiltratietemperatuur van 30 °C.

Voor de meeste bodemenergiesystemen vormt dit huidige beleid geen belemmering. Bij woningbouw en utiliteit is vooralsnog geen behoefte aan hogere infiltratietemperaturen dan 25 °C. Dit heeft te maken met het feit dat gebouwzijdig nog geen concepten klaar zijn voor hogere infiltratietemperaturen. De verwachting is echter dat in de toekomst wel hogere infiltratietemperaturen in de woningbouw en utiliteit gewenst zijn. Dit komt door de grote behoefte om bodemenergie in de bestaande bouw toe te passen. Om dit te kunnen doen worden op dit moment warmtepompen ontwikkeld die hogere temperaturen opwekken. Voor de glastuinbouw en (kleinschalige) industriële projecten kan een hogere infiltratietemperatuur op dit moment al interessant zijn. Het huidige beleid en het Besluit Bodemenergie bieden de ruimte voor pilots, waarmee uitzonderingen gemaakt kunnen worden.

In gebieden waar veel restwarmte en/of tuinbouw aanwezig is, is afwijken van de maximale infiltratietemperatuur (en de provinciale verordening) echter wel gewenst. Indien geen kwetsbare functies binnen het grondwater aanwezig zijn, rechtvaardigen de resultaten van MMB de afweging van aanvullend beleid. Wij bevelen daarom aan dat provincies de pilot op gebiedsniveau invullen. Dit houdt in dat zij a) gebieden binnen hun provincie aanwijzen waar afwijken mogelijk is, en b) randvoorwaarden opstellen die binnen deze gebieden gelden. Dit kan een snellere doorloop van deze aanpak betekenen terwijl de huidige leemten in kennis via de pilot kunnen worden ingevuld.

Uit het onderzoek van MMB kan worden geconcludeerd dat bij labproeven bij 18 graden nog geen effecten op de microbiologie optreden. Maar dat dat, bij 30 graden wel het geval is. In het veld zijn effecten tot een temperatuur van 35 graden mogelijk wel aanwezig maar vallen zij in de natuurlijke ruis. Vanaf 35 graden zijn ook in het veld effecten zichtbaar op de samenstelling van de microbiële populatie, hoewel het functioneren van de biologische processen dan nog niet wordt aangetast. Daarnaast zijn er geen aanwijzingen voor een toename van pathogenen.

Wij adviseren om op korte termijn (2012) met de betrokken partijen te praten over de mogelijkheden van genoemde pilot(s) gebiedsgericht beleid. Deze partijen zijn het ministerie van I&M, IPO, UvW, VEWIN, productschap Tuinbouw en de NVOE. Doel van dit overleg is om de volgende beleidsdiscussies te bespreken:

- Het grondwater dient momenteel verschillende doelen, waaronder de mogelijkheid tot koelen. De vraag is daarom wat de invloed is van een hogere infiltratietemperatuur op de natuurlijke grondwatertemperatuur en in welke mate deze natuurlijke grondwatertemperatuur beschermd dient te worden.
- In gebieden waar de grondwaterkwaliteit niet voor specifieke doeleinden, zoals bereiding van water voor de menselijke consumptie, gehandhaafd hoeft te worden, kan de maximale infiltratietemperatuur mogelijk worden verhoogd. Dit kan bijvoorbeeld in gebieden waar het diepere grondwater zout is en dus niet voor drinkwaterdoeleinden gebruikt wordt of gebruikt zal worden. Denk aan de provincies Noord- en Zuid-Holland (waar ook veel glastuinbouw aanwezig is), en Zeeland.

- Ook in gebieden waar wel zoet water aanwezig is, maar die verontreinigd zijn kan de infiltratietemperatuur mogelijk worden verhoogd. Ook in deze gebieden wordt het grondwater niet gebruikt voor drinkwater. Dit is met name van toepassing op stedelijk gebied: het centrumgebied van Utrecht of Nijmegen is hier een voorbeeld van.
- Aandachtspunt vormen de gebieden waar de ecologie afhankelijk is van de grondwaterkwaliteit. Met name door menging kan in deze gebieden, indien er geen deklaag of scheidende laag aanwezig, de waterkwaliteit aan het oppervlak veranderen (denk aan het zoutgehalte en/of de mineralensamenstelling).
- Door de gebieden met veel restwarmte en/of tuinbouw te koppelen aan gebieden waar het grondwater geen directe belangen dient, kunnen gebieden worden aangewezen waar afwijking van de infiltratietemperatuur is toegestaan. Voor deze gebieden zou gebiedsgericht beleid ten aanzien van de infiltratietemperatuur een oplossing zijn;
- Bij het aanwijzen van de gebieden dient daarnaast zorgvuldig gekeken te worden naar de lokale bodemopbouw. Uit het onderzoek naar (middel-) hogetemperatuuropslag is tenslotte gebleken dat rendementverliezen in grof zandige pakketten een aandachtspunt vormen.

Om bovengenoemde aanbevelingen uit te voeren dient rekening te worden gehouden met het volgende:

1. In de provinciale verordeningen kunnen gebieden worden aangewezen waar een hogere infiltratietemperatuur is toegestaan. De selectie van deze gebieden kan worden gebaseerd op de aanwezigheid van bijvoorbeeld zout grondwater, bovengrondse activiteiten en/of aanwezige verontreinigingen.
2. Binnen deze gebieden dient afwijkend beleid te worden geformuleerd. Denk hierbij aan de infiltratietemperaturen, diepte, monitoring, etc.
3. In de provinciale waterplannen kunnen aangepaste infiltratietemperaturen worden opgenomen voor bepaalde typen systemen, bijvoorbeeld MTO en HTO.
4. Er wordt geadviseerd door te meten bij een aantal locaties van MMB. Doel is om de invloed van een hogere infiltratietemperatuur (hoger dan 30 °C) beter in beeld te krijgen. In hoofdstuk 7 wordt dit nader toegelicht.

4 Open systemen en sanering

Dit hoofdstuk gaat in op de meet- en onderzoeksresultaten betreffende de combinatie van open systemen en sanering van grondwaterverontreinigingen. Er worden zowel praktijkmetingen als modelsimulaties behandeld. Vervolgens wordt een doorvertaling gemaakt naar de beleidsmogelijkheden voor het combineren van open systemen met grondwaterverontreinigingen. Hierbij wordt zowel gekeken naar een gevalsgerichte benadering (één grondwaterverontreiniging) als naar gebiedsgericht grondwaterbeheer (meerdere overlappende grondwaterverontreinigingen in een afgebakend gebied). Uitgangspunt hierbij is dat het toepassen van de open systemen ingebed dient te worden in de omgeving en niet mag botsen met overige diensten van de ondergrond.

4.1 Kader

De laatste jaren wordt er in Nederland veel gesproken over het opzetten van projecten waarbij open systemen en sanering van vervuild grondwater gecombineerd worden. Dit mede ingegeven door stagnatie in zowel sanering van grondwaterverontreinigingen als stagnatie in gebiedsontwikkeling (veelal stadscentra). Veel van deze initiatieven stranden in de ideeën-/ontwikkelingsfase, doordat de uitwerking niet concreet wordt. In andere gevallen zijn de plannen en businesscase wel haalbaar, maar biedt het geldende Wbb beleid en de diverse overheidsorganen (nog) geen mogelijkheden de plannen te realiseren. Daarnaast was er tot nog toe geen inzicht in de daadwerkelijke saneringsbijdrage van een open systeem bij een bodemsaneringsproject.

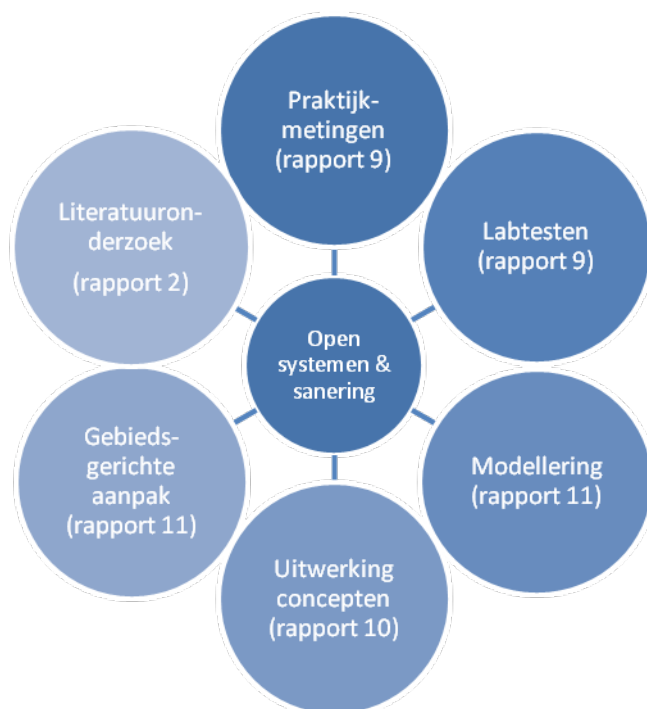
4.2 Onderzoeksvragen

Het onderzoek naar de combinatie van bodemenergiesystemen en sanering richt zich enerzijds op de daadwerkelijk sanerende werking van open systemen (door praktijkmetingen en modellering) en anderzijds op de kansen voor saneringsconcepten (op basis van theorie, labtesten en praktijk). Hierbij dient opgemerkt te worden dat er veldmetingen zijn gedaan op twee locaties met een open systeem (respectievelijk Eindhoven en Utrecht). Voor gesloten systemen kan het concept enkel op basis van literatuur beschouwd worden. De focus in dit hoofdstuk ligt dus hoofdzakelijk op de open systemen.

De twee centrale vragen met betrekking tot dit onderwerp zijn:

- *Wat is het (sanerend) effect van open systemen op een verontreiniging?*
- *Met welke technische aspecten moet rekening gehouden worden bij het ontwerp en beheer van open systemen in verontreiniging (zowel op individueel niveau als op gebiedsniveau)?*

In figuur 4.1 zijn de verschillende onderwerpen die gerelateerd zijn aan de combinatie van open systemen met sanering weergegeven. Per onderwerp is ook aangegeven in welke rapportage aanvullende informatie te vinden is over het uitgevoerde onderzoek.



figuur 4.1 Betrokken onderwerpen open systemen en sanering

4.3 Resultaten

Er hebben verschillende onderzoeken plaatsgevonden naar de combinatie van open systemen met sanering (#rapport 9, #rapport 10, #rapport 11). In de volgende paragrafen worden de onderzoeksresultaten gecombineerd om de onderzoeksvragen te beantwoorden

4.3.1 De (sanerende) effecten van open systemen

Effecten van temperatuursverandering

Het temperatuurseffect is tweeledig: enerzijds heeft de temperatuur effect op de verontreiniging zelf en anderzijds heeft de temperatuur effect op de microbiologie. Beide effecten en hun relevantie in het kader van open systemen worden hieronder toegelicht.

Uit de literatuurstudie blijkt dat temperatuur vooral invloed heeft op de fysieke gesteldheid van bodem- en grondwaterverontreinigingen en in mindere mate op de chemie (#rapport 2, hfdst. 12). De bestaande saneringstechnieken die gebruik maken van (hoge) temperatuur (tot wel 100°C) warmen de ondergrond zodanig op dat vloeibare/vaste verontreinigingen vloeibaar of zelfs gasvormig worden en zo kunnen oplossen cq. vervluchtigen. Het temperatuurbereik van de in MMB bemonsterde systemen is te laag om deze fysieke gesteldheid te beïnvloeden (#rapport 2, par. 12.3). De enige vorm van bodemenergie waarmee men dit zou kunnen bewerkstelligen is hogetemperatuuropslag.

Temperatuur heeft daarnaast invloed op biologische processen. De optimale temperatuur voor microbiologische afbraak van gechloreerde koolwaterstoffen (VOC) onder anaerobe omstandigheden ligt in het traject van 10 tot 30 °C. Uit de literatuur blijkt dat bij 40 à 50 °C de afbraak van DCE en VC stagneert. De range waarbinnen afbraak van VOC optimaal verloopt komt overeen met de temperaturen waarbinnen de onderzochte open systemen Utrecht-Centrum en Strijp-S in Eindhoven functioneren. Op de onderzochte locaties zijn de gemeten temperatuurverschillen tussen de bronnen en de natuurlijke grondwatertemperatuur echter te klein om een effect te kunnen hebben op de afbraak van verontreinigingen (#rapport 9, par. 4.3 en 5.3). In het algemeen geldt dat op veel locaties in Nederland waar bodemenergie wordt toegepast het organisch koolstofgehalte limiterend is voor de afbraak van VOC. Daarnaast zijn vaak de juiste bacteriën niet aanwezig. Hierdoor heeft een verhoging van de temperatuur weinig effect.

Effecten van menging en dynamiek

Op de locatie Utrecht-Centrum, een systeem dat al 20 jaar in bedrijf is, is de geochemische samenstelling van het grondwater vrij homogeen. Het zwaartepunt van de aanwezige verontreiniging ligt aan de stroomafwaartse zijde van het systeem. Het overgrote deel van de verontreiniging wordt niet door het systeem aangetrokken. Het systeem was echter ook niet ontworpen om de verontreiniging te saneren of geohydrologisch te beheersen. Het bodemenergiesysteem heeft niet geleid tot het verder verspreiden van de verontreiniging of het in oplossing gaan van organische stof. Wel is plaatselijk sprake van een toename van het aantal VOC-afbrekende bacteriën, die mogelijk door het rondpompen van het grondwater worden verplaatst. Uit metingen van VOC-concentraties blijkt dat op de locatie afbraak van VOC heeft plaatsgevonden. Omdat de gegevens niet vergeleken kunnen worden met soortgelijke data van buiten het invloedsgebied van het systeem, kan niet worden afgeleid of het bodemenergiesysteem een positieve bijdrage heeft geleverd aan het afbraakproces (#rapport 9, par. 4.3).

Op de locatie Strijp-S is een recirculatiesysteem aanwezig dat zorgt voor energiewinning én voor gedeeltelijke beheersing van de aanwezige grondwaterverontreiniging. Dit wordt ook wel een geohydrologisch beheerssysteem genoemd. Het systeem is zo ontworpen dat de verspreiding van verontreiniging met ongeveer 60 - 80% afneemt. Het systeem is pas sinds 2010 in werking, dus nog niet alle peilbuizen in en rond het systeem zijn beïnvloed. Hierdoor kunnen op deze locatie alleen voorlopige conclusies worden getrokken.

Ter plaatse van de peilbuizen waar beïnvloeding wel eenduidig is vastgesteld, heeft de menging, als gevolg van het toegepaste recirculatiesysteem, geleid tot gunstige condities voor afbraak. Er is een toename in organische stof en waterstof waargenomen. Daarnaast is hier een significante toename van de *Dehalococcoides* bacterie, de bacteriën die betrokken zijn bij reductieve dechlorering⁴ van VOCl. Er zijn tevens aanwijzingen dat deze bacteriën zijn verspreid door het rondpompen van grondwater. In welke mate deze bacteriën over de gehele locatie actief zijn en met welke snelheid de verontreiniging wordt afgebroken, is nog niet bekend (#rapport 9, par 5.3). Vervolgmetingen op de locatie zullen moeten uitwijzen of het positieve effect ter plaatse van de reeds beïnvloede peilbuizen over de gehele locatie wordt verspreid en of deze verbeterde afbraakcondities van blijvende aard zijn.

Een voorbeeld waarbij enige voorzichtigheid gewenst is met betrekking tot menging en verspreiding door open systemen, is bij de aanwezigheid van zaklagen binnen de invloedssfeer van een open systeem. Zaklagen zijn vloeibare verontreinigingen met een hogere dichtheid dan grondwater die als puur product naar beneden zijn gezakt in de bodem. Meestal gaat het om gechloreerde oplosmiddelen (VOCl). Tot op heden is er relatief weinig aandacht geweest voor de invloed van bodemenergiesystemen op deze zaklagen. Het uitgevoerde onderzoek [#rapport 11] geeft aan dat zaklagen binnen de invloedssfeer van open systemen versneld kunnen oplossen door de grotere stromingsdynamiek. Door de hoge concentratie verontreiniging in zaklagen kan hierbij veel verontreiniging in oplossing gaan en wordt de verontreiniging sterk verspreid. Het netto effect op de grondwaterkwaliteit hangt af van de balans tussen enerzijds de versnelde oplossing van zaklagen en anderzijds het (versterkt) optreden van (al dan niet gestimuleerde) afbraak.

Conclusie

Er zijn aanwijzingen dat door toepassing van open systemen in een grondwaterverontreiniging de afbraakcondities kunnen worden verbeterd. Vooral menging (o.a. door het bij elkaar brengen van reactanten en transport van bacteriën) en verdunning van het verontreinigde water lijken hier een bijdrage aan te leveren. Verspreiding van verontreinigingen kan worden verminderd door het slim positioneren van open systemen (voorbeeld Strijp-S). Op dit moment kunnen nog geen algemene stelregels worden gegeven in welke situatie en onder welke omstandigheden open systemen een sanerende werking hebben en hoe groot deze sanerende werking kan zijn. Deze sanerende werking zal locatiespecifiek onderzocht moeten worden door onder andere het bepalen van het biodegradatiepotentieel (aanwezigheid benodigde bacteriën, redoxcondities, aanwezigheid elektrondonor/elektronacceptor) en de grondwaterstroming.

⁴ Reductieve dechlorering: manier van anaerobe afbraak, waarbij de chlooratomen worden vervangen door waterstofatomen. Deze waterstofatomen ontstaan doordat bacteriën een voedingsstof (bijvoorbeeld organisch materiaal, vetzuren, alcoholen, of een nevenverontreiniging (BTEX of fenolen)) omzetten in waterstof. Het eindproduct van de reductieve dechlorering van PER (tetrachlooretheen) is etheen/ethaan. Tijdens dit afbraakproces worden achtereenvolgens TRI (trichlooretheen), DCE (dichlooretheen) en VC (vinylchloride) gevormd.

4.3.2 Technische aspecten op individueel niveau

De ambities en technische uitgangspunten van een bodemenergiesysteem en een saneringsmaatregel kunnen sterk van elkaar verschillen. Bij het combineren van deze twee is het van belang om vast te stellen welk van de ambities leidend is. Open bodemenergiesystemen vragen vaak om een groter debiet en een langere levensduur met een klein risico op verstopping van putten. Daarnaast bevinden voor bodemenergie geschikte watervoerende pakketten zich vaak op een andere diepte dan de grondwaterverontreiniging. Daarnaast geldt dat bij een gevalsgerichte aanpak van een verontreiniging waar een WKO wordt geplaatst, de eisen die aan sanerende werking worden gesteld veel hoger zullen zijn dan eventueel bij een gebiedsgerichte aanpak nodig is.

Om de vraag te beantwoorden welke technische combinaties mogelijk zijn, is een overzicht gemaakt van beschikbare saneringsmethoden en bodemenergiesystemen. Vervolgens zijn de potentiële combinatieconcepten getoetst aan de volgende randvoorwaarden:

- behoud van energierendement;
- lange levensduur (het uitblijven van putverstopping);
- halen van de saneringsdoelstelling;
- robuustheid;
- kostenefficiëntie.

Keuze combinatieconcept

Op basis van praktijkkennis en literatuur (#rapport2) is in #rapport 10 een overzicht gegeven van de verschillende combinatieconcepten die toegepast kunnen worden. Uiteindelijk zijn 12 potentieel kansrijke concepten geselecteerd die onder te verdelen zijn in de onderstaande vier categorieën.

1. bodemenergie en beheersing
2. bodemenergie en natuurlijke afbraak
3. bodemenergie met reactieve zone
4. bodemenergie en bovengrondse zuivering

Doordat iedere combinatie zijn eigen voor- en nadelen heeft is het niet mogelijk één meest kansrijk concept aan te wijzen. Per locatie zal daarom een specifieke afweging gemaakt moeten worden (#rapport 10).

Vervolgens zal moeten blijken of het combinatieconcept voordeliger is dan het apart voorzien in de energiebehoefte en de saneringsopgave. Omdat geen locatie gelijk is zullen locatiespecifieke kostenramingen opgesteld moeten worden om de meerwaarde van een combinatieconcept te berekenen. Om op basis van de huidige kennis een indruk van de meerwaarde te bepalen is een hypothetische case uitgewerkt. In deze case is een locatie gebruikt die representatief is voor locaties in Nederland: een sterk met VOC's verontreinigd freatisch pakket met daaronder een matig verontreinigd zandpakket waar een open WKO systeem in staat. Uit de uitwerking blijkt dat voor een dergelijke case een combinatieconcept kosteneffectiever is dan het apart uitvoeren van een open systeem en sanering.

In het algemeen geldt dat van de verschillende systemen het recirculatiesysteem het meest geschikt is om een verontreiniging te beheersen. Indien hulpstoffen aan het systeem worden toegevoegd is een recirculatiesysteem of een energetisch gunstiger triplet het meest geschikt vanwege de grotere voorspelbaarheid van de stroombanen. Het triplet heeft als bijkomend voordeel dat de relatief gelijkmatige stromingspatronen gecombineerd worden met een 'warme bel' waarin de natuurlijke afbraak mogelijk gestimuleerd wordt.

Effecten van de verontreiniging op het systeem

Binnen MMB is geen specifiek onderzoek uitgevoerd naar de effecten van een verontreiniging op het systeem. Echter, uit praktijkervaring op de locatie Utrecht-Centrum en op basis van materiaaleigenschappen in relatie tot mogelijke aan te treffen verontreinigingsconcentraties blijkt geen nadelig effect van de verontreiniging op het functioneren van het open systeem op te treden (#rapport 9). Hieruit en op basis van literatuurgegevens kan geconcludeerd worden dat bij lage VOCI concentraties (een factor honderd lager dan de maximale oplosbaarheid) het systeem niet aan speciale voorwaarden hoeft te voldoen. Echter, indien de verontreinigingsconcentraties tegen het oplosbaarheidsgrens aan liggen dient het systeem met speciaal materiaal aangelegd te worden (#rapport 2).

4.3.3 Technische aspecten van gebiedsgericht grondwaterbeheer

In rapport 11 van het Meer met Bodemenergie project is de inzet van WKO-systemen binnen een gebiedsgerichte benadering en context weergegeven. Het speelveld en toepassing van gebiedsgericht grondwaterbeheer is inmiddels veel breder dan alleen de focus op hoe om te gaan met verontreinigingen. Verontreinigingen spelen weliswaar een belangrijke rol en het beheer ervan dient goed afgewogen te worden, maar zijn niet per definitie leidend voor hoe gebiedsgericht grondwaterbeheer wordt ingericht en uitgevoerd. Dit is ook sterk afhankelijk gebleken van de partij (vaak gemeente en provincie) in kwestie. Een brede en integrale insteek vormt dan ook de basis voor hoe inzet van WKO systemen in verontreinigd gebied en in gebiedsgericht grondwaterbeheer kan worden geïntegreerd. Gebiedsgericht betekent in ultieme vorm integraal - rekening houdend met verschillende, soms moeilijk te vergelijken c.q. af te wegen aspecten. Hierbij valt te denken aan de afweging van verschillende soorten duurzame energie, en daaraan verbonden klimaataspecten, economische aspecten, boven- en ondergronds ruimtegebruik, sanering en risicobeheersing aangaande verontreinigingen.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4.4 Beleid

4.4.1 Huidig beleidskader

De provincies zijn bevoegd gezag voor open systemen in het kader van de Waterwet. Indien er sprake is van een (bodem-)verontreinigings situatie, is ook de Wet Bodembescherming (Wbb) van toepassing. De Wbb schrijft onder andere voor dat een verontreiniging niet verplaatst mag worden. In het kader van de Wbb is ofwel de provincie ofwel een (grote) gemeente bevoegd gezag.

De Wet Bodembescherming wordt momenteel gewijzigd⁵. Na de wetwijziging maakt de Wet Bodembescherming onderscheid tussen een gevalsgerichte aanpak van een verontreiniging en een gebiedsgerichte aanpak, specifiek voor verontreiniging van het diepere grondwater.

In het geval van een enkele bodemverontreiniging dient de gevalsgerichte benadering toegepast te worden. Deze houdt in dat de verontreiniging in kaart wordt gebracht en dat, indien nodig, een saneringsplan wordt opgesteld. De sanering heeft onder andere tot doel te voorkomen dat de verontreiniging zich (onaanvaardbaar) verspreid. Het is mogelijk een open systeem onderdeel te laten zijn van een dergelijke sanering. Als dit systeem de verspreiding van de verontreiniging vergroot, zal in het saneringsplan onderbouwd moeten worden waarom hiervoor gekozen wordt. Een voorbeeld hiervan is dat binnen de sanering de totale verontreinigingsvracht in de bodem afneemt en er geen kwetsbare objecten bedreigd worden.

In het geval dat in een gebied meerdere verontreinigingen aanwezig zijn in het diepe grondwater kan het, ook in het belang van de toepassing van open systemen, gunstig zijn om gebiedsgericht grondwaterbeheer toe te passen. Dit betekent dat de overheid (meestal het bevoegd gezag) de verantwoordelijkheid voor het beheer van de verontreinigingen in het diepe grondwater in een bepaald gebied op zich neemt. Hiertoe wordt een gebiedsbeheerplan opgesteld waarin wordt beschreven in hoeverre de verontreiniging zich binnen het gebied mag verspreiden. Ook wordt beschreven wat wordt gedaan om te zorgen voor vrachtvermindering en om te voorkomen dat de verontreiniging zich buiten het gedefinieerde gebied verspreid. Binnen een gebiedsbeheerplan kan ruimte gecreëerd worden voor de toepassing van open systemen.

In Box 1 wordt een toelichting gegeven op de gebiedsgericht grondwaterbeheer.

⁵ Het wetvoorstel tot wijziging is in januari 2012 in de Tweede Kamer aangenomen, behandeling in de Eerste Kamer moet nog gebeuren.

Box 1: Toelichting gebiedsgerichte aanpak van de verontreiniging van het diepere grondwater

Voor de gebiedsgerichte aanpak van diepere grondwaterverontreinigingen gelden bijzondere regels. Er wordt dan niet naar individuele gevallen gekeken, maar naar alle verontreinigingen in een bepaald gebied. Het beheersen van de verontreiniging binnen een vastgesteld gebied op een duurzame en verantwoorde manier is het uitgangspunt. Voorwaarde blijft, net als bij de gevalsgerichte benadering, dat grondwaterverontreinigingen geen onaanvaardbare risico's voor mens en ecosysteem met zich meebrengen. Wat als onaanvaardbaar risico gezien wordt, kan per gebied verschillen en wordt per gebied vastgelegd in beleid. Binnen gebiedsgericht grondwaterbeheer worden bron en pluim ontkoppeld, waarbij voor de bron de gevalsgerichte aanpak blijft gelden, maar de pluim wordt aangepakt op gebiedsniveau.

Verspreiding van de verontreiniging tot buiten het gebied is ongewenst en moet zoveel mogelijk – eventueel met aanvullende activiteiten - worden voorkomen. Binnen het gebied geldt daarentegen dat eventuele verspreiding van verontreiniging acceptabel is, mits dit niet strijdig is met aangegeven beoogde functies van het grondwater ter plekke. Met andere woorden: mits het beoogde gebruik van het grondwater niet in gevaar komt door eventuele extra verspreiding van de verontreiniging, dan is verspreiding geen onoverkomelijk probleem (meer). Door natuurlijke afbraak, eventueel ondersteund door aanvullende in-situ maatregelen/saneringsacties kan de verontreiniging in het gebied verder afnemen. Belangrijk is daarbij hoe het beheer van het grondwater plaatsvindt en dat dit duurzaam gebeurt.

Een bijkomend gevolg van een gebiedsgerichte aanpak is dat het onderzoek naar pluimomvang en afbakening van de individuele verontreinigingen niet meer noodzakelijk is. Grensbewaking blijft relevant.

4.4.2 Aandachtspunten gebiedsgerichte benadering

In bebouwd gebied waar veel verontreinigingen voorkomen dient, indien geen gebiedsgericht grondwaterbeheer is ingesteld, elke afzonderlijke verontreiniging als een apart geval behandeld te worden. Omdat dit zeer ingewikkeld en kostbaar is, vindt in de praktijk nu veelal geen beheersing van de verontreiniging plaats. Hierdoor worden gebiedsontwikkelingen, waaronder de toepassing van open systemen, geblokkeerd. Wanneer een open systeem in een dergelijk gebied gerealiseerd wordt, dienen namelijk de effecten van het systeem per verontreiniging inzichtelijk te worden gemaakt. Daarnaast mag het voorgenomen systeem de omringende verontreinigingen in principe niet beïnvloeden. Naast dat dit hoge kosten met zich meebrengt voor de initiatiefnemer, betekent dit vooral veel extra vooronderzoek, monitoring en een hoog risico op het niet voldoen aan de regelgeving. Hierdoor wordt in de praktijk vaak afgezien van de toepassing van open systemen in grootschalig verontreinigde, bebouwde gebieden, terwijl de energievraag daar juist hoog is.

Gebiedsgericht grondwaterbeheer kan deze belemmeringen wegnemen omdat de overheid dan de verantwoordelijkheid voor de grondwaterverontreinigingen op zich neemt. Binnen het afgebakende gebied wordt ingezet op optimale benutting van de kansen om (op termijn) tot kwaliteitsverbetering aangaande de verontreinigingen te komen. Bodemprocessen zoals natuurlijke afbraak zijn daarbij een belangrijke component, omdat meer ruimte is voor enige verspreiding binnen het gebied en daarmee ook ruimte en tijd voor bodemprocessen. Specifiek voor bodemenergie betekent dit dat verspreiding en menging binnen het gebied worden toegestaan.

Voorwaarden zijn wel dat de verontreiniging binnen de opgestelde grenzen blijft en dat bodemenergie voldoende meerwaarde (bijvoorbeeld significante bijdrage aan klimaatdoelstellingen leveren) creëert binnen het totale gebiedsplan. Dit maakt het eenvoudiger om bodemenergie in pluimen te realiseren en de mogelijke positieve combinatie-effecten te benutten. Ook grootschalige bodemenergieprojecten, bijvoorbeeld voor een hele stadswijk, worden hierdoor eenvoudiger te realiseren, omdat individuele gevallen minder bepalend worden. Meer ruimte voor KWO geeft bovendien een extra (economische) impuls waardoor ook meer middelen beschikbaar komen voor beheersing/sanering van verontreiniging.

In het gebiedsbeheerplan kan worden opgenomen op welke locaties open systemen zonder belemmering kunnen worden toegepast, op welke locaties het zelfs wenselijk is om open systemen toe te passen en op welke locaties het niet toegepast mag worden. De uitkomsten van MMB kunnen helpen bij de aanwijzing van deze plekken en bij het ontwerp van de toe te passen open systemen

Gebiedsgericht grondwaterbeheer staat echter nog in de kinderschoenen. Zoals gezegd is in januari 2012 in de Tweede Kamer een wetwijziging van de Wet Bodembescherming aangenomen om dit mogelijk te maken. Daarnaast wordt gewerkt aan een aangepaste Circulaire Bodemsanering, waaraan ook gebiedsgericht grondwaterbeheer wordt toegevoegd. In het *Convenant bodemontwikkelingsbeleid en aanpak speedlocaties* (kortweg: Bodemconvenant) uit 2009 is afgesproken dat de verschillende ondertekenaars (rijk, provincies, gemeenten en waterschappen) zich zullen inspannen voor gebiedsgericht grondwaterbeheer en daarnaast voor het duurzaam gebruik van de ondergrond.

Inmiddels hebben enkele overheden (met name gemeenten) plannen opgesteld voor gebiedsgericht grondwaterbeheer. In enkele gevallen worden open systemen hierin expliciet betrokken. Voorbeelden hiervan zijn de gemeente Zwolle, Utrecht en de gemeente Apeldoorn. De voorbeelden worden nader toegelicht in #rapport 11. Duidelijk is wel uit de verschillende cases dat gebiedsgericht grondwaterbeheer bij uitstek een kader schept waarin WKO systemen goed en duurzaam kunnen worden geïntegreerd.

Omdat nog weinig ervaring is opgedaan met gebiedsgericht grondwaterbeheer (al dan niet in combinatie met open systemen), zijn verschillende partijen nog huiverig om hiermee te beginnen. Vooral omdat de consequenties voor wat betreft verantwoordelijkheden en financiën groot kunnen zijn. Er zijn momenteel verschillende initiatieven om deze drempel te verlagen, zoals het uitwisselen van ervaringen op internet (www.grondwatercollectief.nl) en in een zogenaamde "community of practice". Daarnaast zijn of worden er verschillende documenten geschreven om handvatten te bieden bij het instellen van gebiedsgericht grondwaterbeheer, o.a.:

- Handleiding Juridische Helderheid in Grondwaterbeheer (januari 2012) (SKB);
- Organisatie en financiering van gebiedsgericht grondwaterbeheer (mei 2011) (Uitvoeringsprogramma Bodemconvenant);
- Handreiking Masterplannen Bodemenergie (oktober 2011) (SKB).
- Handleiding BOEG - Bodemenergie en grondwaterverontreiniging (6 april 2010) (NVOE).

4.4.3 Aandachtspunten gevalgerichte benadering

Indien de wens bestaat open systemen toe te passen in een gebied waar één grondwaterverontreiniging aanwezig is, kan dat onder de voorwaarde dat:

- of het open systeem de verspreiding van de verontreiniging niet negatief beïnvloed (= vergroot). Hierbij kan gedacht worden aan een beheersend systeem zoals op de locatie Strijp-S (zie paragraaf 4.3.1).
- of het open systeem meegenomen is in het saneringsplan. In dat geval moet onderbouwd worden waarom de verspreiding die optreedt als gevolg van het open systeem acceptabel is. Indien het bevoegd gezag hiermee instemt, is ook binnen de gevalsgesichte benadering (een beperkte) verspreiding van de verontreiniging mogelijk.

Aandachtspunt bij het toestaan van beperkte verspreiding is dat goed onderbouwd moet worden waarom de totale sanering een positief milieueffect heeft (bijvoorbeeld: wel enige verspreiding, maar aanzienlijke vrachtverwijdering in de bron). Het bevoegd gezag kan zelf besluiten of het in deze redenering meegaat of niet. Gezien de ontwikkelingen die beschreven zijn in paragraaf 4.4.2 (trend naar gebiedsgerichte benadering en duurzaam gebruik van de ondergrond in plaats van koste wat het kost alles saneren), is de verwachting dat in de toekomst steeds meer overheden openstaan voor een brede (milieu)belangenafweging.

4.5 Advies

Het huidige wettelijke kader waarbinnen de combinatie van sanering met open systemen valt, is de Wet bodembescherming (Wbb). Met name hoofdstuk IV van deze wet is hiervoor relevant. Hierin staat aangeduid wanneer moet worden gesaneerd, wie verantwoordelijk is en hoe de sanering in grote lijnen in zijn werk gaat aan de hand van meldingen en een saneringsplan. De Wet Bodembescherming wordt momenteel aangepast en biedt dan expliciet ruimte voor een gebiedsgerichte aanpak van grootschalige verontreinigingen. Met name in bebouwd gebied, waar de wens bestaat om ook andere ondergrondse functies te laten plaatsvinden, biedt dit goede kansen om op een verantwoorde manier om te gaan met de combinatie verontreiniging en open systemen. In de praktijk worden nu nog veel vergunningen voor open systemen geweigerd vanwege de kans dat een verontreiniging wordt verplaatst. Hiermee wordt veel energiebesparing en CO₂-emissiereductie geblokkeerd. Momenteel wordt hard gewerkt aan het stimuleren en faciliteren van gebiedsgericht grondwaterbeheer, waardoor deze onwenselijke situatie deels opgeheven moet worden. Wij raden aan om kennis en ervaring die wordt opgedaan op dit gebied actief te delen met alle relevante partijen, bijvoorbeeld door continuering van de communicatiestructuur die binnen MMB is opgericht.

Vanuit het project Meer met Bodemenergie is een aantal gevallen geïdentificeerd waar gebiedsgericht grondwaterbeheer of een brede duurzaamheidsafweging bij een gevalsgeschiede benadering bij uitstek geschikt zijn om open systemen mogelijk te maken. Het gaat hierbij om de volgende omstandigheden en situaties, of combinaties daarvan:

- Locaties waar een hoge grondwaterstroming aanwezig is: bij een hoge grondwaterstroming is de mate van verspreiding van de verontreiniging door de grondwaterstroming groot in vergelijking met de verspreiding ten gevolge van het bodemenergiesysteem;
- Locaties waar het grondwater momenteel niet voor consumptiedoeleinden onttrokken wordt en dit in de toekomst niet zal gebeuren, bijvoorbeeld omdat er sprake is van zout grondwater. Voorwaarde is wel dat er ook geen andere kwetsbare objecten bedreigd worden;
- Locaties waar de condities voor natuurlijke afbraak van verontreinigingen gunstig zijn: door de verspreiding van de verontreiniging kan deze in bepaalde gevallen sneller afbreken. Uit MMB is gebleken dat een open systeem de potentie van de natuurlijke afbraak kan vergroten;
- Gebieden waarbinnen op grote schaal verontreinigingen aanwezig zijn, zoals in het centrum van veel grote steden.

Op basis van de huidige meetresultaten van MMB kan geconcludeerd worden dat het combineren van open bodemenergiesystemen met bodemsanering een mogelijk positieve bijdrage kan leveren aan de natuurlijke afbraak van een verontreiniging. Hoe groot deze bijdrage is, zal per locatie nader gekwantificeerd moeten worden (par. 4.3.1). De bijdrage is sterk afhankelijk van diverse factoren zoals de aard en concentraties van de verontreiniging, eigenschappen van de bodem en de van nature aanwezige grondwaterstroming. Doordat deze factoren van plaats tot plaats verschillen zal per locatie onderzoek gedaan moeten worden naar de afbraakomstandigheden en de effect van stimulatie. Voldoende kennis van het samenspel van de genoemde factoren en de mogelijkheden tot sturing hierop is van belang.

5 Energiebalans

Het onderwerp 'energiebalans' maakt geen deel uit van het oorspronkelijke projectplan van Meer Met Bodemenergie. Echter, tijdens de werksessies voor werkpakket 1 is gebleken dat meer inzicht en kennis over dit onderwerp wel gewenst is. In dit hoofdstuk wordt daarom het beleidsaspect energiebalans beschreven. Voor een belangrijk deel is gebruik gemaakt van de resultaten van het "Onderzoek Criteria Energiebalans WKO" (d.d. 22 februari 2012) (o.a. ook SKB).

5.1 Kader

Voor een 'traditioneel' open systeem (energieopslagsysteem) geldt momenteel de eis van een energiebalans. Dat wil zeggen dat evenveel koude als warmte in de bodem moet worden gebracht. Bij het ontwerp van een open systeem wordt een inschatting gemaakt van de warmte- en koudebehoefte van een gebouw. Vervolgens wordt bepaald welk deel van de warmte- en koudebehoefte vanuit de bodem moet worden geleverd. Op basis van deze warmte- en koudevraag aan de bodem en de gehanteerde onttrekkings- en infiltratietemperatuur, wordt de hoeveelheid grondwater berekend die moet worden verpompt om de benodigde warmte en koude te kunnen leveren. Hierbij wordt gekeken naar de totale vraag per seizoen (de totale energielevering) en tijdens een piekbelasting (het koelvermogen dan wel verwarmingsvermogen van het grondwatersysteem). Op basis van de verkregen waterhoeveelheden wordt een vergunning Waterwet aangevraagd.

Wanneer de warmte- en koudevraag aan de ondergrond niet gelijk zijn, kunnen grotere thermische effecten ontstaan dan wanneer deze wel gelijk zijn. Doordat meer warmte dan wel koude wordt geïnfiltreerd wordt de warme of koude bel ieder jaar groter. Hierbij moet worden benadrukt dat de maximale temperatuur niet hoger wordt dan de maximale infiltratietemperatuur.

Volgens het huidige provinciale beleid (en ook in het toekomstige Besluit Bodemenergie) mag geen structurele opwarming- of afkoeling van de ondergrond plaatsvinden. Men vreest dat structurele opwarming/afkoeling van de ondergrond structurele veranderingen van de grondwaterkwaliteit kan veroorzaken en/of kan leiden tot beperkingen voor andere (toekomstige) grondwatergebruikers. In het huidige beleid wordt daarom een energiebalans geëist met een bepaalde maximale afwijking. Dit betekent dat de hoeveelheid onttrokken energie gelijk moet zijn aan de geïnjekteerde energie gemeten over één tot enkele jaren. De specifieke invulling van de energiebalans verschilt per provincie.

Met de komst van het Besluit Bodemenergie wordt de energiebalanseis voor alle provincies gelijk getrokken. Voor systemen met een debiet $\geq 10 \text{ m}^3/\text{uur}$ geldt dat de totale hoeveelheid warmte en koude in de eerste vijf jaar⁶ op enig moment aan elkaar gelijk moeten zijn en daarna op enig moment gedurende elke volgende periode van drie jaar. Bij kleine systemen (debiet $< 10 \text{ m}^3/\text{uur}$) is netto afkoeling van het grondwater toelaatbaar.

Uit praktijkonderzoek [Lit. 1] blijkt echter dat het ieder jaar behalen van een sluitende energiebalans moeilijk is. Dit heeft onder andere te maken met het feit dat de klimatologische omstandigheden (temperatuur, zon, wind) van invloed zijn op de warmte- en koudevraag van een gebouw. Daarnaast bestaan er concepten waarbij gebouwszijdig al geen energetische balans is qua warmte- en koudevraag. Bijvoorbeeld bij woningbouwprojecten is de warmtevraag meestal groter dan de koudevraag. Hierdoor is regelmatig een extra regeneratievoorziening noodzakelijk om te kunnen voldoen aan de geëiste energiebalans. Deze regeneratievoorzieningen brengen extra kosten met zich mee, kunnen zorgen voor overlast (geluid), zorgen voor extra energieverbruik en verminderen de CO_2 emissiereductie. Door de investerings- en de exploitatiekosten van deze regeneratiesystemen kunnen de systemen minder aantrekkelijk of zelfs financieel onrendabel worden.

Het belangrijkste doel van de energiebalans voor de eigenaar van het systeem is het op peil houden van het voorraadbeheer, zodat voldoende warmte en koude wordt opgeslagen om in het volgende seizoen aan de energievraag te kunnen voldoen. Hierbij is het echter niet noodzakelijk dat de balans precies sluitend is (#rapport 2, par. 4.2 en par. 4.6.1).

5.2 Onderzoeksvragen

Zoals aangegeven in de inleiding zijn in het projectplan van MMB geen specifieke vragen geformuleerd over het onderwerp Energiebalans. Gezien het gelijkwaardige karakter van het energiebalansonderzoek, dat gelijktijdig met het laatste deel van MMB is uitgevoerd, lijkt het de onderzoekers zinvol om deze resultaten mee te nemen in het eindrapport van werkpakket 1.

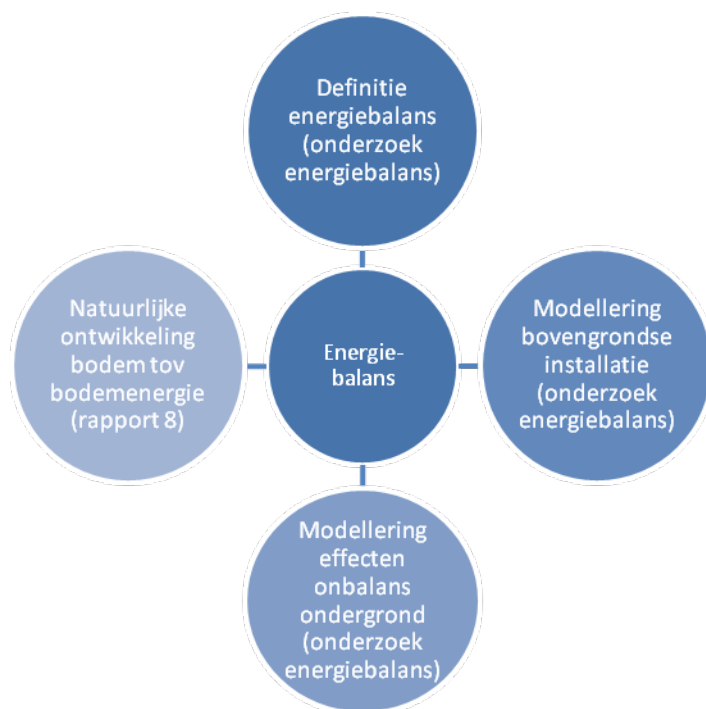
In het kader van Samenwerkingsprogramma WKO is onderzoek gedaan naar de nut en noodzaak van de energiebalans. De resultaten zijn beschreven in het rapport "Onderzoek Criteria Energiebalans WKO" (d.d. 22 februari 2012). Dit onderzoek is uitgevoerd door DWA en IF Technology in opdracht van SKB, IPO en NVOE en richt zich alleen op de toepassing van open systemen.

In dit onderzoek zijn de volgende vragen onderzocht:

1. Wat is de invloed van de bovengrondse installatie op de energiebalans?
2. Wat zijn ondergronds de gevolgen van een afwijking in de energiebalans?
3. Hoe staan de gevolgen van afwijkingen in de energiebalans in verhouding tot de autonome opwarming als gevolg van klimaatverandering en verstedelijking?

⁶ Deze termijn is middels een motie (motie Wiegman-Van Meppelen Scheppink c.s. (29 383, nr. 185) verruimd van drie naar vijf jaar. Daarnaast werd in de motie gevraagd om een (beperkt) koudeoverschot toe te staan bij grote systemen. Aan dit deel van de motie is niet tegemoet gekomen.

In figuur 5.1 zijn de verschillende onderwerpen die energiebalans-gerelateerd zijn aangegeven. Per onderwerp is ook aangegeven in welke rapportage meer informatie te vinden is over het betreffende onderwerp.



figuur 5.1 Betrokken onderwerpen energiebalans

In de volgende paragraaf worden deze vragen beantwoord.

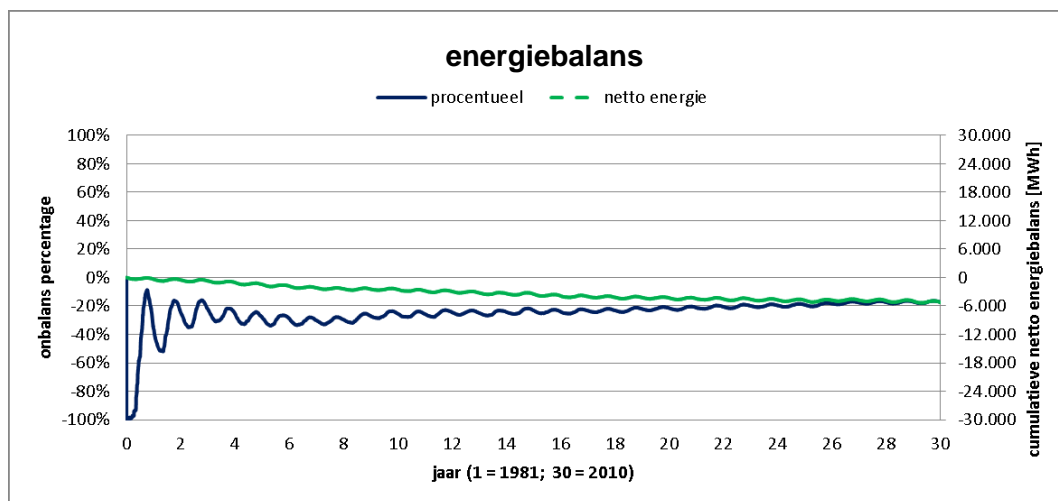
5.3 Resultaten onderzoek

5.3.1 Open systemen en de bovengrondse installatie

Voor de analyse van het gedrag van open systemen op gebouwniveau is gebruikgemaakt van een standaard kantoorgebouw met een open systeem en bijpassende energieopwekkings- en afgifte-installaties. Aan de hand van klimaatdata van het KNMI en drie gebruiksscenario's zijn de effecten van het klimaat en het gebouwgebruik op de warmte- en koudevraag (en dus energiebalans) aan de ondergrond gemodelleerd (Onderzoek criteria energiebalans, par. 4.1).

Uit de resultaten blijkt dat de afstemming tussen de bovengrondse (gebouwszijdige) installatie van een open systeem en het ondergrondse grondwatersysteem belangrijk is, onder andere omdat de bovengrondse installatie bepalend is voor de ondergrondse omvang van de thermische invloedsgebieden en het in stand houden van de energiebalans. Bij een goed functionerende installatie is het gebouwgebruik de invloedsfactor met de grootste impact op de omvang van de energievraag en de energiebalans, gevolgd door de klimaatinvloed. Het gebouwgebruik is echter een moeilijk voorspelbare invloedsfactor voor ontwerpers van open systemen: meestal zijn de jaarlijkse warmte- en koudevraag van een gebouw niet gelijk in omvang. Daarnaast kan de inrichting en functionaliteit van een gebouw veranderen, waardoor de gebouwszijdige vraag verandert (Onderzoek criteria energiebalans, par. 4.1.4).

Als sprake is van een cumulatieve definitie van de energiebalans (netto in de bodem gebrachte hoeveelheid koude en warmte over alle voorgaande jaren samen) dan zal niet ieder jaar een energiebalans nodig zijn. Als na enkele jaren duidelijk wordt dat (onafhankelijk van de klimaatomstandigheden) structureel sprake is van een onbalans één kant op (bijvoorbeeld ieder jaar een warmteoverschot), dan zal het moeilijk zijn om dit naderhand nog te herstellen. De combinatie van een cumulatief geformuleerde energiebalans en een eis van elke drie jaar door de nul leidt ertoe dat systemen die eenmaal een afwijking hebben gehad grote voorzieningen moeten treffen om weer “door de nul te kunnen” (Onderzoek criteria energiebalans, par. 4.1.2). Figuur 5.2 geeft dit grafisch weer.



figuur 5.2 Procentuele en cumulatieve netto energiebalans door het effect van een warmer klimaat, zonder balanscorrectie

⁷ De procentuele energiebalans is het verschil tussen de totale hoeveelheid warmte en koude, uitgedrukt in MWh (megawattuur), die door een bodemenergiesysteem vanaf de datum van ingebruikneming van het systeem aan de bodem is toegevoegd, gedeeld door de som van de totale hoeveelheid toegevoegde warmte en koude.

Correctie onbalans

Voor het corrigeren van een onbalans zijn meerdere strategieën mogelijk. In de eerste plaats is het mogelijk om de warmte- en koudevraag volledig met het bodemenergiesysteem te leveren. De onbalans moet in dit geval worden gecorrigeerd door extra warmte of koude in de bodem op te slaan (regeneratie). Het gebruik van regeneratievoorzieningen leidt echter tot extra energiegebruik waardoor de beoogde energiebesparing en emissiereductie vermindert en de kosten tegelijkertijd stijgen. De extra kosten kunnen oplopen tot enkele euro's per jaar per m² (utiliteitsbouw). Dit betekent qua orde van grootte 10% extra energiekosten (Onderzoek criteria energiebalans, par. 4.1.3 en 4.2.2).

Een andere mogelijkheid is om de kleinste vraag als maatgevend voor het bodemenergiesysteem te beschouwen. Als de koudevraag het grootst is, dan wordt alle warmte met het bodemenergiesysteem geleverd en is de koudelevering daaraan gelijk. Het resterende deel van de koude wordt dan met conventionele installaties geleverd (bijvoorbeeld koelmachines). Voordeel van deze optie is dat geen regeneratievoorzieningen nodig zijn. Nadeel is echter dat de inzet van het bodemenergiesysteem vermindert, waardoor de energiebesparing en emissiereductie afneemt. Omdat de exacte energievraag vooraf moeilijk in te schatten is, is het dimensioneren van het bodemenergiesysteem niet eenvoudig. Als vervolgens blijkt dat de energiebalans niet wordt gehaald, wordt er vaker voor gekozen om het bodemenergiesysteem minder in te zetten en de extra energie te leveren met de conventionele voorzieningen. Bodemenergiesystemen zijn namelijk moeilijker modulair aanpasbaar in vergelijking met conventionele back-up technologieën (ketels en koelmachines). Moeilijk haalbare criteria met betrekking tot de energiebalans kunnen snel aanpasbare installaties vereisen. Dit kan leiden tot een 'vlucht naar conventioneel', zodat bodemenergie minder wordt ingezet.

5.3.2 Open systemen en ondergronds ruimtegebruik

Over het feit dat de mate van energiebalans van invloed is op het ondergrondse ruimtegebruik bestaat geen twijfel. De vraag is echter hoe groot deze invloed op het ondergrondse ruimtegebruik is ten opzichte van andere factoren. Het ondergronds ruimtegebruik wordt in het "Onderzoek criteria energiebalans" uitgedrukt door middel van de zogenoemde "footprint". Dit is de ondergrondse ruimte die in beslag wordt genomen door de (omtrek van) de warme en koude bellen: het thermisch invloedsgebied (Onderzoek criteria energiebalans, par. 5.1.1).

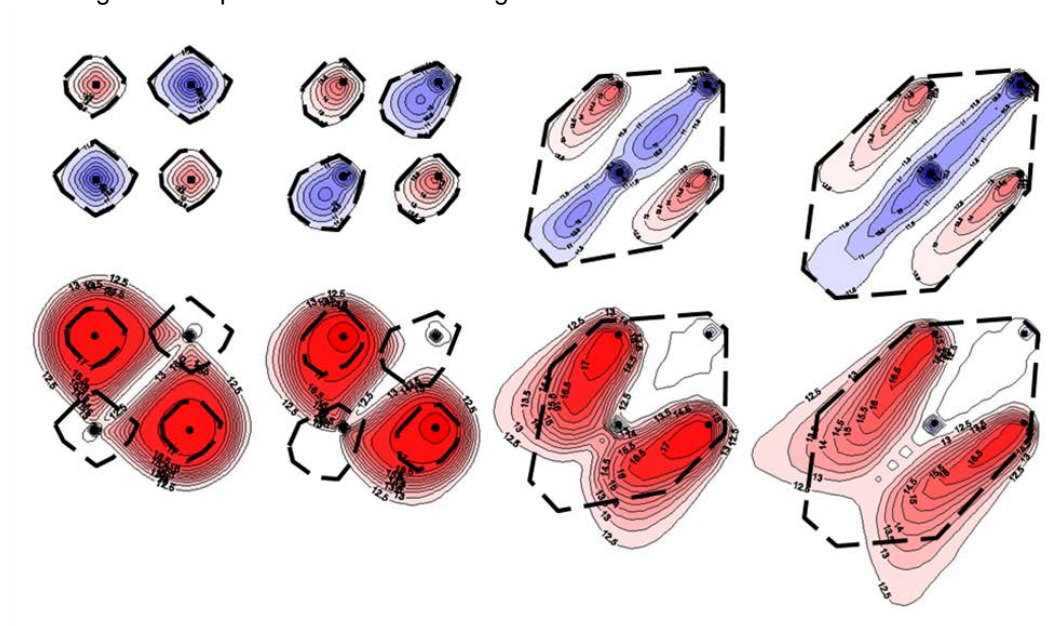
Zowel bovengrondse als ondergrondse factoren hebben invloed op het ondergrondse ruimtegebruik. De bovengrondse factoren zijn in de vorige paragraaf benoemd. Ondergrondse factoren die invloed hebben zijn:

- Aquiferdikte en filterlengte
- Gebruik van filters op verschillende dieptes
- Heterogeniteit van de bodem
- Afstand tussen de bronnen
- Grondwaterstroming

In het "Onderzoek criteria energiebalans" is een aquiferdikte en filterlengte aangenomen en is voor de afstand tussen de bronnen uitgegaan van de thermische straal van de bel. Bij een structurele onbalans neemt de thermische staal van de bel waarin het overschot terecht komt ieder jaar toe. De invloed van heterogeniteit is bij de gekozen bronafstanden (conform de normen van de NVOE) beperkt. Vervolgens is vooral gekeken naar de invloed van de grondwaterstroming op het ondergronds ruimtegebruik (Onderzoek criteria energiebalans, par. 5.1.2).

Om de invloed van de grondwaterstroming te bepalen zijn modelberekeningen uitgevoerd. De modellen die zijn gebruikt om de invloed van klimaat en gebouwgebruik te bepalen zijn vertaald naar input voor de modellering van de ondergrond. Hierbij is gerekend met vier verschillende stroomsnelheden (0, 10, 30 en 50 m/jaar) voor zowel een balans- als een onbalanssituatie. Het model simuleert een open systeem gedurende dertig jaar. Aan het einde van deze dertig jaar is het systeem stopgezet en is voor de daaropvolgende periode van honderd jaar berekend hoe de bodemtemperaturen zich ontwikkelen (uitdoving temperaturen) (Onderzoek criteria energiebalans, par. 5.1.4).

Uit de resultaten van de modellering blijkt dat de grootte van het thermisch invloedsgebied zowel door de mate van energie(on)balans als door de snelheid van de grondwaterstroming wordt bepaald. Dit is te zien in figuur 5.3.



figuur 5.3 Thermisch invloedsgebied aan het einde van de winter na 30 jaar bodem-energie bij een energiebalans (boven) en een energieonbalans (onder) en verschillende snelheden van de grondwaterstroming. Van links naar rechts de situatie bij een grondwaterstroming van 0, 10, 30 en 50 meter per jaar. De stippellijnen geven de contouren van de footprint aan voor de situatie met een energiebalans en zijn ter vergelijking ook geplot over de contouren van de scenario's met een onbalans.

Bij lage stroomsnelheden is de mate van energie(on)balans de meest bepalende factor: bij een sterke onbalans is het thermisch invloedsgebied duidelijk groter dan bij een energiebalans. Bij hoge stroomsnelheden is de grondwaterstroming bepalend voor de grootte van de footprint: bij 30 en bij 50 m/jaar is het verschil in oppervlakte tussen de footprint beperkt. Het enige verschil is dat bij een onbalanssituatie vooral één type energie afstroomt (bijvoorbeeld vooral warmte), terwijl bij een balanssituatie even veel warmte als koude afstroomt (Onderzoek criteria energiebalans, par. 5.3.1).

Daarnaast heeft de grondwaterstroming invloed op de uitdoving van een systeem. Zonder grondwaterstroming blijft de warmte en/of koude lang behouden. Dit geldt bij zowel een balanssituatie als een onbalanssituatie. Bij hogere stroomsnelheden worden de warmte en/of koude sneller verspreid. Bij een energiebalans vindt echter niet alleen verspreiding van de warmte en koude plaats, maar verdwijnt ook warmte en koude doordat het met elkaar in contact komt. Gevolg is dat de thermische effecten sneller uitdoven bij een energiebalans dan bij een onbalans (Onderzoek criteria energiebalans, par. 5.2 en 5.3).

5.3.3 Autonome opwarming

In de praktijk blijkt meestal niet te worden voldaan aan de vereiste energiebalans. Deze onbalans kan van belang zijn voor de lange termijn ontwikkeling van de bodemtemperatuur. Om een indruk te verkrijgen van de gevolgen van een langdurige onbalans in een gebied waar zich veel open systemen bevinden zijn enkele oriënterende berekeningen uitgevoerd. Doel van de berekeningen is om na te gaan in hoeverre de gemiddelde bodemtemperatuur in een gebied door de jaren heen kan gaan oplopen. Voor de berekeningen is uitgegaan van het centrum van Den Haag, een gebied met een zeer hoge dichtheid aan open systemen (#rapport 8, par. 3.2.1).

In de woningbouw en de agrarische sector is sprake van een koudeoverschot. Bij utiliteit en de industrie is sprake van een warmteoverschot. In stedelijk gebied overheerst een mix van woningbouw en utiliteit. Hierdoor wordt in stedelijk gebied een energiebalans op gebiedsniveau verwacht tussen -10% (koudeoverschot) en +5% (warmteoverschot), afhankelijk van welke type bebouwing overheerst.

Bij deze energieonbalans is voor het centrum van Den Haag (o.b.v. de huidige vergunningshoeveelheden) een invloed berekend tussen 0,02 °C afkoeling en 0,01 °C opwarming per jaar. Bij dezelfde dichtheid aan systemen is in industriegebieden een opwarming met 0,15 °C/jaar te verwachten.

Geconcludeerd wordt dat de te verwachten temperatuurveranderingen door open systemen beperkt zijn, zolang bij benadering sprake is van een energiebalans. Opgemerkt wordt dat door de klimaatverandering en verstedelijking op de lange termijn een verschuiving kan optreden in de verhouding tussen de warmtevraag en de koudevraag (meer koelbehoefte en minder warmtevraag), waardoor de energiebalans enigszins zou kunnen verschuiven en minder afkoeling dan wel meer opwarming van de ondergrond door bodemenergie mag worden verwacht.

Echter, bij de huidige toepassingsgraad van bodemenergie is de opwarming van de bodem door de klimaatverandering en het stedelijk warmte-eiland significant groter dan de afkoeling door onbalans bij warmtelevering met bodemenergie (# rapport 8, par. 4.1). Doordat de opwarming van de ondergrond door klimaatverandering geconcentreerd is in de bovenste 50 à 100 m en open systemen ook op grotere dieptes worden toegepast, kunnen de dieptes waarop deze effecten optreden verschillen (zie figuur 3.3, par. 3.3.1).

5.4 Beleidskader

5.4.1 Huidige beleidskader

Vanuit zorg voor het ondergrondse bodemmilieu en de beschikbaarheid van (koel) grondwater hebben alle provincies een energiebalanseis opgenomen in hun beleid. Het is gangbaar te stellen dat de hoeveelheid onttrokken koude en warmte binnen bepaalde marges met elkaar in evenwicht moeten zijn: per provincie varieert de energiebalanseis van 15% afwijking in de eerste 5 jaar en 10% afwijking na 10 jaar tot een sluitende balans per twee jaar.

Door de komst van het Besluit Bodemenergie in 2013 zal de energiebalanseis worden aangepast. In het concept van het Besluit Bodemenergie is de eis als volgt gedefinieerd: voor systemen met een debiet $\geq 10 \text{ m}^3/\text{uur}$ geldt dat de totale hoeveelheden warmte en koude in de eerste vijf jaar op enig moment aan elkaar gelijk moeten zijn en daarna op enig moment gedurende elke volgende periode van drie jaar. Bij kleine systemen (debiet $< 10 \text{ m}^3/\text{uur}$) is netto afkoeling van het grondwater toelaatbaar.

Binnen het Besluit Bodemenergie is het mogelijk om af te wijken van dit voorschrift op grond van artikel 6.11g van het Waterbesluit, mits dat niet conflicteert met de doelstellingen en belangen van de Waterwet. Te denken valt aan de volgende situatie: als op gebiedsniveau aan het standaardvoorschrift wordt voldaan door sommatie van de energiebalansen van de individuele systemen in dat gebied (ontwerp BUM BE deel, par. 3.3: toetsingscriterium 4.2).

5.4.2 Gewenste aanpassingen

In het verleden is gebleken dat het in de praktijk niet eenvoudig is om aan de strikte provinciale eisen te voldoen. De warmte- en koudevraag van gebouwen varieert namelijk sterk door fluctuaties in het gebouwgebruik en het buitenklimaat. Er is zelden op natuurlijke wijze sprake van een energiebalans. Naar verwachting zal de formulering van de eisen uit het Besluit Bodemenergie ertoe leiden dat het aandeel levering door bodemenergie zal afnemen. Dit heeft als gevolg dat de energiebesparing door toepassing van bodemenergie onder druk komt te staan, evenals het financieel rendement. Dit levert een onwenselijke situatie op.

Om dit te voorkomen bestaat de wens om meer duurzame sturingsmogelijkheden op de energiebalans te hebben. Dit kan door koppeling van bodemenergie met andere duurzame bronnen/technieken en door gebiedsgerichte sturing op balans. Uit de berekeningen in #rapport 8 is gebleken dat op stedelijk gebiedsniveau een onbalans wordt verwacht tussen -10% (koudeoverschot) en +5% (warmteoverschot), afhankelijk van welke type bebouwing overheerst. Belangrijk aandachtspunt bij het formuleren van de criteria is de bescherming van de bodem en de natuurlijke grondwatertemperatuur. Deze mogen niet lijden onder de versoepeling van de energiebalans.

Op gebiedsniveau kunnen bronnen optimaal geplaatst worden ten opzichte van de grondwaterstroming. Bij een sterke onbalans kan een kleine afwijking in de richting van de grondwaterstroming de 'tegenpolen' (warme of koude bellen) verstoren. Bij een groot warmteoverschot kunnen bijvoorbeeld de koude bellen last krijgen van een toestromende warmtepluim.

5.4.3 Afwegingen gewenste aanpassingen

Het belangrijkste voordeel van het aanpassen van de energiebalanseis is dat dit een extra energiebesparing op kan leveren, omdat minder energie gestoken hoeft te worden in het herstellen van de energiebalans (regeneratie) en/of minder gebruik gemaakt hoeft te worden van conventionele installaties om een onbalans te voorkomen (#rapport 2, par. 8.2.1). Uit MMB is gebleken dat de huidige infiltratietemperaturen geen invloed hebben op de bodem en grondwaterkwaliteit. Door een onbalans kan een overschot van warmte ontstaan in de bodem. Dit overschot heeft echter nooit een hogere temperatuur dan de maximale infiltratietemperatuur en zal de kwaliteit van de bodem en het grondwater daarom niet beïnvloeden. Eenzijdige opwarming of afkoeling kan wel de intrinsieke waarde van de ondergrond beïnvloeden. Dit vormt een aandachtspunt.

Wat een aandachtspunt vormt is dat door een onbalans de natuurlijke grondwatertemperatuur kan veranderen wat van invloed kan zijn op het gebruik en de buffercapaciteit van het grondwater. Daarnaast kan door het aanpassen van de energiebalanseis is dat het ruimtegebruik in de bodem toeneemt. Dit kan met name in drukke gebieden een knelpunt opleveren. Als het ondergronds ruimtebeslag niet bewaakt wordt kan er sprake zijn van interferentie. Dit kan zowel interferentie met een naastgelegen bodemenergiesysteem zijn, als interne kortsluiting tussen de warme en de koude bronnen van hetzelfde systeem ("eigen interferentie"). Dit kan leiden tot verlies van het energetisch rendement.

Het is derhalve noodzakelijk (beperkende) criteria op te stellen, om zodoende het ondergrondse ruimtegebruik te beperken/reguleren, het rendement van het bodemenergie te garanderen en om de buffercapaciteit van de bodem te behouden. In hoeverre het aanpassen van een energiebalans acceptabel is, zou kunnen worden afgewogen op basis van de bijbehorende voordelen (afname energieverbruik en kosten; eventuele positieve gevolgen voor omgevingsbelangen) en nadelen (nadelige gevolgen voor technisch functioneren van het bodemenergiesysteem en de huidige en toekomstige belangen in de omgeving).

5.5 Advies

Uit het “Onderzoek criteria energiebalans” is gebleken dat de energiebalans slechts één van de factoren is die het ondergronds ruimtegebruik bepalen. Omdat de borging van een energiebalans niet garandeert dat het ondergronds ruimtegebruik wordt beperkt, en omdat dit installatietechnisch en financieel zo complex is, stellen wij voor om de huidige set van eisen opnieuw tegen het licht te houden. Het gaat hierbij om de infiltratietemperatuur, de energiehoeveelheden, de energiebalans en ook het rendement van systemen. Daarnaast moet worden gekeken naar de randvoorwaarden voor de bodem: bij welke condities kan een afwijking van de energiebalans worden toegestaan? Hierbij kan worden gedacht aan diepte en grondwaterstromingssnelheid.

Omdat sturing op de energiebalanseis in de praktijk voor veel installaties problematisch is, wordt geadviseerd om binnen deze integrale discussie te overwegen om voor een aantal situaties hiervan af te wijken. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen drie situaties:

1. Individueel bodemenergiesysteem in stedelijk gebied
2. Individueel bodemenergiesysteem in landelijk gebied
3. Collectief systeem, dichtbebouwde gebieden

1. Individueel bodemenergiesysteem in stedelijk gebied

Uit het “Onderzoek criteria energiebalans” blijkt dat bij de huidige toepassingsgraad van bodemenergie de opwarming van de bodem door de klimaatverandering en het stedelijk warmte-eiland significant groter is dan de afkoeling door onbalans bij warmtelevering met bodemenergie. Dit effect treedt met name op in de bovenste 50 à 100 meter van de ondergrond. Door de netto opwarming in stedelijk gebied vervalt het belang van het strikt vermijden van netto afkoeling, met name in deze bovenste 50 à 100 meter. In stedelijk gebied kan op grond daarvan worden overwogen om enige mate van koudeoverschot toe te staan voor systemen die tot 100 m-mv worden geplaatst. Hieraan dienen voorwaarden te worden verbonden om het ondergronds ruimtegebruik te voorkomen en daarmee geen belemmeringen opwerpen voor eventuele toekomstige systemen.

2. Individueel bodemenergiesysteem in landelijk gebied

In landelijk gebied zijn over het algemeen minder (grootschalige) ontwikkelingen aanwezig. De noodzaak voor een energiebalans om het ondergronds ruimtegebruik te beperken is hierdoor minder aanwezig. Wel moet interne kortsluiting tussen de warme en de koude bronnen worden voorkomen om het rendement van het systeem te garanderen. Omdat de gebruiker zelf de nadelige gevolgen van deze kortsluiting ondervindt, zal hier voor een belangrijk deel sprake zijn van zelfregulering.

3. *Collectief systeem, dichtbebouwde gebieden*

In gebieden met grootschalige/collectieve ontwikkelingen kan de kans op een grote onbalans sterk worden verkleind door het uitmiddelen van de 'plussen' en de 'minnen' in de energiebalans van de verschillende open systemen. Dit effect is sterker naarmate er meer sprake is van een diversiteit in het type bebouwing. Het kan zinvol zijn om in dichtbebouwde gebieden met een masterplan te werken, waarin afwijkingen van het standaardvoorschrift worden toegestaan (zie paragraaf 5.4.1).

In een masterplan kan bijvoorbeeld worden gekozen voor een optimale positionering van de bronnen ten opzichte van de richting van de grondwaterstroming. Hierbij worden warme bronnen stroomafwaarts geplaatst van andere warme bronnen, zodat de kans op nadelige interferentie afneemt. Wel is het van belang om de richting van de grondwaterstroming in dat geval goed te kennen. Bij een sterke onbalans kan een kleine afwijking in de richting van de grondwaterstroming namelijk de warme of koude bellen verstoren. Bij een groot warmteoverschot kunnen bijvoorbeeld de koude bellen last krijgen van een toestromende warmtepluim.

Om bovengenoemde aanbevelingen uit te voeren dient rekening te worden gehouden met het volgende:

1. In de provinciale verordeningen kunnen gebieden worden aangewezen waar een onbalans is toegestaan. De selectie van deze gebieden kan worden gebaseerd op de aanwezigheid van bijvoorbeeld mate van bebouwing, aanwezige belangen en grondwaterstromingssnelheid.
2. In de provinciale waterplannen kunnen aangepaste criteria voor energiebalans worden opgenomen voor deze verschillende gebieden.

Evenals bij de discussie over de infiltratietemperatuur raden wij de betrokken partijen aan om op korte termijn aan tafel te gaan zitten. Deze partijen zijn het Ministerie van I&M, IPO, VEWIN en de NVOE. De discussie die speelt betreft de wijze waarop het ondergrondse ruimtegebruik voor bodemenergie en de eventuele effecten van de temperatuur het beste kunnen worden ingevuld. Deze discussie speelt ook in het Besluit Bodemenergie, waar nog invulling gegeven moet worden aan het 'doelmatig gebruik' van de ondergrond. Zoals aangetoond is energiebalans één van de mogelijke oplossingen, maar niet de enige. We stellen daarom voor om met de betrokken partijen te komen tot een oplossing waarbij energiebalans, infiltratietemperatuur en ook rendement integraal worden benaderd. Het doel is om te komen tot een set van voorschriften en parameters die leiden tot het gezamenlijke doel, namelijk het doelmatig gebruik van de bodem en het goed functioneren van systemen, zonder dat de ondergrond structureel opwarmt of afkoelt. We raden daarbij aan te denken buiten de huidige kaders. Het loslaten van de huidige eisen en het ontwikkelen van andere, nieuwe eisen kan dus een mogelijkheid zijn.

6 Interferentie open systemen

Dit hoofdstuk gaat in op het voorkomen van interferentie tussen open systemen. Er zijn berekeningen uitgevoerd om de onderlinge interferentie te kwantificeren.

6.1 Kader

Interferentie is in de meest brede zin van het woord het samenkomen van effecten vanuit verschillende bronnen (oorzaken) die daarmee elkaar versterken of afzwakken. In het kader van MMB wordt interferentie gezien als het fenomeen waarbij twee of meer bodemenergiesystemen dermate dichtbij elkaar staan (of komen te staan) dat hun beïnvloedingsgebied begint te overlappen en/of sprake is van beperkingen voor het nieuwe systeem door de aanwezigheid van het bestaande systeem. De fysieke beïnvloeding is onder te verdelen in de thermische of hydrologische beïnvloeding. Dit is tevens terug te vinden in de Handreiking Masterplannen Bodemenergie. Ten aanzien van de interferentie kunnen vier scenario's worden onderscheiden:

- De thermische invloedsgebieden van twee (of meerdere) open systemen zijn zodanig gepositioneerd dat een gezamenlijk thermisch invloedsgebied ontstaat (warm bij warm of koud bij koud). In dit geval is er sprake van neutrale of positieve interferentie.
- Wanneer de thermische invloedsgebieden van twee (of meerdere) systemen tegengesteld worden geplaatst, dus een koud bij een warm invloedsgebied, kan dit leiden tot negatieve interferentie. De thermische invloedsgebieden van de verschillende systemen beïnvloeden elkaar, hetgeen kan leiden tot verminderde rendementen.
- De hydrologische invloedsgebieden kunnen ook interfereren. Wanneer de stijghoogteveranderingen van twee (of meerdere) systemen negatief overlappen (dus warm bij koud en andersom) kunnen de cumulatieve hydrologische effecten verminderen. Dit kan ook de thermische invloedsgebieden beïnvloeden, doordat de stromingssnelheid en -richting van het water verandert.
- Wanneer de stijghoogteveranderingen van twee (of meerdere) systemen positief overlappen (dus warm bij warm of koud bij koud) dan kunnen de cumulatieve hydrologische effecten juist toenemen. De stijghoogteveranderingen van verschillende systemen versterken elkaar, waardoor sprake kan zijn van grotere effecten dan per systeem individueel voorzien was.

Enerzijds kan interferentie dus als positief gewaardeerd worden wanneer het (gezamenlijk) rendement van de open systemen wordt verhoogd of hydrologische effecten aan het maaiveld worden verkleind. Anderzijds kunnen ook negatieve effecten van interferentie optreden, zoals verminderde rendementen of grote(re) hydrologische effecten. Positieve interferentie kan ook gelijktijdig optreden met negatieve interferentie. Als de warme bronnen van een nieuw systeem bij de warme bronnen van een bestaand systeem worden geplaatst, is zowel sprake van positieve thermische interferentie (de warmteverliezen bij het bestaande systeem zullen afnemen) als negatieve hydrologische interferentie (de hydrologische effecten versterken elkaar).

Bovengenoemde omschrijving van interferentie heeft vooral betrekking op open systemen onderling. Maar interferentie kan ook betrekking hebben op andere (grondwater) functies die in een gebied aanwezig zijn, of op de interactie tussen open en gesloten systemen. Binnen MMB is het onderzoek gericht op interferentie tussen open systemen onderling, en de relatie met omgevingsbelangen.

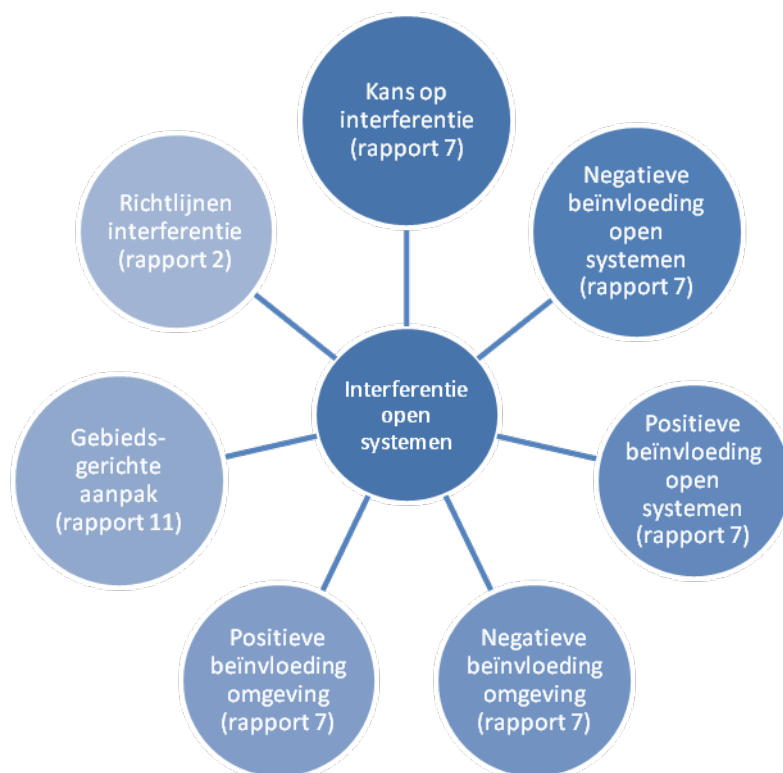
6.2 Onderzoeksvragen

Uit de diverse werksessies met participanten is gebleken dat verwacht wordt dat interferentie in drukke gebieden al optreedt of anders bij een (grote) groei van het aantal systemen zal optreden. Door beleidsmakers en beheerders van open systemen wordt interferentie als onwenselijk gezien indien dit leidt tot een verminderd rendement van de systemen zelf of tot vergroting van effecten op andere (kwetsbare) belangen.

Het onderzoek naar interferentie bij open systemen is tweeledig. Enerzijds is het van belang inzicht te krijgen in de rendementen van systemen in gebieden met een hoge dichtheid aan open systemen. Wanneer systemen elkaars rendement negatief beïnvloeden wordt de capaciteit van de ondergrond als leverancier van duurzame energie niet optimaal benut. Anderzijds is het belangrijk te bepalen of er merkbare regionale effecten optreden als gevolg van cumulatie van effecten van individuele systemen. De centrale vragen in dit onderzoek zijn dus:

- *Hoe beïnvloeden interfererende open systemen elkaars rendement?*
- *Hoe beïnvloeden interfererende open systemen hun omgeving?*

In figuur 6.1 zijn de verschillende rapportages die gerelateerd zijn aan interferentie weergegeven.



figuur 6.1 Betrokken onderwerpen interferentie open systemen

6.3 Resultaten

Modelonderzoek

Er is modelonderzoek verricht naar een gebied met een hoge dichtheid van open systemen: het centrum van Den Haag. Uit de modelsimulaties blijkt dat bij 95% van de bronnen geen negatieve interferentie optreedt (#rapport 7, par. 5.1). Deze uitkomst is uiteraard beïnvloed door de aannames die bij de simulatie gemaakt zijn:

- Lokaal is sprake van een homogene ondergrond;
- Systemen hebben een volume- en energiebalans;
- Systemen zijn gesimuleerd volgens vergunning- en ontwerpwaarden (debiet, waterhoeveelheid), ze verpompen niet (structureel) meer water dan de ontwerpdebieten;
- Er is uitgegaan van fluctuaties in de warmte- en koudevraag per seizoen (op basis van klimaatgegevens).

Op basis van de modelresultaten wordt geconcludeerd dat bij het ontwerp en de vergunningverlening van nieuwe systemen voldoende rekening is gehouden met de bestaande systemen. Er dient echter te worden opgemerkt dat het in werkelijkheid kan voorkomen dat systemen meer water verpompen dan de ontwerp- of zelfs de vergunde hoeveelheid terwijl andere systemen juist veel minder water verpompen. De vraag is of de huidige conclusie dan nog steeds geldt. Om dit na te gaan worden nog aanvullende berekeningen uitgevoerd. **Resultaten verwerken als rapport 7 gereed is.**

Effecten op rendement

De rendementen per systeem zijn volgens de uitgevoerde scenarioberekeningen relatief hoog (80 -90%) (#rapport 7, par. 5.1). De (voor de hand liggende) conclusie die hieruit getrokken kan worden is dat systemen waarbij geen negatieve interferentie plaatsvindt een hoog rendement behalen. Iets minder voor de hand liggend is dat de energetische rendementen heel licht lijken toe te nemen naarmate meer systemen in het gebied gesimuleerd worden. Dit duidt op positieve interferentie tussen verschillende open systemen, wat aangeeft dat bij het ontwerp en de vergunningverlening voldoende rekening is gehouden met de bestaande systemen. Het vooraf op een goede manier ordenen van de bronnen speelt hierbij een belangrijke rol.

Naast het energetisch rendement kan ook het financiële rendement van een systeem worden beschouwd. Het is namelijk bekend dat het in het centrum van Den Haag op een aantal locaties nodig was om bronnen op relatief grote afstanden van het gebouw te plaatsen. Dit om nadelige interactie te voorkomen. Dit kan gezien worden als negatieve interferentie, vanwege de bijbehorende kostenstijging. Op de betreffende locaties is sprake van een sterk geconcentreerde energievraag en had een masterplan, achteraf gezien, uitkomst kunnen bieden.

6.4 Beleid

6.4.1 Huidig beleidskader

De meeste provincies hebben in hun omgevingsbeleid opgenomen dat negatieve interferentie tussen open systemen dient te worden voorkomen. Hierbij geldt dat reeds bestaande bodemenergiesystemen geen nadelige gevolgen mogen ondervinden van nieuw te realiseren systemen. Ook in het Besluit Bodemenergie, die per 1 januari 2013 van kracht wordt, is verwoord dat gestreefd moet worden naar het voorkomen van interferentie.

Dit betekent dat interferentie wordt voorkomen, maar dat de ondergrond niet per definitie efficiënt wordt ingericht voor het gebruik van bodemenergie. Het kan namelijk nog steeds voorkomen dat een (eerste) systeem een optimale inrichting van de ondergrond voor het hele gebied kan frustreren, omdat nieuwe systemen rekening moeten houden met dit bestaande systeem.

Deze problematiek wordt reeds onderkend en worden er voor steeds meer gebieden masterplannen opgesteld. Deze masterplannen zijn echter vaak nog niet juridisch verankerd. De masterplannen hebben dus nog geen juridische status, waardoor afwijken van de masterplannen mogelijk blijft en een optimale ordening niet gewaarborgd kan worden.

6.4.2 Mogelijke aanpassingen

Op basis van het onderzoek kan geconcludeerd worden dat het huidige systeem in principe functioneert wanneer de energetische uitgangspunten/opslagrendementen worden beschouwd. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat wanneer systemen per seizoen meer water verplaatsen dan vergund, het risico op (negatieve) interferentie toeneemt. Ook sterke (tijdelijke) afwijkingen van de energiebalans zijn hierbij van belang. Aanvullende berekeningen zijn noodzakelijk om hier het juiste inzicht in te verschaffen.

Positionering bronnen

Vanuit de initiatiefnemer is een ander aspect van belang: namelijk het positioneren van de bronnen. Indien de bronnen buiten het eigen kavel geplaatst moeten worden, doordat eerdere ontwikkelingen geen rekening met jouw (mogelijke) ontwikkeling hebben gehouden, dan leidt dat tot hogere aanlegkosten wat het financiële rendement van een systeem vermindert. Dit aspect is ook voor het bevoegd gezag relevant. Provincies (en gemeenten) streven een optimaal, duurzaam gebruik van de ondergrond na. Door van te voren na te denken over optimale inrichting van de ondergrondse ruimte, waarbij alle functies van de ondergrond worden meegenomen, kan beter gestuurd worden op optimale benutting van het potentieel voor bodemenergie.

Ruimtegebruik

Een andere belangrijke factor die bijdraagt aan de suboptimale benutting van het ondergronds potentieel is het ruimtegebruik per systeem. Het ruimtegebruik wordt enerzijds bepaald door de afstand tussen de koude en warme bron(nen) en anderzijds door de vergunde jaarlijkse waterhoeveelheid. De huidige richtlijnen voor het bepalen van de bronafstand zijn vastgesteld om interferentie tussen de warme en koude bron van een systeem te voorkomen. Hiertoe wordt aangehouden dat de afstand tussen deze twee bronnen minimaal drie maal de thermische straal moet bedragen. De vergunde jaarlijkse waterhoeveelheid bedraagt meestal de ontwerphoeveelheid plus een bepaalde marge om pieklasten aan te kunnen. Een bronafstand van drie maal de thermische straal is in veel gebieden simpelweg niet haalbaar. In dichtbebouwd gebied zijn de eigen percelen vaak te klein en is er geen ruimte om de bronnen elders in te passen. Een kortere afstand tussen de bronnen is dan wenselijk. Mits er aan bepaalde voorwaarden voldaan wordt hoeft dit geen negatieve effecten te hebben op het rendement. Voor gebieden waar het technisch mogelijk is de bronnen dicht bij elkaar te plaatsen kunnen aparte beleidsregels opgesteld worden. Hierdoor wordt de schaarse ruimte beter benut en kan de bijdrage van de bodem aan een duurzame energievoorziening geoptimaliseerd worden. Voorwaarden waaronder bronnen dicht bij elkaar geplaatst kunnen worden zijn:

- de snelheid van de is grondwaterstroming laag (max. 10 meter per jaar);
- de bodemopbouw is (bij benadering) homogeen;
- de bronnen kunnen vrijwel haaks op de stromingsrichting van het grondwater geplaatst worden.

Bijstellen vergunningen

Vaak wordt bij een vergunningaanvraag een waterhoeveelheid met ruime marge aangevraagd. Deze marge dient er toe om piekbelastingen, in het geval van bijvoorbeeld extreme koudevraag (warme zomer), aan te kunnen zonder overschrijding van de vergunning. Een andere reden voor het ruim aanvragen van de waterhoeveelheid kan zijn dat er een uitbreiding van het gebouw of van het aantal aan te sluiten gebouwen voorzien is. In dat geval wordt de aangevraagde waterhoeveelheid al afgestemd op de toekomstige energiebehoefte. Het kan voorkomen dat de voorziene uitbreiding toch niet plaatsvindt. Om ervoor te zorgen dat er geen onnodige claim op de ondergrondse ruimte blijft staan, zou een aantal jaar na ingebruikname van het systeem een controle op de daadwerkelijk verplaatste waterhoeveelheid moeten plaatsvinden. Wanneer er structureel minder water verplaatst wordt dan vergund is, en er is geen aantoonbare reden (bijvoorbeeld uitbreidingsplannen) voor handhaving van de huidige hoeveelheid, kan de vergunde waterhoeveelheid bijgesteld te worden. Op die manier komt meer ruimte voor nieuwe initiatieven.

Uit bovenstaande volgt dat regelgeving rondom interferentie meer ruimte moet bieden voor flexibiliteit, zowel in ruimte als in tijd. Ordening (in de vorm van bijvoorbeeld Structuurvisies of masterplannen) kan hier een belangrijke rol in spelen. Door middel van ordening kan niet alleen negatieve interferentie worden geminimaliseerd, er kan zelfs worden gestuurd op positieve interferentie.

6.4.3 Voor- en nadelen aanpassingen

Het ordenen van de ondergrond heeft als voordeel dat de ondergrond optimaal ingericht kan worden voor bodemenergie en dat daarmee zoveel mogelijk initiatiefnemers de kans krijgen om bodemenergie optimaal te benutten. Bovendien kunnen in de ordeningsregels andere ondergrondse belangen, zoals drinkwaterbescherming of verontreinigingen, behartigd worden. Door het opstellen van gebiedsdoelstellingen (in termen van bijvoorbeeld X GJ bodemenergie per hectare) kan gestuurd worden op een efficiëntere inrichting van de ondergrond. Hiervoor dienen wel de karakteristieken van de ondergrond én van de aanwezige bodemenergiesystemen bekend te zijn. Dit vergt gedegen vooronderzoek en uitgebreide monitoring van draaiende systemen. Het nadeel hiervan is dat het meer werk oplevert voor het bevoegd gezag (meer handhavingswerkzaamheden), maar tegelijkertijd wordt wel het potentieel van de ondergrond beter benut en worden andere functies beschermd.

6.5 Advies

In gebieden waar een groot aantal systemen aanwezig is of verwacht wordt is extra aandacht nodig voor het voorkomen van interferentie. De huidige invulling van het Besluit Bodemenergie speelt hier al op in. Die geeft het bevoegd gezag namelijk de mogelijkheid om zogenaamde interferentiegebieden aan te wijzen. Voor deze interferentiegebieden kan aparte regelgeving opgesteld worden. Dit kan bijvoorbeeld door het opstellen van een masterplan bodemenergie. In de Handreiking Masterplannen Bodemenergie wordt beschreven hoe een masterplan opgesteld kan worden.

Ook buiten interferentiegebieden kan extra aandacht gaan naar bijvoorbeeld flexibiliteit en maatwerk voor bronpositionering, zoals het verkleinen van bronafstanden tussen de koude en warme bronnen.

Daarnaast kan worden gestuurd op optimaal gebruik van bodemenergiesystemen. Hierbij kan worden gedacht aan:

- volledig gebruik van de capaciteit van bestaande systemen: systemen die slechts een deel van hun capaciteit gebruiken aan te sporen de gehele capaciteit in te zetten voor bijvoorbeeld energielevering aan een andere ontwikkeling;
- omgaan met individuele onbalans: criteria opstellen voor individuele systemen zodat optimaal gebruik van de ondergrond kan worden gewaarborgd (zie ook hoofdstuk 5);
- monitoring ten behoeve van het optimaal functioneren van een systeem.

Ten aanzien van het vraagstuk interferentie en optimaal gebruik van de ondergrond worden de volgende acties geadviseerd:

4. Wijs drukke gebieden aan als interferentiegebied en ontwikkel hierbinnen aanvullend beleid. Een effectieve invulling is bijvoorbeeld het vervaardigen van een masterplan bodemenergie (zie ook Handreiking Masterplannen Bodemenergie).
5. Neem als bevoegd een actieve houding aan ten aanzien van het evalueren van de vergunningen Waterwet. Indien na 1 of 2 jaar blijkt dat er een energieonbalans dreigt, dan kan de eigenaar van het systeem tijdig worden gewaarschuwd. Indien na 5 jaar blijkt dat een systeem structureel meer of minder water verplaatst kan de vergunning Waterwet worden aangepast. Hierdoor ontstaat nieuwe ruimte voor omringende systemen.
6. Voer nader onderzoek uit naar de daadwerkelijke interferentie in gebieden waar de invloedsgebieden van systemen elkaar overlappen. Doe dit op zowel thermische en hydrologisch maar ook financieel gebied. In hoeverre is een overlap van 2 graden van de thermische invloedsgebieden bepalend/sturend voor het rendement van je systeem? Aan de hand van deze informatie kunnen criteria worden opgesteld voor het beoordelen van interferentie: wanneer is sprake van interferentie en hoe dien je hiermee om te gaan?

7 Hoe nu verder?

De resultaten van de onderzoeken van MMB hebben antwoord gegeven op een groot aantal vragen. In dit rapport is een voorzet gegeven om aan de hand van deze resultaten na te denken over eventuele beleidsaanpassingen. Een gebied- en functiegerichte benadering van de gewenste aanpassing is het meest op z'n plaats. Uit de inventarisatie blijkt dat het huidige beleid een flink aantal aanknopingspunten geeft om op regionaal niveau (gebiedsgericht) een uitzondering te maken. Het is nu aan de beleidsmakers om deze voorstellen én de onderzoekresultaten verder te implementeren in het beleid, om op deze manier op duurzame wijze meer bodemenergiesystemen te realiseren. Met 'op duurzame wijze' wordt wat ons betreft bedoeld 'versoepeling waar mogelijk' en met 'handhaving/voorzichtig' 'versoepeling waar noodzakelijk'. Het is echter wenselijk om de ervaring en kennis die hiermee behaald wordt op integrale wijze te bundelen en te delen, zodat niet elke provincie/gemeente/gebruiker 'het wiel opnieuw moet uitvinden' (zie ook paragraaf 7.1).

Daarnaast blijkt uit de praktijk en uit nieuwe onderzoeken dat de winst niet alleen in het huidige beleidskader gezocht hoeft te worden. Er valt ook te denken aan nieuwe(re) mogelijkheden om bestaande systemen aan elkaar te koppelen, bijvoorbeeld door het gebruik van overcapaciteit van bestaande bronnen in te zetten voor nieuwe systemen. Daarnaast is nu de afstemming gebouwszijdig (bovengronds) en bodemzijdig (ondergronds) nu niet altijd optimaal. Door dit proces zorgvuldig af te stemmen tijdens het ontwerp en realisatie van systemen kan ook meer rendement behaald worden. Extra aandacht hiervoor is wenselijk en kan het rendement van de techniek verhogen/verbeteren.

Voor de vier behandelde beleidsaspecten staan echter nog een flink aantal onderzoeksvragen open. Deze zijn in de volgende paragrafen weergegeven. Wellicht dat deze vragen aanknopingspunten bieden om vervolgonderzoek betreffende bodemenergie verder vorm te geven.

7.1 Infiltratietemperatuur

Menging van grondwater door een open bodemenergiesysteem heeft een groter effect op de grondwaterkwaliteit dan de onderzochte temperatuurverschillen tot 30 °C. Boven de 30 °C zijn binnen MMB niet voldoende betrouwbare gegevens beschikbaar om verdere conclusies te trekken. Daarnaast is nader onderzoek gewenst naar gesloten systemen en hogetemperatuuropslag.

Op basis van de huidige onderzoeksresultaten wordt geadviseerd om een aantal aanvullende meetrondes uit te voeren. Ook wordt geadviseerd om aanvullende modelleringen uit te voeren om het aanvullend onderzoek te ondersteunen. En om de nieuwe onderzoeksresultaten te implementeren in de modellen. Met behulp van aanvullend onderzoek kunnen de volgende vragen beantwoord worden:

1. Wat is de invloed van veranderende bodemtemperatuur op de grondwaterkwaliteit (microbiologische en chemische samenstelling) bij bodemenergiesystemen boven 30 °C?
 - advies: voortzetting van metingen op de locaties Beijum en Heuvelgalerie
2. Wat is de invloed van veranderende bodemtemperatuur op zware metalen bij bodemenergiesystemen onder 30 °C?
 - advies: voortzetting van metingen op de locaties Strijp-S en Rosmalen.
3. Wat zijn de effecten van hogetemperatuuropslag op de grondwaterkwaliteit (chemische en microbiologische samenstelling). Waarbij het relevant is inzicht te krijgen is in situatie voorafgaand aan het instellen van de HTO. Hiermee wordt inzicht verkregen in de reversibiliteit van het grondwatersysteem.
 - voortzetting metingen Zwammerdam en start nieuwe pilot om inzicht in effecten HTO te verkrijgen.
4. Welke parameters zijn bij thermische en geohydrologische modellen bepalend voor de resultaten van het model?
 - uitvoeren van een gevoeligheidsanalyse bij de bestaande modellen.

7.2 Open systemen en saneren

Uit het onderzoek van MMB is gebleken dat een open systeem een potentiële positieve bijdrage kan leveren aan de het saneren van verontreinigd grondwater. Hoe groot deze bijdrage is, kan op basis van de huidige data niet gekwantificeerd worden. Daarnaast is nog onvoldoende zicht op de lange(re) termijn effecten van de sanering. Aanvullend onderzoek is dus gewenst om dit verder te kwantificeren en te monitoren.

Op basis van de huidige meetrondes wordt geadviseerd om de volgende metingen voor te zetten:

1. Doormeten op Strijp-S om de daadwerkelijke saneringsbijdrage van het systeem te kunnen beoordelen.
2. Starten van nieuwe pilotlocaties voor het combineren van open systeem en bodem-sanering om meer inzicht te krijgen in andere configuraties en combinaties. Waarbij huidige kennis en kunde ingezet worden om geschikte meetresultaten boven water te krijgen.
3. Gebiedsgerichte aanpak van bodemverontreiniging en/of in combinatie met andere functies verder uitwerken. Onderzoek richt zich op de invulling van de monitoring van grootschalige projecten.

7.3 Energiebalans

Uit het onderzoek naar energiebalans is gebleken dat de afstemming boven- en ondergrondse installatie bepalend zijn voor de mate van onbalans van een systeem. Daarnaast is de locatiespecifieke geohydrologische omstandigheden bepalend voor de mate waarin een onbalans ondergrondse ruimte claimt.

Om beter op het onderdeel energiebalans te kunnen sturen, zijn in het “Onderzoek criteria energiebalans” diverse opties voor alternatieve criteria opgesteld:

1. energiebalans als sturingsmiddel
2. ondergronds ruimtegebruik als sturingsmiddel
3. waterhoeveelheden met aanvullende eisen als sturingsmiddel.

Om te toetsen of de drie genoemde oplossingen kunnen bijdragen aan een betere afweging in de praktijk is het van belang ruimte te maken voor pilots. Deze ruimte kan worden gecreëerd door de huidige eisen voor energiebalans los te laten, zodat in de praktijk ervaring en kennis opgedaan wordt met de nieuwe oplossingsrichtingen.

Het verdient de aanbeveling een beperkt aantal kansrijke opties te selecteren en uit te werken. Belangrijk hierbij is te bepalen of beperking van de netto opwarming of afkoeling van de bodem als autonome waarde gehandhaafd dient te worden als het ondergronds ruimtebeslag gedurende exploitatie en de uitdovingstijd beperkt worden. De effecten van autonome opwarming door klimaatverandering en verstedelijking relativeren het belang van het strikt vermijden van netto afkoeling, met name in de bovenste 50 à 100 m van de ondergrond.

7.4 Interferentie

Uit het modelonderzoek naar interferentie tussen open systemen onderling blijkt dat de huidige systematiek van vergunningverlening voldoende ruimte biedt om negatieve interferentie tussen systemen te voorkomen. Echter, aanvullend onderzoek (op kleinere of grotere schaal) waarbij daadwerkelijk onttrokken en geïnfiltreerde waterhoeveelheden worden meegenomen (incl. bijbehorende infiltratietemperaturen) is gewenst.

Daarnaast heeft men behoefte aan meer inzicht in het gebruik van de ondergrond om dit nog beter te optimaliseren. Met name in drukke gebieden zou flexibiliteit in vergunningverlening vergroot kunnen worden. Daarnaast mist binnen in het huidige onderzoek de koppeling tussen open en gesloten systemen: op welke wijze treedt hier negatieve interferentie op?

Om meer handvatten te ontwikkelen voor toetsing en meer inzicht in daadwerkelijke interferentie worden daarom het volgende onderzoek geadviseerd:

1. Aanvullend modelonderzoek – met daadwerkelijk verpompte waterhoeveelheden?
2. Aanvullen onderzoek: hoe kunnen tekorten/overschotten van bestaande systemen optimaal benut worden voor nieuwe systemen? Op welke wijze kan dit organisatorisch het beste worden vormgegeven?
3. Kwantificeren van daadwerkelijk interferentie tussen twee open systemen: hoe erg is het/hoe groot is de schade, als een thermisch invloedsgebied bv aan de rand 2 graden wordt beïnvloed.
4. Hoe groot is risico op interferentie tussen open en gesloten systemen? Op welke wijze kan deze interferentie het beste gemodelleerd worden? En hoe erg is het/hoe groot is de schade wanneer deze twee systemen zich daadwerkelijk in elkaars invloedsgebied bevinden? Wat is het specifieke invloedsgebied?

7.5 Evaluatie consortium MMB

Op 8 maart 2012 is met een vijftal participanten, met verschillende achtergronden, een evaluatie gehouden van MMB. Uit deze evaluatie is gebleken dat het in stand houden van het consortium zeer gewenst is. Het onderzoek MMB en bijbehorend platform heeft de aanwezigen het volgende gegeven:

- Kennis en een goed netwerk. Met name het feit dat verschillende partijen met verschillende achtergronden (benutters en beschermers) bij elkaar zijn wordt als zeer positief ervaren.
- Een betrouwbare onderzoekspartner. De samenstelling van het onderzoeksconsortium wordt als betrouwbaar ervaren. Er is in het consortium goed onderscheid gemaakt tussen 'proces' en 'onderzoek'. 'De beste onderzoeker is niet altijd de beste procesman' aldus een van de participanten.
- Ruimte om onderzoekers en beleidsmakers met elkaar over toekomstig beleid te laten discussiëren. Hierbij levert de representatieve achtergrond van de beleidsmakers en gebruikers en de diversiteit van de onderzoekspartijen een positieve bijdrage.
- Praktijkkennis en handvaten voor de toekomst.

Alle participanten zijn bekend met het feit dat het optuigen van zo'n consortium veel tijd kost. Men spreekt dus de voorkeur uit om het huidige platform voor de toekomst te gebruiken en misschien wel te koppelen aan de andere lopende onderzoeksactiviteiten rondom bodemenergie. Daarnaast bieden de huidige contacten de mogelijkheid om door te meten daar waar nodig (zie volgende paragrafen). Dit sluit aan bij de behoefte in het veld om (nog) betere data wat betreft langjarige meetreeksen voor bodemenergie beschikbaar te hebben.

Naast het in stand houden van het consortium vinden de participanten het van groot belang dat volgende twee onderwerpen op de agenda blijven staan/in de toekomst bij nader onderzoek worden opgepakt:

- Het onderzoek naar gesloten systemen
- Het onderzoek naar hoge temperatuuropslag

Deze onderwerpen verdienen extra aandacht omdat deze in het huidige MMB onderzoek nog niet voldoende belicht zijn. Koppeling met andere SKB onderzoeken betreffende deze thema's verdient de aandacht bij het toekomstige MMB platform.

Literatuur

Brons, H.J., Griffioen, J., Appelo, C.A.J. and Zehnder, A.J.B., 1991. (Bio)Geochemical Reactions in Aquifer Material from a Thermal-Energy Storage Site. *Water Research*, 25(6): 729-736.

Buscheck, T.A., Doughty, C. and Tsang, C.F. (1983). Prediction and analysis of a field experiment on a multi-layered aquifer thermal energy storage system with strong buoyancy flow. *Water Resources Research*, V.19, No.5, pp. 1307-1315.

Caljé, R., 2010. Future use of Aquifer Thermal Energy Storage below the historic centre of Amsterdam. Final Thesis, Waternet - TU Delft.

Doornenbal, P., Westerhoff, R., Hogendoorn, B. en Sommer, W. (2011). Temperatuurmeting laat effecten WKO systeem zien. *LAND+WATER* nr. 8 - Augustus 2011.

Doughty, C., Hellström, G., Tsang, C. F., and Claesson, J. (1982). A dimensionless parameter approach to the thermal behavior of an aquifer thermal energy storage system. *Water resources research*, vol. 18, no. 3, pages 571-587, 1982.

Ferguson, G. (2007). Heterogeneity and Thermal Modeling of groundwater. *Ground Water* 45 (4) (2007), pp. 485–490.

IF Technology, 2007 - Koude/wamteopslag in de praktijk, meetgegevens van 67 projecten. Arnhem.

Meer Met Bodemenergie, rapport 2 Literatuuronderzoek. Overzicht van kennis en onderzoeksvragen rondom bodemenergie. Bioclear, IF Technology, Deltares en Wageningen University, 2012.

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

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

Meer Met Bodemenergie, rapport 6 Hogetemperatuuropslag. Kennisoverzicht en praktijkmetingen rondom hogetemperatuurwarmteopslagsystemen. Bioclear, IF Technology, Deltares en Wageningen University, 2012.

Meer Met Bodemenergie, rapport 7 Interferentie. Effecten van bodemenergiesystemen op hun omgeving – modellering grootschalige inpassing in stedelijke gebieden. Bioclear, IF Technology, Deltares en Wageningen University, 2012.

Meer Met Bodemenergie, rapport 8 Autonome opwarming. Autonome ontwikkeling bodemtemperatuur. Bioclear, IF Technology, Deltares en Wageningen University, 2012.

Meer Met Bodemenergie, rapport 9 Effecten op sanering. Effecten van bodemenergiesystemen bij inzet bodemsanering – resultaat metingen op pilotlocaties en in labtesten. Bioclear, IF Technology, Deltares en Wageningen University, 2012.

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

Meer Met Bodemenergie, rapport 11 Gebiedsgericht grondwaterbeheer. Inpassing van bodemenergie in gebiedsgerichtgrondwaterbeheer – kansen en aandachtspunten. Bioclear, IF Technology, Deltares en Wageningen University, 2012.

NVOE Richtlijnen Ondergrondse Energieopslag, 2006.

Sauty, J.P., Gringarten, A.C. and Landel, P.A. (1978). The effect of thermal dispersion on injection of hot water in aquifers. Proceedings Second Invitational Well Testing Symposium, Berkeley, Calif., October 1978.

SKB, Handreiking Masterplannen Bodemenergie, oktober 2011, bijlage 5.

Bijlage I

Overzicht Participanten

Agentschap NL / Bodem+
Arcadis
Brabant Water - Hydreco
Eneco
Essent
gemeente Almelo
gemeente Amersfoort
gemeente Apeldoorn
gemeente Den Bosch
gemeente Deventer
gemeente Haarlem
gemeente Hengelo
gemeente Tilburg
gemeente Utrecht
gemeente Zwolle
Havenbedrijf Rotterdam
NVOE
Productschap Tuinbouw
provincie Drenthe
provincie Flevoland
provincie Friesland
provincie Gelderland
provincie Groningen
provincie Limburg
provincie Noord-Brabant
provincie Noord-Holland
provincie Overijssel
provincie Utrecht
provincie Zeeland
provincie Zuid-Holland
SKB
Stichting Bodemsanering NS
Vewin
Vitens
Waterschap Groot Salland
Waterschap Regge en Dinkel

Bijlage II

Beleidsthema's werksessie 8 februari 2011

Tijdens de werksessie op 8 februari 2011 is bepaald welke beleidsknelpunten op dat moment aanwezig waren rondom bodemenergie. Niet alle beleidsknelpunten die op deze middag zijn besproken hebben een relatie met MMB. Sommige knelpunten zijn inmiddels aangepakt in de nieuw in te voeren Besluit Bodemenergie of andere lopende onderzoekstrajecten. Andere beleidsknelpunten zijn nog niet in opgepakt. De resultaten van de werksessie zijn daarom verwerkt in drie tabellen:

- Tabel B2.1: bevat de MMB gerelateerde beleidsknelpunten;
- Tabel B2.2: bevat beleidsknelpunten die niet gerelateerd zijn aan MMB maar wel in andere onderzoeken op gepakt zijn;
- Tabel B2.3: bevat beleidsknelpunten die (nog) niet zijn opgepakt.

Tabel B2.1 Beleidsknelpunten MMB (8 februari 2011)

nr.	Beleidsknelpunt	Waarom	Hoofdstuk
1.	Infiltratietemperatuur	De huidige eisen voor infiltratietemperatuur sluiten niet (altijd) aan bij de praktijk.	3
2.	Combinatie open systemen en sanering	Op basis van de Wet Bodembescherming mogen verontreinigingen niet worden verplaatst door open systemen. Dit levert in de praktijk moeizame trajecten voor vergunningverlening rondom combinatieconcepten. Het 'retourneren' van verontreinigd grondwater levert in de praktijk moeilijkheden op voor de vergunningverlening voor combinatieconcepten	4
3.	Energiebalans	De huidige eisen voor energiebalans sluiten niet aan bij de praktijk. Een energiebalans is voor beheerders van een systeem moeilijk te behalen.	5 + onderzoek 'Energiebalans'*
4.	Interferentie open systemen	Op dit moment is de kennis over de risico's van interferentie tussen open systemen nog niet volledig	6
5.	Interferentie open en gesloten systemen	Op dit moment is de kennis over de risico's van interferentie tussen open en gesloten systemen nog niet volledig	projectidee 'gesloten systemen'

* Onderzoek criteria energiebalans WKO', 22 februari 2012, DWA installatie en energieadvies - IF Technology, in opdracht van SKB.

Tabel B2.2 Beleidsknelpunten die in andere onderzoeken (buiten MMB) worden uit gewerkt (februari 2011)

Nr.	Beleidsknelpunt	Waarom	Onderzoek
6.	Antivriesmiddelen gesloten systemen	De kennis over de effecten van antivriesmiddelen die in gesloten systemen gebruikt wordt is beperkt.	Literatuurstudie MMB / projectidee 'gesloten systemen' [#]
7.	Beëindiging open en gesloten systemen	Op dit moment zijn er beperkte eisen opgesteld m.b.t. het beëindigen van open en gesloten systemen in de BUM. Kennis over de effecten van systemen op langere termijn ontbreekt.	Besluit Bodemenergie / projectidee 'gesloten systemen'
8.	Spuien van bronnen	Bij realisatie van projecten en onderhoud hiervan is het noodzakelijk om te spuien. Het regelgevend kader rondom deze spui-acties ontbreekt.	HUM/BUM

Tabel B2.3 Beleidsknelpunten rondom bodemenergie die nog niet opgepakt zijn (februari 2011)

Nr.	Beleidsknelpunt	Waarom
9.	Universele meetlat	Op dit moment ontbreekt een universele meetlat om de afweging bodemenergie versus andere technieken mogelijk te maken.
10.	Flexibiliteit wetgeving	Gebrek aan flexibiliteit in de huidige beleid-/wetgeving bij gebiedsgerichte projecten. Levert moeizame projectstructuren/overleggen.
11.	Gebiedsgericht - gevalsgericht	Praktische vormgeving van wet- en regelgeving rondom gevalsgericht - versus gebiedsgericht grondwaterbeheer ontbreekt (zie punt 2).
12.	Bronnen in gemeentegrond	Gebruik van gemeentegrond voor bronnen en leidingwerk in drukke stedelijk gebieden is moeilijk.
13.	Kennisvoorziening	Ontbreken van goede kennisvoorziening/check haalbaarheid voor open systemen.

Deelnemende bedrijven en instanties

Agentschap NL / Bodem+

Arcadis

Bioclear

Brabant Water - Hydreco

Deltares

Eneco

Essent

Gemeente Almelo

Gemeente Amersfoort

Gemeente Apeldoorn

Gemeente Den Bosch

Gemeente Deventer

Gemeente Haarlem

Gemeente Hengelo

Gemeente Tilburg

Gemeente Utrecht

Gemeente Zwolle

Havenbedrijf Rotterdam

IF Technology

Ministerie van Infrastructuur & Milieu

NVOE

Productschap Tuinbouw

Provincie Drenthe

Provincie Flevoland

Provincie Friesland

Provincie Gelderland

Provincie Groningen

Provincie Limburg

Provincie Noord-Brabant

Provincie Noord-Holland

Provincie Overijssel

Provincie Utrecht

Provincie Zeeland

Provincie Zuid-Holland

SBNS

SKB

Vewin

Vitens

Wageningen Universiteit

Waterschap Groot Salland

Waterschap Regge en Dinkel

