

Technisch onderzoek naar Gesloten Bodemenergiesystemen

-samenvatting-

Deze samenvatting beschrijft de onderzoeksopzet en resultaten van het “Technisch onderzoek naar Gesloten bodemenergiesystemen” dat in de periode november 2012 tot en met september 2013 door IF Technology, Groenholland Geo-Energiesystemen en KWR Watercycle Research Institute en mede gefinancierd door provincies, gemeenten, waterleidingbedrijven en BodemenergieNL is uitgevoerd.

Inleiding en kader

Met ingang van 1 juli 2013 is de AMvB Bodemenergie¹ van kracht geworden. Nieuwe gesloten bodemenergiesystemen dienen vanaf dit moment aan wettelijke technische en energetische eisen² ter bescherming van bodem en grondwater te voldoen. De eisen zijn opgesteld voor zowel de kleine gesloten systemen (<70 kW) als grote gesloten systemen (≥ 70 kW).

Vanaf 1 juli zijn gemeenten bevoegd gezag voor de gesloten systemen. Gemeenten moeten beleid en handhaving rondom de gesloten systemen vormgeven. Bij deze gemeenten en ook bij provincies leven echter nog een aantal inhoudelijke vragen die beantwoord moeten worden om een goede invulling van hun nieuwe taak mogelijk te maken. Een aantal van deze vragen leven ook bij bedrijven in de drinkwatersector, omdat zij de bodem en het grondwater willen beschermen voor toekomstig drinkwatergebruik. Hoewel in het verleden diverse onderzoeken zijn uitgevoerd, waarin de mogelijke effecten van gesloten bodemenergiesystemen zijn onderzocht en geëvalueerd, is tot op heden geen inhoudelijke evaluatie van alle mogelijke effecten uitgevoerd. Dit onderzoek “Technisch onderzoek Gesloten Bodemenergiesystemen” is opgesteld om zoveel mogelijk van deze vragen wel te beantwoorden. Met de resultaten van dit onderzoek kan landelijk, provinciaal en lokaal beleid verder worden ontwikkeld.

Doel van het onderzoek

De doelstelling van het onderzoek is het inzichtelijk maken van de effecten van de toepassing van gesloten systemen. Hierbij worden in vijf werkpakketten de volgende vragen beantwoordt:

1. *Welke positieve (milieu-)effecten heeft de toepassing van gesloten systemen met warmtepomp, vergeleken met conventionele systemen?*
2. *Wat zijn de risico's van gesloten bodemenergiesystemen op andere gebruikers van de ondergrond, bijvoorbeeld drinkwaterbedrijven?*
3. *Hoe beïnvloedt grootschalige toepassing van gesloten systemen de opwarming en afkoeling van de bodem en het rendement?*
4. *Hoe groot is de invloed van interferentie tussen een open en een gesloten systeem?*
5. *Wat is de beste manier om een gesloten bodemenergiesysteem te ontmantelen? Is de voorgeschreven methode uit de AMvB bodemenergie doeltreffend?*

¹ Waar in deze samenvatting AMvB Bodemenergie wordt gebruikt, wordt het Wijzigingsbesluit Bodemenergiesystemen bedoeld.

² Voor een overzicht van de specifieke eisen wordt verwezen naar het besluit lozen buiten inrichtingen (art. 3a.1 t/m 3a.10) en het activiteitenbesluit milieubeheer (art. 3.16i t/m 3.16p).

Uitvoerend consortium & participanten

Het uitvoerend consortium van het “Technisch onderzoek Gesloten Bodemenergiesystemen” bestaat uit drie partijen:

- IF Technology in Arnhem (S. de Boer)
- Groenholland Geo-Energiesystemen in Amsterdam (H. Witte)
- KWR Watercycle Research Institute in Nieuwegein (S. Kools)

Ieder lid van het consortium is verantwoordelijk voor de uitvoering van de eigen werkpakketten (zie tabel 1). Alle rapporten en onderliggende methoden zijn onderling afgestemd, met het uitvoerende consortium en met de klankbordgroep (een groep afgevaardigden van de deelnemende partijen). De werkzaamheden van IF Technology en Groenholland zijn gefinancierd vanuit verschillende overheden en brancheverenigingen. De werkzaamheden van KWR zijn gefinancierd vanuit het bedrijfstakonderzoek (BTO) van de drinkwatersector. Voor een overzicht van de participanten wordt verwezen naar de bijlage van deze samenvatting.

Tabel 1 Werkpakketten

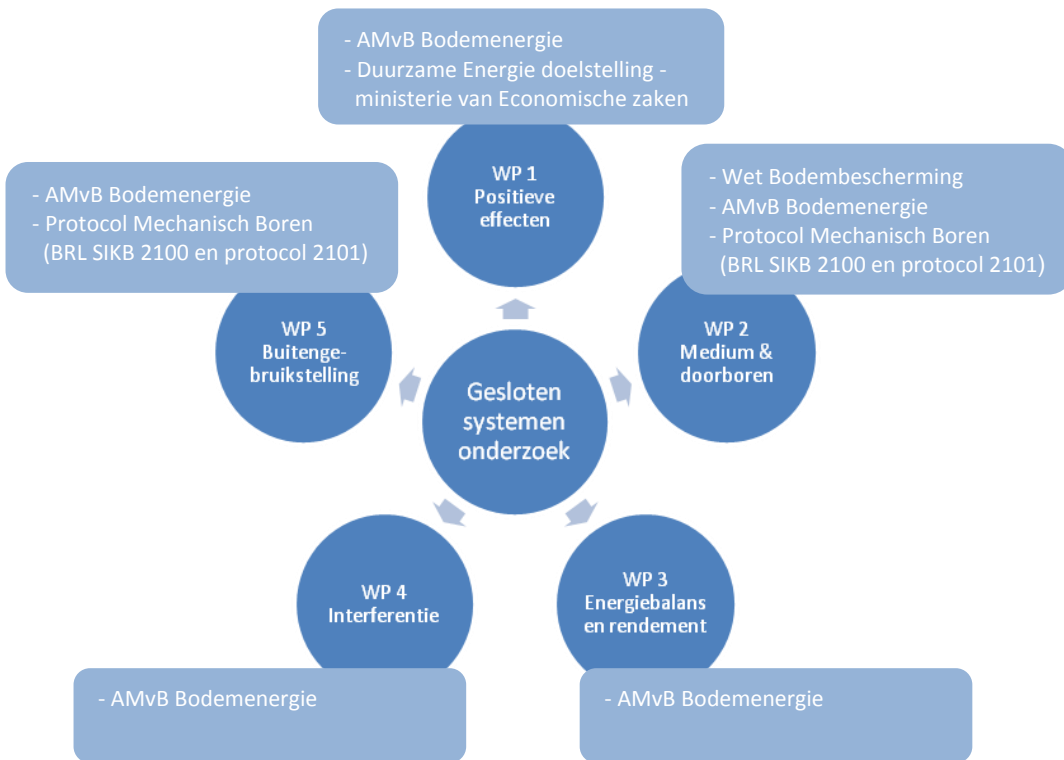
Werkpakket	Uitvoerder	Kenmerk	Datum
1. Positieve effecten	Groenholland	GHNL EFF 13650	16 september 2013
2. Risico voor andere gebruikers	KWR	BTO2013.036	augustus 2013
3. Energiebalans en rendementverliezen	Groenholland	GHNL EFF 13650	16 september 2013
4. Interferentie open en gesloten systemen	IF Technology	62226/SB/20130911	11 september 2013
5. Buitengebruikstelling	KWR	BTO2013.036	augustus 2013

Uniek aan dit project is dat verschillende gebruikers van de ondergrond samenwerken in dit project. De partijen die betrokken zijn bij het ontwerp en de aanleg van gesloten bodemenergiesystemen én de partijen die het grondwater willen beschermen (drinkwaterbedrijven die deelnemen in BTO) hebben samengewerkt en over gezamenlijk standpunten en oplossingen nagedacht.

Wat leest u in deze samenvatting?

In deze samenvatting vindt u een overzicht van de belangrijkste onderzoeksvragen en bijbehorende antwoorden. Mocht u meer willen weten dan adviseren we u de losse rapporten van de betreffende werkpakketten te raadplegen (zie tabel 1). Deze rapporten zijn te vinden op www.soilpedia.nl.

In deze samenvatting zijn niet alleen de onderzoeksresultaten opgenomen, maar wordt ook een koppeling gelegd met het bijbehorende beleidskader. In navolgend schema is de relatie tussen de werkpakketten (blauwe cirkels) en het huidige beleidskader (blauwe rechthoeken) weergegeven.



Figuur 1 Schematische weergave werkpakketten met bijbehorend beleidskader

Samenhang andere onderzoeken

Het “Technisch onderzoek Gesloten bodemenergiesystemen” past in een reeks van onderzoeken, elk met hun eigen accent, die zijn uitgevoerd op het gebied van bodemenergie. Zo is het ene onderzoek meer generiek van aard, zoals de literatuurstudie Meer Met Bodemenergie en het andere onderzoek zeer specifiek van aard, zoals het onderzoek naar additieven in antivriesmiddelen. Hieronder volgt een overzicht:

- MER studie Nesselande (1997). Studie naar grootschalige toepassing bodemwarmtewisselaars in een woonwijk in Zuid-Holland.
- Bodem als energiebron en buffer (2003). Toepassing van bodemenergiesystemen in de gebouwde omgeving. Beleidsaanbeveling voor het ministerie.
- Workshop innovatieve combinaties van bodemenergie met andere functies (2011).
- Meer Met Bodemenergie (2012). Onderzoek over bodemenergie in brede context. Zowel theorie als praktijk kennis. Gesloten systemen zijn een onderdeel in het literatuuronderzoek van Meer Met Bodemenergie.
- Onderzoeken ter voorbereiding uitwerking BUM (2012). Bepalen van het energetisch rendement van een warmtepompinstallatie met een gesloten bodemenergiesysteem / methode voor het bepalen van interferentie tussen kleine gesloten bodemenergiesystemen, beide door Groenholland.
- Bedrijfstak onderzoek van de waterbedrijven (BTO, 2008-2012), wetenschappelijk onderzoek naar de effecten van open systemen, gekoppeld aan promotieonderzoeken aan de VU naar effecten op waterkwaliteit en temperatuur.
- Onderzoek naar de milieubelasting van antivries media door het RIVM, P. van Beelen (2013).

WP 1: Positieve effecten

Onderzoeksvragen

De vragen over gesloten bodemenergiesystemen die leven bij overheden en drinkwaterbedrijven gaan voornamelijk over de mogelijke negatieve (milieu-)effecten van deze systemen. Echter de voornaamste reden om gesloten bodemenergiesystemen en warmtepompen toe te passen is de positieve bijdrage in het behalen van de milieudoelstellingen. Denk hierbij aan het reduceren van het energieverbruik en de reductie in de CO₂ uitstoot.

In dit werkpakket luidt dan ook de kernvraag als volgt: *Welke positieve (milieu-)effecten heeft de toepassing van gesloten systemen met warmtepompen, in vergelijking met conventionele systemen?*

Bij dit onderwerp zijn de volgende subvragen geformuleerd:

1. Wat is het effect op de CO₂-uitstoot?
2. Hoeveel energie bespaart een gesloten systeem?
3. Wat is de invloed op het comfort van de gebruiker?

Regelgeving

De Europese Unie streeft naar 80-95% lagere CO₂ uitstoot in 2050, ten opzichte van 1990. In 2020 moet deze uitstoot met 20% zijn verminderd. Het kabinet wil daarnaast dat in 2020, 16% van de Nederlandse energiebehoefte afkomstig is uit hernieuwbare bronnen. Gesloten bodemenergiesystemen in combinatie met warmtepompen kunnen in beide ambities een bijdrage leveren. Gesloten bodemenergiesystemen en warmtepompen verbruiken weliswaar elektriciteit, maar de warmte en koude die wordt geleverd door de ondergrond is hernieuwbaar. Verder is het relevant dat gesloten bodemenergiesystemen en warmtepompen steeds duurzamer worden, als de hiervoor benodigde opgewekte elektriciteit steeds groener wordt.

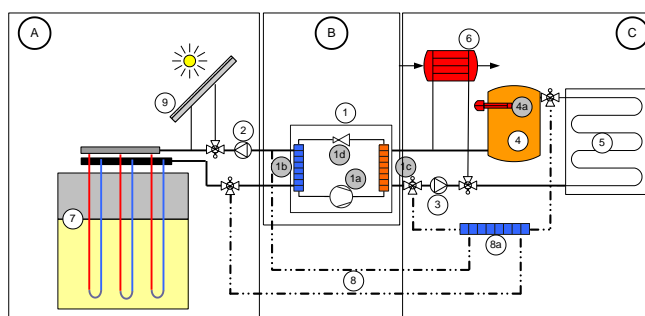
Eén van de uitgangspunten van de AMvB Bodemenergie is het doelmatig gebruik van de ondergrond voor bodemenergie. Dit heeft geresulteerd dat het energierendement van gesloten bodemenergiesystemen, waar ook de warmtepompen een onderdeel van vormen, moeten worden gekwantificeerd. Dit energierendement wordt uitgedrukt in een SPF (Seasonal Performance Factor) en biedt het bevoegd gezag mogelijkheden te controleren of het gesloten bodemenergiesysteem ook daadwerkelijk die energiebesparing oplevert, zoals tijdens het ontwerp is bedoeld. Werkpakket 3 gaat verder in op het energierendement van gesloten systemen.

Resultaten onderzoek

Hoeveel energie bespaart een gesloten systeem?

Verwarming met gesloten bodemenergiesystemen en elektrisch aangedreven warmtepompen levert ten opzichte van traditionele verwarming met ketels een primaire energiebesparing op die ligt tussen 40 en 55%. In het jaar 2020 kan deze energiebesparing ten gevolge van duurzamere elektriciteitsproductie oplopen tot 60 à 70%.

De primaire energiebesparing bij passieve koeling met een gesloten bodemenergiesysteem (warmtepompen worden niet ingezet voor koeling) ligt boven de 95% ten opzichte van koeling met traditionele koelmachines. Passieve koeling kan plaatsvinden bij voldoende lage temperatuur van de circulatievloeistof in het gesloten bodemenergiesysteem. Bij te hoge temperaturen van de circulatievloeistof dienen warmtepompen te worden



ingezet voor koeling. De maximale primaire energiebesparing bedraagt hierbij circa 30% ten opzichte van koeling met traditionele koelmachines.

Het primair energieverbruik is afhankelijk van de ontwikkelingen van de elektriciteitsproductie in de toekomst. Hoe hoger het rendement van de elektriciteitscentrales en hoe duurzamer de opwekking, des te lager het primair energieverbruik en de emissie van het broeikasgas CO₂.

Wat is het effect op CO₂-uitstoot?

Ten opzichte van verwarming met gasgestookte ketels, bedraagt de reductie in de uitstoot van CO₂ bij verwarming met gesloten bodemenergiesystemen en elektrisch aangedreven warmtepompen 40 tot 80 kg CO₂ per MWh geleverde warmte. Door duurzamere elektriciteitsproductie kan deze reductie in 2020 oplopen tot 55 à 90 kg CO₂ per MWh geleverde warmte.

Ten opzichte van traditionele koeling met koelmachines, bedraagt de reductie in de CO₂ uitstoot bij passieve koeling met een gesloten bodemenergiesysteem (warmtepompen worden niet ingezet voor koeling) orde grootte 135 kg CO₂ per MWh geleverde koude. Bij actieve koeling (warmtepompen worden wel ingezet voor koeling) daalt de reductie tot circa 30 kg CO₂ per MWh geleverde koude. Bij een groter aandeel in duurzamere elektriciteitsopwekking zal de reductie in CO₂ procentueel gezien niet wijzigingen. De hoeveelheid zal echter wel dalen tot circa 105 kg CO₂ per MWh geleverde koude (bij passieve koeling) en circa 20 kg CO₂ per MWh geleverde koude (bij actieve koeling).

De CO₂ emissiereductie is dus sterk afhankelijk van de ontwikkelingen van de elektriciteitsproductie in de toekomst.

Wat is de invloed op het comfort van de gebruiker?

De door KWR uitgegeven enquête bij gebruikers van gesloten bodemenergiesystemen met warmtepompen (zie werkpakket 2), laat zien dat circa 80% van de respondenten de woning voldoende gekoeld of verwarmd vindt. Uit de enquête én het uitgevoerde literatuurstudie blijkt dat gesloten bodemenergiesystemen met warmtepompen in het algemeen het gebruikerscomfort verhogen. Voor een toepassing binnen de woningbouw is vooral de koeling in de zomer een factor die het comfort verhoogt. Ten opzichte van een mobiele airconditioningsunit gaat passieve koeling met een gesloten bodemenergiesysteem niet gepaard met geluidsoverlast en koude, plaatselijke luchtstromen.

Ook bij toepassing in zorginstellingen of scholen zal het geleverde zomercomfort een grote positieve comfortfactor zijn. Koeling heeft directe invloed op het welbevinden van de bewoners en kan gezondheidsklachten, die samenhangen met te hoge binnentemperaturen, voorkomen en de concentratie en leerprestaties van leerlingen verbeteren.

Conclusie

Op basis van de onderzoeksresultaten wordt het volgende geconcludeerd:

- ✓ De toepassing van gesloten bodemenergiesystemen met elektrische warmtepompen draagt bij aan de besparing van het primair energieverbruik en de reductie in de CO₂ uitstoot en draagt dan ook bij in de Europese en nationale energiebesparingsdoelstellingen (zie ook kader CBS gegevens). Hierbij is het uiteraard wel van belang dat het vooraf bepaalde energierendement (SPF) in de praktijk ook daadwerkelijk wordt gehaald.

CBS gegevens (2011)

Volgens gegevens van het CBS uit 2011 realiseert bodemenergie (zowel open als gesloten bodemenergiesystemen) een 'vermeden verbruik van fossiele primaire energie' van 2.501 TJ per jaar. De jaarlijkse vermeden CO₂-emissie bedraagt 125.000 ton per jaar.

In 2011 bedroeg het aandeel hernieuwbare energie 4,3% van het bruto energetisch eindverbruik. Na biomassa (74,2%) en windenergie (18,4%) levert bodemenergie (3,0%) de derde grootste bijdrage aan de totale hoeveelheid hernieuwbare energie.

Wat betreft de hernieuwbare warmte levert bodemenergie de op één na grootste bijdrage (7,7%). Biomassa is ook hier de grootste (83,1%). In 2011 bedroeg het aandeel hernieuwbare warmte 3,3% van het eindverbruik voor verwarming.

Gegevens over het aandeel van bodemenergie bij koudelevering zijn er niet "omdat er in EU verband alleen gesproken wordt over geothermal heat en niet over koude. Koude telt wel mee bij de berekening van het vermeden verbruik van fossiele primaire energie, aldus CBS" in 'Hernieuwbare energie in Nederland 2011'.

WP 2: Lekkage, circulatievloeistof en doorboren kleilagen

Onderzoeksvragen

De kernvraag is: *Wat zijn de risico's van gesloten bodemenergiesystemen voor andere gebruikers van de ondergrond, bijvoorbeeld drinkwaterbedrijven?*

Bij dit onderwerp zijn de volgende subvragen geformuleerd:

1. Wat is de kans dat een gesloten bodemenergiesysteem gaat lekken?
2. Welke middelen worden gebruikt in gesloten bodemenergiesystemen en wat gebeurt er met deze middelen bij een eventuele lekkage in de ondergrond?
3. Wat is het gevolg van het doorboren van kleilagen ten behoeve van de aanleg van een gesloten systeem?

Regelgeving

Voor wat betreft lekkage en de daarbij mogelijk vrijkomende stoffen is de Wet Bodembescherming van toepassing. Deze stelt voor dat elke vorm van bodemverontreiniging na 1987 de zorgplicht geldt. Deze is erop gericht verontreiniging te voorkomen. In de praktijk zal dit per geval in overleg met het bevoegd gezag (gemeente of provincie) beoordeeld worden.

Voor het gebruik en het type circulatievloeistof is op dit moment geen wetgeving beschikbaar. Ook in de AMvB Bodemenergie zijn op dit moment geen specifieke regels opgenomen met betrekking tot het gebruik van het type circulatievloeistof in gesloten bodemenergiesystemen.

Resultaten onderzoek

Wat is de kans dat een gesloten bodemenergiesysteem gaat lekken?

Omdat onvoldoende gegevens beschikbaar zijn over lekkages van gesloten bodemenergiesystemen, is de lekkans bepaald op basis van gegevens uit de drinkwaterwereld (Ustore). Hierin zijn storingsgegevens per oorzaak, per materiaal en per diameter geregistreerd. Deze kansberekening met gegevens uit Ustore kan worden beschouwd als een "best guess" schatting.

De lekkans van een gesloten bodemenergiesysteem bestaande uit één verticale bodemlus van 100 m diep, 20 m horizontaal leidingwerk en in totaal 7 koppelingen, is bepaald op 0,23% per jaar. Hierin is een onderverdeling te maken in een lekkans van 0,07% voor het verticale deel (de voorgefabriceerde bodemlus) en 0,18% voor het horizontale verbindend leidingwerk op circa 1 m onder het maaiveld. Deze onderverdeling is natuurlijk sterk afhankelijk van de totale lengte van het verticaal en horizontaal leidingwerk en het aantal koppelingen.

Bij de aanleg van een gesloten bodemenergiesysteem moet worden gewerkt conform het Protocol Mechanisch Boren³ en het Protocol Ontwerp, Realisatie en Beheer van het Ondergrondse deel van Installaties voor Bodemenergie⁴. In de realisatiefase betekent dit dat lekkages tijdens de drukproeven worden opgemerkt. Lekke onderdelen in het systeem worden vervangen of gerepareerd. Het bodemenergiesysteem is op dat moment nog niet gevuld met de circulatievloeistof, waardoor dit ook niet in de bodem terecht komt.

De kans op lekkage van het horizontale leidingwerk op openbaar terrein kan worden verkleind door dit leidingwerk te registreren in het kader van de WION⁵. Registratie van het horizontaal leidingwerk op particulier terrein vindt vaak niet in het kader van de WION plaats. Voldoende

³ [Protocol Mechanisch Boren, BRL SIKB 2100](#)

⁴ [Protocol Ontwerp, Realisatie en Beheer van het Ondergrondse deel van Installaties voor Bodemenergie, BRL SIKB 11001](#)

⁵ [WION - Wet Informatie-uitwisseling Ondergrondse Netten](#)

diepteligging en informatieverstrekking aan de eigenaar beperkt de kans op lekkage op particulier terrein.

De hoeveelheid circulatievloeistof die vrij komt bij een lekkage, hangt af van de grootte van de lekkage, de locatie van de lekkage en de duur dat de lekkage optreedt. Een groot lek dat is veroorzaakt door bijvoorbeeld graafwerkzaamheden wordt snel opgemerkt. De druk in het systeem valt weg en het systeem valt in storing. Men dient echter vooral alert te zijn op kleine sluipende lekken die een lange looptijd kunnen hebben. Het regelmatig bijvullen van het systeem duidt op een sluipend lek. Dit feit moet leiden tot actie.

Welke middelen worden gebruikt in gesloten systemen en wat gebeurt er met deze middelen bij een eventuele lekkage in de ondergrond?

Om bevrozing van water in de warmtepomp te voorkomen, wordt in een gesloten bodemenergiesysteem veelal (mono)propyleenglycol als antivriesmiddel aan het water toegevoegd. Propyleenglycol is mobiel en kan zich dus eenvoudig naar het grondwater verplaatsen maar is wel goed biologisch afbreekbaar. Bij de afbraak in aerob water kan echter wel een zuurstoftekort ontstaan. Dit is echter pas relevant indien een grote hoeveelheid propyleenglycol in een relatief klein zuurstofarm waterlichaam terecht komt. Bij lekkage vanuit een gesloten bodemenergiesysteem naar het grondwater zal hier niet snel sprake van zijn. In zure bodemmilieus (veen) is de afbraak van propyleenglycol mogelijk lager en zijn leidingwater of water met kaliumcarbonaat mogelijk goede alternatieven voor propyleenglycol.

Vooraf additieven in voorgemengde antivriesmiddelen, zoals corrosie-inhibitoren als benzotriazol, vormen een duidelijk gevaar voor de bodem, het grondwater en de drinkwaterproductie. Additieven zorgen voor een verminderde biologische afbraak van het middel in de ondergrond bij een eventuele lekkage en zijn bij lage concentraties reeds toxisch. Van andere toevoegingen zoals kleurstoffen en antischuimmiddelen is weinig bekend. Een punt van zorg is het feit dat de exacte samenstelling van voorgemengde antivriesmiddelen vaak fabrieksgeheim is. Voor een adequate risicobeoordeling is inzicht in exacte concentraties van additieven noodzakelijk.

Het risico op vervuiling van de bodem door voorgemengde antivriesmiddelen met additieven is al met al groot te noemen. Voor grondwateronttrekkingen voor de drinkwaterproductie dient elke chemische bedreiging op voorhand vermeden te worden. Dus ook het toepassen van antivriesmiddelen in de nabijheid van drinkwaterwinningen. Omdat gesloten bodemenergiesystemen niet in grondwaterbeschermingsgebieden mogen worden gerealiseerd, is dit geborgd.

Om het risico van vervuiling te minimaliseren wordt geadviseerd om leidingwater, of water met puur glycol of kaliumcarbonaat als circulatievloeistof te gebruiken en voorgemengde antivriesmiddelen met additieven die niet exact van samenstelling bekend zijn, niet te gebruiken. Het gebruik van leidingwater brengt geen risico's met zich mee bij lekkage en is dus in deze de meest veilige keuze.

Wat is het gevolg van het doorboren van kleilagen en wat zijn de effecten van slechte afdichting scheidende lagen?

Indien kleilagen goed worden afgedicht conform het Protocol Mechanisch Boren, heeft het doorboren van kleilagen voor de aanleg van gesloten systemen vrijwel geen gevolgen in kortsluiting tussen twee verschillende watervoerende pakketten.

In het buitenland wordt meestal aanbevolen, of is wettelijk verplicht gesteld, dat boorgaten geheel moeten worden afgedicht (gegrout). In vergelijking met het buitenland zijn de regels in het Protocol Mechanisch Boren minder stringent en bieden meer keuzevrijheid, door de boorgaten gelaagd af te dichten ter hoogte van scheidende lagen. Opgemerkt wordt dat zowel bij het grouten als het gelaagd afdichten er zorgvuldig gewerkt moet worden om een goede afdichting

te kunnen garanderen. Omdat gewerkt wordt volgens het Protocol Mechanisch Boren, biedt dit mogelijkheden om te controleren (handhaven) of de boorgaten daadwerkelijk volgens het Protocol worden aangevuld en worden afgedicht. Onder de AMvB ligt de verantwoordelijkheid voor handhaving bij de gemeenten.

De berekeningen laten zien dat dat bij een bodemlus in een slecht afgedicht boorgat enkele tientallen tot honderden liters per dag stroomt van het ene naar het andere watervoerend zandpakket. De grootte van de kortsluitstroming is onder andere afhankelijk van het stijghoogteverschil over de doorboorde kleilaag en de doorlatendheid van zowel het materiaal in het boorgat als van het onder- en bovenliggende watervoerende zandpakket en zal alleen in de directe omgeving (< 10 m) leiden tot een meetbare verandering in de stijghoogte.

Een kortsluiting in het boorgat kan op lange termijn een grote hoeveelheid grondwater beïnvloeden als er sprake is van verschillen in de grondwaterkwaliteit (zoet/zout) of indien er een grondwaterverontreiniging aanwezig is. Ook als er geen sprake is van een verontreiniging is de aanwezigheid van een dergelijke kortsluitstroming ongewenst, omdat het de kwetsbaarheid van het grondwater vergroot. De bescherming van watervoerende pakketten die gereserveerd zijn voor (toekomstige) drinkwaterwinning is geregeld via de Provinciale Milieuverordening. In deze verordening zijn boringsvrije zones en grondwaterbeschermingsgebieden opgenomen, waarin gesloten bodemenergiesysteem niet zijn toegestaan. De huidige regelgeving sluit dus aan bij de behoefte om het grondwater in deze gebieden te beschermen.

Conclusies en vervolgacties

Uit het onderzoek is gebleken dat de risico's op andere grondwatergebruikers onderverdeeld zijn in drie aspecten, te weten het gebruik van additieven in voorgemengde antivriesmiddelen, lekkage van de circulatievloeistof uit bodemlussen naar het grondwater en kortsluitstroming tussen verschillende watervoerende pakketten door het niet goed afdichten van de boorgaten.

Op basis van deze onderzoeksresultaten adviseren wij het volgende:

- ✓ Laat een lijst met gewenste circulatievloeistoffen opnemen in de uitwerking van de AMvB Bodemenergie, die bij de evaluatie over drie jaar nog eventueel kan worden aangepast. Wij adviseren om op deze lijst in ieder geval de volgende stoffen op te nemen:
 - Water
 - Water aangevuld met puur (monopropyleen)glycol
 - Water met kaliumcarbonaat (puur product)
- ✓ Toets door middel van handhaving of de huidige werkwijze van het Protocol Mechanisch Boren en de AMvB voor het plaatsen van gesloten bodemenergiesystemen in de praktijk wordt gehanteerd. Indien over drie jaar bij de evaluatie van de AMvB Bodemenergie blijkt dat er niet gewerkt wordt conform het protocol Mechanisch Boren en de AMvB Bodemenergie, dan wordt geadviseerd om de regelgeving en handhaving op het punt van afdichting en ontmanteling te heroverwegen. Bij deze evaluatie kan de effectiviteit van maatregelen voor lekdetectie worden meegenomen.
- ✓ Licht gebruikers van gesloten bodemenergiesystemen voor over welke circulatievloeistoffen het beste kan worden toegepast en dat bij graafwerkzaamheden rekening moet worden gehouden met de ligging van het leidingwerk van het gesloten bodemenergiesysteem.

WP 3: Energiebalans en rendementsverliezen

Onderzoeksvragen

De kernvraag die wordt beantwoord in dit werkpakket luidt: *Hoe beïnvloedt een grootschalige toepassing van gesloten bodemenergiesystemen de opwarming en afkoeling van de bodem en het rendement? Hierbij kan grootschalig ook gelezen worden als meerdere kleine systemen bij elkaar.*

Bij dit onderwerp zijn de volgende subvragen geformuleerd:

1. Wat is het cumulatieve effect van vele kleine gesloten systemen op de bodemtemperatuur?
2. Bij hoeveel procent regeneratie werkt het systeem naar behoren?
3. Welke invloed hebben de energiebalans en rendementsverliezen op de CO₂ uitstoot?
4. Wat is de natuurlijke regeneratie van de bodem?
5. Wat zijn de meerkosten om een energiebalans te realiseren?

Regelgeving

Het huidige wettelijk kader dat van toepassing is op deze vraagstukken, is de AMvB Bodemenergie. Ten aanzien van rendement van het gesloten bodemenergiesysteem, waar ook de warmtepomp onderdeel van uit maakt, is het volgende vastgelegd: het energierendement van een systeem wordt uitgedrukt in de Seasonal Performance Factor (SPF). Wanneer een systeem wordt gemeld, moet worden opgegeven welke SPF het systeem zal behalen bij doelmatig gebruik van de ondergrond en bij goed onderhoud.

Indien een gesloten bodemenergiesysteem in de praktijk een energierendement heeft dat lager is dan bij de melding voor de installatie is opgegeven, kan dit voor de gemeente aanleiding zijn om de systeemeigenaar te verplichten de oorzaken hiervan te (laten) onderzoeken. Op basis van het resultaat van dit onderzoek kan het bevoegd gezag de verplichting opleggen om binnen een bepaalde termijn aangegeven maatregelen te treffen.

Resultaten onderzoek

Wat is het cumulatieve effect van vele kleine gesloten bodemenergiesystemen op de bodemtemperatuur?

De mate van energiebalans die gehanteerd wordt in een bodemenergiesysteem, is bepalend voor de uitkomst van de berekening van de thermische cumulatieve effecten. Wanneer geen balans wordt gehanteerd en het gesloten systeem alleen maar warmte aan de bodem onttrekt, daalt de temperatuur in de bodem aanzienlijk. Bij een gebouwzijdige energiebalans van 60% (bodemzijdige energiebalans circa 70 à 80%) is bij hetzelfde bodemenergiesysteem het maximale temperatuureffect ten gevolge van extra warmte laden in de bodem al sterk gereduceerd. Meer warmte in de bodem laden draagt niet bij aan een significante verhoging van de temperatuur van de circulatievloeistof bij warmteonttrekking in de winter.

Wanneer de energiebalans zodanig wordt gekozen dat vanuit de bodem meer koude wordt geleverd dan warmte (en dus in de bodem een warmteoverschot optreedt⁶), blijkt de temperatuurverhoging met name voor de grote utiliteit (vanaf 20% warmteoverschot) en kleine en grote utiliteit (50% warmteoverschot) groot. In de scenario's met passieve koeling is de opslag van warmte in de bodem (bij koudelevering) beperkt, omdat de temperatuur niet hoger kan worden dan 18 °C.

⁶ Dit is vanuit de AMvB Bodemenergie wettelijk niet toegestaan.

In de praktijk zal een onder- of overschrijding van de temperatuur van de circulatievloeistof van -3 °C of 30°C (conform eisen AMvB) niet optreden omdat de regeling van het bodemenergiesysteem en de warmtepomp dit zal voorkomen.

Bij hoeveel procent regeneratie werkt het systeem naar behoren?

Uit de berekeningen blijkt dat bij een toenemend aantal (kleine) systemen in een project, een groot additioneel temperatuureffect optreedt door onderlinge beïnvloeding.

Indien als uitgangspunt wordt aangehouden dat de individuele ontwerpen niet worden aangepast op de onderlinge beïnvloeding, zullen de gevolgen in het technisch functioneren van kleinere gesloten bodemenergiesystemen (orde grootte voor zo'n tien woningen) binnen acceptabele grenzen blijven. Bij grotere gesloten bodemenergiesystemen komt het technisch functioneren wel in het geding, omdat bevriezing van de bodem kan optreden. Hierbij zal enige mate van energiebalans noodzakelijk zijn.

Wanneer bij grootschalige projecten een gebouwzijdige energiebalans van circa 60% gerealiseerd wordt (bodemzijdige energiebalans van 70 à 80%), blijkt interactie tussen de onderlinge systemen zodanig klein te worden dat het temperatuurgedrag van het totale bodemenergiesysteem vergelijkbaar blijft met de oorspronkelijk opgestelde ontwerpen. Het functioneren of het rendement van de systemen wordt dan niet significant beïnvloed.

Welke invloed hebben de energiebalans en rendementsverliezen op de CO₂ uitstoot?

Een in de praktijk grote gebouwzijdige (en dus bodemzijdige) energiebalans ten opzichte van de veronderstelde balans bij het ontwerp, heeft een gunstig effect op het rendement bij verwarming omdat de temperatuur van de circulatievloeistof bij verwarming, en hiermee dus ook de temperatuur van de verdampers van de warmtepomp, hoger is dan bij geen of kleine energiebalans.

Bij koudelevering is het rendement het hoogst bij een gebouwzijdige energiebalans van 60 à 90% (bodemzijdig 70 à 100%). Daarboven neemt het rendement af omdat er in de varianten met passieve koeling (alleen koeling met het gesloten bodemenergiesysteem) minder koude op het gewenste temperatuurniveau geleverd kan worden.

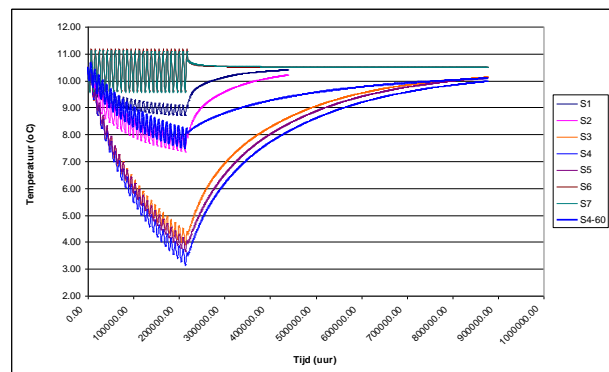
De effecten op de CO₂ emissie zijn vergelijkbaar met de effecten op de rendementen. Voor systemen zonder enige energiebalans (alleen verwarmingsbedrijf) is de gemiddelde reductie in de CO₂ uitstoot (ten opzichte van verwarming met gasgestookte ketel) 55 kg/MWh. Deze neemt toe tot gemiddeld 85 kg/MWh bij een gebouwzijdige energiebalans van 150% (warmteoverschot in de bodem).

Voor systemen die op passieve wijze koude leveren (zonder warmtepomp als koelmachine) is de reductie in de CO₂ emissie (ten opzichte van koeling met een koelmachine) redelijk stabiel op gemiddeld 140 kg/MWh geleverde koude. In de situaties met mechanische koeling daalt de gerealiseerde daalt de CO₂ emissiereductie tot ongeveer 15 kg/MWh bij een energiebalans van 150% (warmteoverschot in de bodem).

Wat is de natuurlijke regeneratie van de bodem?

De (herstel)tijd die nodig is tussen buitengebruikstelling van een gesloten bodemenergiesysteem (die 25 jaar in gebruik is geweest) tot de tijd dat de temperatuur van de bodem 0,5, 1,0 en 2,0°C afwijkt van de natuurlijke bodemtemperatuur, is berekend.

Voor kleine systemen (bijvoorbeeld enkele woningen of een klein woningbouwproject) en systemen met een



100% energiebalans ligt de hersteltijd tussen 0 à 17 jaar (afwijking met natuurlijke bodemtemperatuur 0,5°C). Voor grotere systemen is de hersteltijd tot een afwijking van 0,5°C langer en kan oplopen tot circa 75 jaar. De hersteltijd dat de afwijking kleiner is dan 1,0 of 2,0°C is voor grote systemen korter, maximaal 30 jaar.

Bij grote gesloten bodemenergiesystemen met een grotere mate van energiebalans, hoeft niet direct te resulteren in een kortere hersteltijd. Omdat het temperatuurverschil van het geactiveerde bodemvolume aan het begin van de hersteltijd kleiner is, zal per tijdseenheid minder warmte het gebied instromen (grootte warmtestroom afhankelijk van temperatuurverschil) en dus de tijd toenemen.

Wat zijn de meerkosten om een energiebalans te realiseren?

Hoe groter de energiebalans, des te groter de investering in het collectorsysteem die deze warmte moet leveren. Voor een klein project bedragen de kosten voor het realiseren van een gebouwzijdige balans van 30% (bodemzijdige energiebalans circa 40%) circa 20% van investering van het gesloten bodemenergiesysteem inclusief de warmtepomp.

Bij een volledige energiebalans bedraagt de meerinvestering circa 60% van de totale investeringskosten van het bodemenergiesysteem en de warmtepomp. Opgemerkt wordt dat als de collector ook warmte ten behoeve van warm tapwater levert, deze warmte niet hoeft te worden opgewerkt door de warmtepomp en het bodemenergiesysteem.

Aanbeveling/vervolgacties

Op basis van de onderzoeksresultaten zijn de volgende aandachtspunten voor uitwerking bij het verdere beleid:

- ✓ Bij grootschalige toepassing van gesloten bodemenergiesystemen in een bepaald gebied, is een bepaalde mate van energiebalans noodzakelijk om op langere termijn het functioneren te garanderen en voldoende rendement te behalen.
- ✓ Indien gemeenten een grootschalige toepassing van gesloten systemen in een bepaald gebied verwachten, wordt geadviseerd een (bodemenergie)plan op te stellen en/of het gebied aan te wijzen als een interferentiegebied, waarbij het doelmatig gebruik van de ondergrond goed kan worden geborgd. In dit (bodemenergie)plan dient aandacht besteed te worden aan de dimensionering van de gesloten systemen en de mate van energiebalans.

WP 4: Interferentie tussen open en gesloten systemen

Onderzoeksvragen

De kernvraag die wordt beantwoord in dit werkpakket luidt: *Hoe groot is de invloed van interferentie tussen een open en een gesloten systeem?*

Bij dit onderwerp zijn de volgende subvragen geformuleerd:

1. Hoe groot is de onderlinge thermische beïnvloeding tussen open en gesloten systemen en van welke factoren is de grootte van de onderlinge beïnvloeding afhankelijk?
2. Wat zijn de gevolgen van de onderlinge thermische beïnvloeding op het jaarlijks elektriciteitsverbruik, de elektriciteitskosten, de jaarlijkse CO₂-emissie en het rendement van de warmte- en koudelevering met het bodemenergiesysteem in combinatie met de warmtepomp?

Regelgeving

Wat betreft het onderwerp 'interferentie' geeft de AMvB Bodemenergie het huidige wettelijk kader aan. Binnen de AMvB Bodemenergie is het niet toegestaan dat systemen onderling een negatieve (schadelijke) interferentie hebben. Hierbij wordt geen onderscheid gemaakt van invloed tussen gesloten en gesloten, tussen gesloten en open of tussen open en open. Dit verbod geldt dus voor alle combinaties. Bij uitwerking in de BUM⁷ is het criterium opgenomen dat bij beïnvloeding tussen twee (of meerdere) gesloten systemen de temperatuursinvloed van het ene systeem op het andere systeem niet meer dan 1,5°C mag bedragen. Voor open systemen onderling of voor open en gesloten systemen is geen criterium opgenomen.

Resultaten onderzoek

Wanneer is mogelijk sprake van interferentie?

Er is mogelijk sprake van interferentie als:

- Als het grondwater van het open systeem wordt onttrokken en wordt geïnfiltrerd op eenzelfde diepte waar zich de bodemwarmtewisselaars van het gesloten systeem bevinden. Ofwel er zit een overlap in het dieptetraject.
- Als het open systeem en het gesloten systeem dicht bij elkaar liggen en in elkaars thermisch invloedsgebied liggen, zal er sprake zijn van thermische interactie.
- Als het gesloten systeem binnen het hydrologisch invloedsgebied ligt van het open systeem, waardoor de snelheid van de grondwaterstroming bij het gesloten systeem toeneemt. Over het algemeen geeft dit een gunstig effect voor de energetische prestatie van het gesloten systeem en is er dus geen sprake van nadelige beïnvloeding.

Van welke factoren is de onderlinge beïnvloeding afhankelijk?

De onderlinge beïnvloeding tussen een open en een gesloten bodemenergiesysteem is afhankelijk van:

- De horizontale afstand tussen de bronnen van het open systeem en de bodemwarmtewisselaars van het gesloten systeem: hoe groter de onderlinge afstand, hoe kleiner de onderlinge beïnvloeding zal zijn.
- Van belang is de mate van overlap in het dieptetraject van beide systemen. Het open systeem zal grondwater onttrekken en infiltreren in een gedeelte van het dieptetraject van de bodemwarmtewisselaars van het gesloten systeem. Hoe groter de overlap in het dieptetraject van beide systemen, des te groter de thermische interferentie.
- Het plaatsen van de bodemwarmtewisselaars nabij de warme of koude bron van het open systeem:

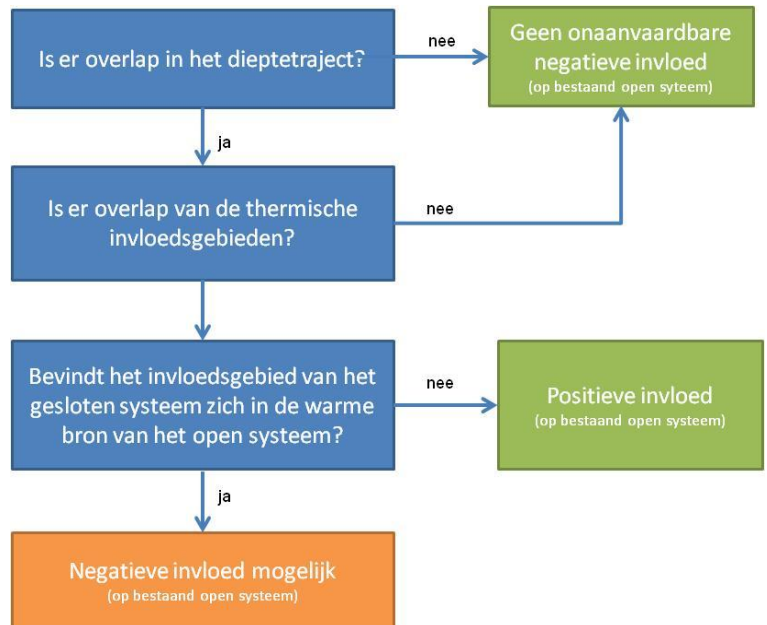
⁷ [Handreiking gemeentelijke besluiten bodemenergiesystemen \(BUM BE deel 2\)](#)

- de bodemwarmtewisselaars nabij een warme bron: zowel in de winter als in de zomer heeft het circulatiemedium in de lussen een hogere gemiddelde temperatuur.
- de bodemwarmtewisselaars nabij een koude bron: de temperatuurverandering in het gesloten systeem is beperkt. Door de invloed van de toegenomen grondwaterstroming wordt de negatieve invloed van de afgenomen grondtemperatuur gecompenseerd.
- De grootte van het open systeem is bepalend voor de invloed op het gesloten systeem.
- De grootte van het gesloten systeem en de bijbehorende mate van energiebalans zijn bepalend voor de invloed op het open systeem.

Wat zijn de gevolgen van een nieuw gesloten systeem voor een bestaand open systeem?

Aan de hand van drie varianten van het open systeem en drie varianten van het gesloten systeem zijn diverse scenario's vastgesteld en doorgerekend. Op basis van deze berekeningen zijn voor het open systeem de volgende conclusies getrokken:

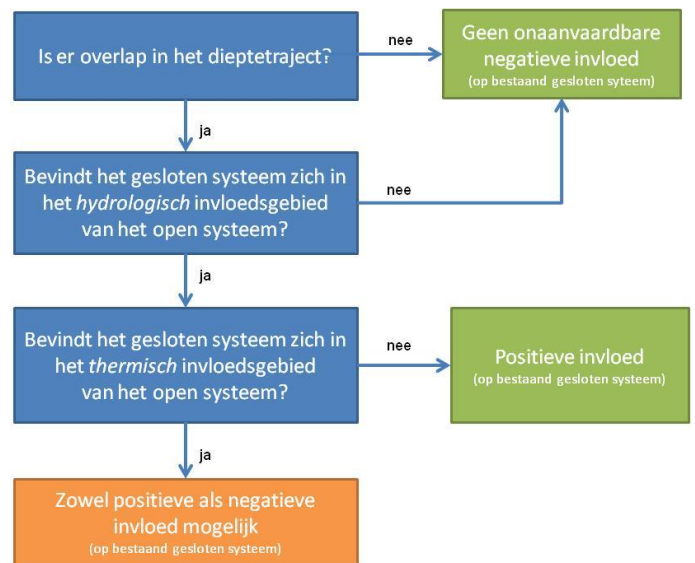
- Het gesloten systeem heeft een zeer beperkte positieve of negatieve invloed op de temperatuur van het grondwater dat wordt onttrokken uit de bronnen van het open systeem, waardoor het verschil in rendement van het open systeem met behorende warmteopwekking met de warmtepomp gering is ten opzichte van de situatie zonder beïnvloeding.
- De interferentie van het gesloten systeem op het open systeem is gering, doordat de netto warmteonttrekking van het gesloten systeem binnen het thermische invloedsgebied van het open systeem (deel van de warmteonttrekking die plaatsvindt in het dieptetraject van de bronfilters en binnen de thermische straal van de betreffende bron) naar verhouding klein is.
- Negatieve invloed van het gesloten systeem op het open systeem vindt plaats als de bodemwarmtewisselaars nabij de warme bron liggen en op jaarbasis netto warmte onttrekken. Deze negatieve invloed is gering en resulteert in een toename van het elektriciteitsverbruik en de daaraan gekoppelde elektriciteitskosten, CO₂-emissies en rendementen met maximaal 0,4% in de doorgerekende scenario's.
- Positieve invloed van het gesloten systeem op het open systeem vindt plaats als de bodemwarmtewisselaars nabij de koude bron liggen en op jaarbasis netto warmte onttrekken. Deze positieve invloed is gering en resulteert in een afname van het elektriciteitsverbruik (en de daaraan gekoppelde elektriciteitskosten, CO₂-emissies en rendementen) met maximaal 0,3% (in de doorgerekende scenario's).



Wat zijn de gevolgen van een nieuw open systeem voor een bestaand gesloten systeem?

Voor drie varianten van het open systeem en drie varianten van het gesloten systeem zijn diverse scenario's doorgerekend. Op basis van deze berekeningen zijn voor het gesloten systeem de volgende conclusies getrokken:

- De invloed van het open systeem op het energieverbruik en de daaraan gekoppelde elektriciteitskosten, de CO₂-emissies en de rendementen van het gesloten systeem, bedraagt maximaal circa 8% ten opzichte van de situatie zonder een open systeem in de nabije omgeving.
- Het rendement van de warmtepomp met het gesloten systeem wordt positief beïnvloed indien de bodemwarmtewisselaars van het gesloten systeem nabij de warme bron van het open systeem liggen. Dit wordt veroorzaakt door de hogere temperatuur van de bodem en dus van de circulatievloeistof in de winter, wat een hogere COP van de warmtepomp en dus een lager elektriciteitsverbruik van de warmtepomp tot gevolg heeft.
- Als de bodemwarmtewisselaars nabij de warme bron liggen, kan dit tot gevolg hebben dat in de zomer geen directe koeling met het gesloten systeem meer mogelijk is en dat de warmtepomp als koelmachine koude moet leveren. Dit kan het voordeel van de hogere COP van de warmtepomp in de winter en het voordeel in het elektriciteitsverbruik (zie punt hiervoor) weer teniet doen of zelfs zorgen voor een netto nadelige invloed. In één van de doorgerekende scenario's was dit het geval met als gevolg een netto 7% hoger elektriciteitsverbruik).
- Het rendement van de warmtepomp met het gesloten systeem wordt veelal beperkt negatief beïnvloed indien de bodemwarmtewisselaars van het gesloten systeem nabij de koude bron liggen van het open systeem. Dit wordt veroorzaakt door de lagere temperatuur van de circulatievloeistof in de winter, wat een lagere COP van de warmtepomp en dus een hoger elektriciteitsverbruik van de warmtepomp tot gevolg heeft (in de doorgerekende scenario's maximaal 2%). De invloed is beperkt omdat het nadelige effect van de lagere omgevingstemperatuur geheel of gedeeltelijk wordt gecompenseerd door het positieve effect van de toegenomen stroomsnelheid van het grondwater rondom de bodemwarmtewisselaars.



Conclusies en aanbevelingen

Uit het onderzoek blijkt dat de effecten die open en gesloten systemen op elkaar hebben minimaal zijn en dat open en gesloten systemen zonder problemen naast elkaar kunnen functioneren. Het verdient daarom de aanbeveling om:

- ✓ De vergunningverleners te informeren over het bestaande voorschrift in relatie tot deze onderzoeksresultaten. De BUM schrijft dat het bepalen of sprake is van verboden schadelijke interferentie tussen open en gesloten systemen maatwerk is. Uit deze studie blijkt dat het risico op deze schadelijke interferentie klein is:
 - ✓ De invloed van een gesloten systeem op een open systeem is vrijwel altijd te verwaarlozen en hoeft dus niet te worden getoetst.
 - ✓ Open systeem kan van nadelige invloed zijn op het gesloten systeem als het gesloten systeem in warme bron ligt in verband met de mogelijkheid om directe koeling te leveren. In dit geval zou dat gekwantificeerd moeten worden.
 - ✓ Als het gesloten systeem in de koude bron ligt is de invloed op de lange termijn klein en is geen aanvullende analyse nodig. Dit alles natuurlijk met de mogelijkheid om af te wijken als daar aanleiding voor is.

WP 5: Buitengebruikstelling

Onderzoeksvragen

De kernvraag is: *Wat is de beste manier om een gesloten bodemenergiesysteem te ontmantelen? Is de voorgeschreven methode uit de AMvB bodemenergie doeltreffend?*

Regelgeving

In de AMvB bodemenergie is vastgelegd dat bij het beëindigen van een gesloten bodemenergiesysteem de bodemlussen niet mogen worden verwijderd. Wel moet de circulatievloeistof uit het systeem worden verwijderd en moeten de lussen worden afgevuld met waterondoorlatend materiaal. Het Protocol Mechanisch Boren moet hierbij gevolgd worden.

Resultaten onderzoek

De methode voorgeschreven in de AMvB voor buiten gebruik stelling is praktisch uitvoerbaar en voldoet om het grondwater te beschermen. Uit een steekproef bij een aantal waterleidingbedrijven blijkt dat in de praktijk ook peilbuizen en winputten op de voorgeschreven methode worden afgedicht.

Een punt van zorg is echter of bij het buiten gebruik stellen van een gesloten bodemenergiesysteem ook daadwerkelijk de circulatievloeistof wordt verwijderd en de bodemlussen worden afgevuld. De gemeente heeft hierin een voorlichtingsfunctie, gezien het buitengebruik stellen van een gesloten systeem moet worden gemeld bij de gemeente. Tevens zal handhaving van de gemeente hierbij van belang zijn.

Een vergelijking met buitenlandse regelgeving laat zien dat hier veelal niet wordt geëist dat de bodemlus wordt gevuld met een slecht doorlatend materiaal. De reden hiervoor is dat het volledige boorgat reeds bij plaatsing is afgedicht (gegroot), zie werkpakket 2. Het volledig afdichten van boorgaten kan de onzekerheid met betrekking tot de handhaving in de toekomst wegnemen. Het is dan wel nodig dat er voldoende ruimte is tussen de lus en boorgatwand.

Aanbevelingen/vervolgacties

Op basis van de onderzoeksresultaten adviseren wij het volgende:

- ✓ De gemeente moet eigenaren van gesloten bodemenergiesystemen informeren/voorlichten over de eisen die gelden bij buiten bedrijfstelling. Ook kan bijvoorbeeld op vaste tijdstippen worden gevraagd of systemen nog in bedrijf zijn en sancties op te leggen als systemen niet aantoonbaar volgens de eisen zijn ontmanteld.
- ✓ Indien bij de gemeente wordt gemeld dat een gesloten bodemenergiesysteem buiten bedrijf wordt gesteld, wordt de gemeente aanbevolen hier op toe te zien.
- ✓ De huidige regelgeving ten aanzien van het buiten gebruik stellen van gesloten systemen is op zich voldoende. Het is echter niet duidelijk in hoeverre deze regels in de praktijk zullen worden opgevolgd en worden gehandhaafd. Aanbevolen wordt om bij de eerstvolgende evaluatie van de AMvB Bodemenergie de effectiviteit van de huidige regelgeving te evalueren en daarbij wellicht de discussie aan te gaan over het volledig grouten van boorgaten van nieuw te realiseren gesloten systemen.

Bijlage: Participanten “Technisch onderzoek gesloten bodemenergiesystemen”

Financiers/deelnemers

- Bedrijfstakonderzoek Waterbedrijven (BTO)
- Bodemenergie.nl
- Groenholland Geo-Energiesystemen
- IF Technology
- Interprovinciaal Overleg
- KWR Watercycle Research Institute
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu
- Gemeente Breda
- Gemeente Delft
- Gemeente Den Bosch
- Gemeente Heerlen
- Gemeente Veenendaal
- Gemeente Wageningen
- Gemeente Zutphen
- Zeeuwse gemeenten

Overige betrokken partijen

- Terratech
- RIVM
- Thermoplus
- KEI-advies
- Dutch HP Association
- SKB COP Bodemenergie