Optimale ondergrondse inpassing van open bodemenergiesystemen

Martin Bloemendal (KWR & TU Delft), Rob Kleinlugtenbelt (IF Technology), Johan Valstar (Deltares), Marian van Asten (provincie Utrecht) , Jan Frank Mars (Rijkswaterstaat/Bodem+)

De ondergrondse potentie van bodemenergie wordt nog niet volledig benut en vooral in binnenstedelijke gebieden is nog ondergrondse ruimte beschikbaar. Te dicht op elkaar geplaatste (open) bodemenergiesysteembronnen kunnen elkaar echter negatief beïnvloeden. Er is onderzocht wat de invloed is van het dichter bij elkaar plaatsen van bodemenergiesysteembronnen op het energierendement van de bodemenergiesystemen. Hieruit blijkt dan er CO_2 kan worden bespaard, zonder het energierendement van individuele systemen te verslechteren.

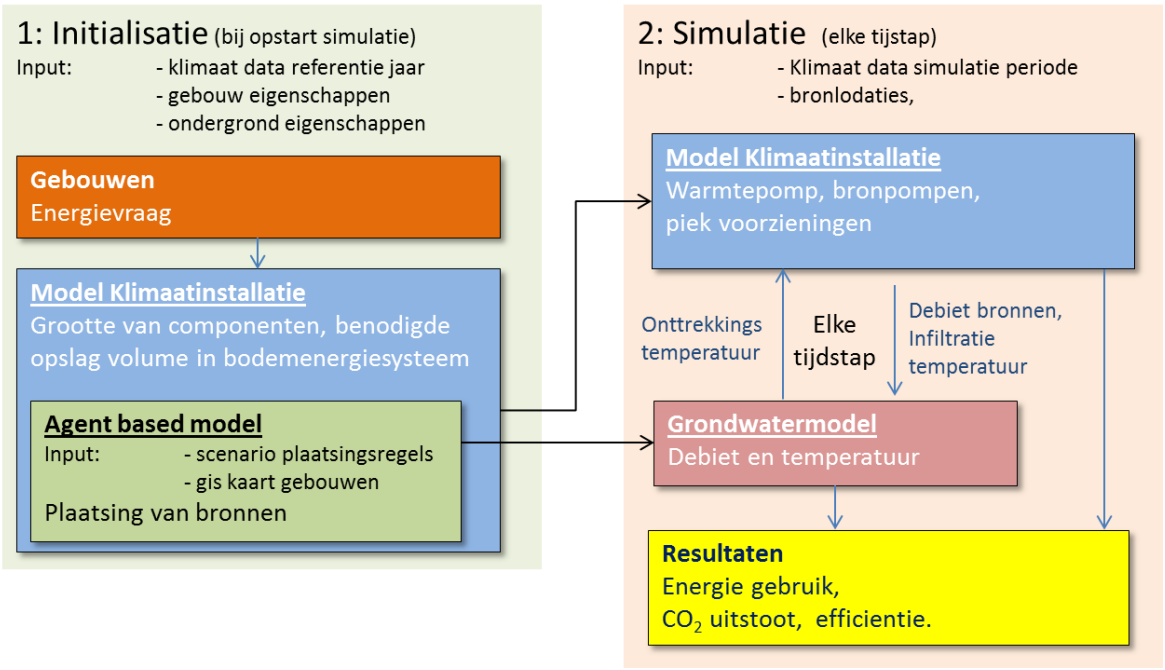
Nederland werkt aan de transitie naar een energiesysteem waarbij nauwelijks nog CO_2 wordt uitgestoten. In 2030 moet 70 procent van alle elektriciteit en minimaal 27 procent van alle energie duurzaam worden opgewekt [1]. Open bodemenergie (OBES) kan hier, zeker in de bebouwde omgeving, een belangrijke bijdrage aan leveren, omdat het helpt om utiliteitgebouwen en appartementencomplexen op een duurzame manier te koelen en verwarmen. Open bodemenergie wordt voor grote gebouwen gebruikt en gesloten (GBES) voor kleinere. In de huidige praktijk van ontwerp, ordening en vergunningverlening wordt de potentie van de ondergrond voor OBES niet optimaal benut.

Open bodemenergiesystemen kunnen elkaar bij kleine onderlinge afstand ondergronds negatief beïnvloeden. De wetgeving staat dit niet toe [2], waardoor bij ontwerp en vergunningverlening ruime afstanden worden aangehouden tussen bodemenergiebronnen. Dit leidt tot kunstmatige schaarste en ondoelmatig gebruik van de ondergrond. Het aanvragen van grotere capaciteit dan nodig door individuele gebruikers versterkt deze kunstmatige schaarste: grote delen van de bodem in stedelijk gebied worden nu feitelijk onbenut gelaten voor de toepassing van open bodemenergie. Ook waar intensief gebruik wordt gemaakt van bodemenergie wordt vaak de helft van de ruimte niet benut. Om de energie- en klimaatdoelen te halen moet juist in deze drukke gebieden de beschikbare ruimte in de bodem zoveel mogelijk worden gebruikt om warmte en koude op te slaan en terug te winnen. Deze uitdaging speelt in vrijwel alle grote Nederlandse steden. Omdat het aantal bodemenergiesystemen richting 2050 circa 20 keer zo groot moet worden, is het noodzakelijk dat er een generiek kader komt voor het dichter op elkaar plaatsen van bodemenergiebronnen, waarmee de bodem beter wordt benut voor de opslag van warmte en koude.

In dit onderzoek is onderzocht wat de invloed is van het dichter bij elkaar plaatsen van de bronnen van bodemenergiesystemen op de CO_2-uitstoot en het energiegebruik van de gehele warmte- en koudevoorziening van een aantal gebouwen; individueel en op gebiedsniveau. Uitgezocht is binnen welke randvoorwaarden het gebruik van de bodem met OBES kan worden geïntensiveerd. Hiervoor is inzichtelijk gemaakt welke positieve en negatieve effecten het vergroten van de dichtheid van bodemenergiesystemen heeft, wat het totale energieverbruik en de CO_2-uitstoot worden, en wat optimale bronafstanden zijn. Dit biedt handvatten voor ontwerp, ordening en vergunningverlening.

Aanpak en resultaten

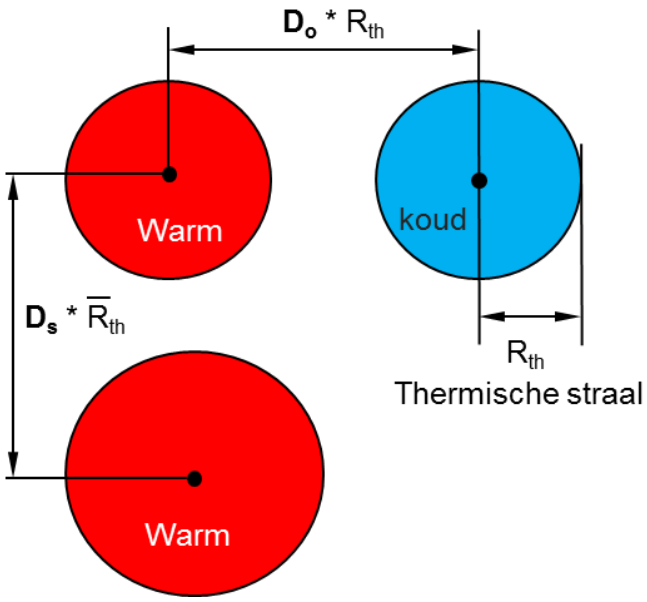
Als eerste is inzichtelijk gemaakt hoe ondergrondse interferentie tussen de bronnen doorwerkt op de werking en daarmee het primaire energiegebruik van individuele bodemenergiesystemen. In het hiervoor gemaakte gedetailleerde modelinstrumentarium, wordt de ondergrondse interactie met een grondwatermodel doorgerekend en het effect van de onttrekkingstemperatuur op het energiegebruik van de volledige klimaatinstallatie. In afbeelding 1 is in een stroomschema weergegeven uit welke basisstappen en -componenten dit modelinstrumentarium bestaat. Voor de details hierover wordt verwezen naar het volledige eindrapport van het ondezoek. Het ontwerp van de bodemenergiesystemen is in de simulaties conform de markstandaard [3]. Dat wil zeggen dat de warmtepomp met het bodemenergiesysteem de basislast van de warmtevraag levert en een piekketel wordt gebruikt om in de piekwarmtevraag te voorzien. De koeling wordt wel voor 100 procent uit de bodemenergiebronnen geleverd.



Afbeelding 1. Schematische weergaven van onderlinge koppeling verschillende modellen, onderlinge informatieuitwisseling en simulatiestappen

Plaatsingsregels

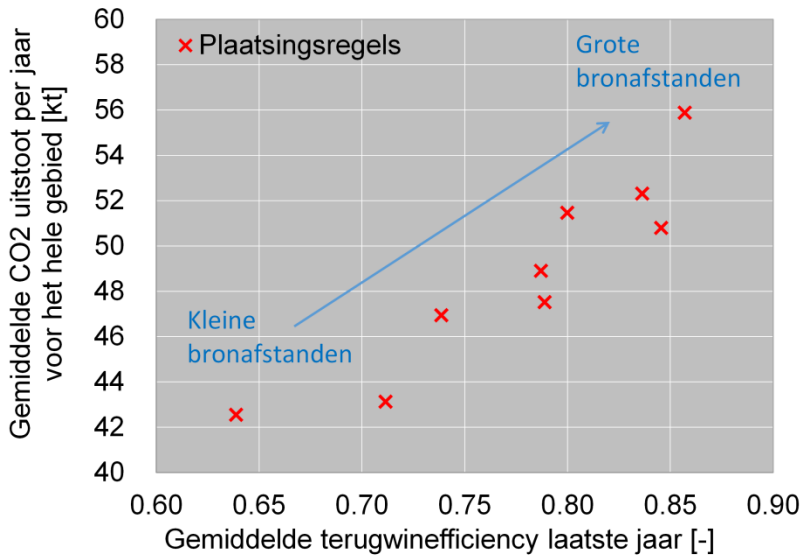
In het model worden, net als in de praktijk, bronnen geplaatst op basis van de verwachte thermische straal en grootte van de warme en koude bron [4], [5]. Voor bronnen van hetzelfde type (warm-warm of koud-koud) (D_s, positieve interactie) kunnen vanwege de positieve interactie kleinere afstanden worden gehanteerd dan voor bronnen van een ander type (D_o, negatieve interactie), zie afbeelding 2. Bij grote waarden voor D_o en D_s komen bronnen dus ver uit elkaar te staan, voor lage waarden dicht bij elkaar.



Afbeelding 2. Bronnen worden geplaatst op basis van de thermische straal, waarbij voor bronnen van hetzelfde type (D_s) kleinere afstanden kunnen worden gehanteerd (positieve interactie) dan voor bronnen van een ander type (D_o, mogelijke negatieve interactie) [4]. D_o wordt gevarieerd van 1.5 tot 3 en D_s van 0.5 tot 2.Een combinatie van de waarden van D_o en D_s is in dit onderzoek aangeduid als een plaatsingsregel

Resultaten

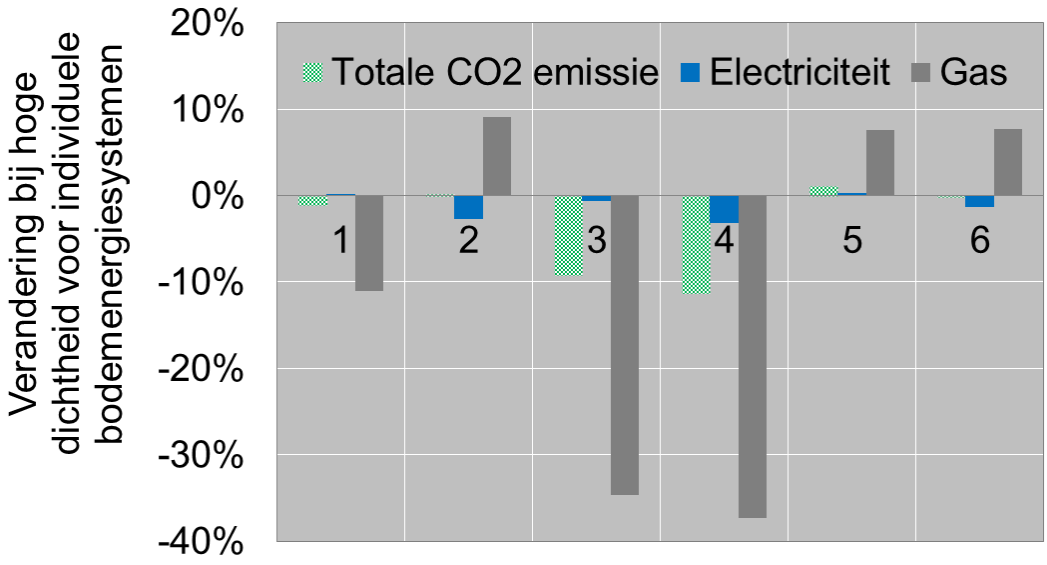
De resultaten voor 26 gesimuleerde gebouwen bevestigen het beeld uit eerdere studies [4], [5]: als de bronafstanden tussen bodemenergiesystemen kleiner worden, wordt hun individuele terugwinefficiëntie lager. Daar staat tegenover dat de totale CO_2-emissie in het gebied afneemt (afbeelding 2). Dit geldt voor de onderlinge afstand tussen zowel hetzelfde als tegenovergestelde type bronnen.



Afbeelding 3. Het effect van het dichter op elkaar plaatsen van bodemenergiesystemen op de terugwinefficientie van de bronnen en de totale CO_2-uitstoot in een gebied. Terugwinefficientie = onttrokken energie / opgeslagen energie. Marker linksonder = (D_s=0.5, D_o=2), Marker rechtsboven = (D_s=2, D_o=3)

Ten aanzien van de CO_2-uitstootreductie ligt voor hetzelfde type bronnen de optimale waarde voor de afstand op circa een half tot één keer de thermische straal, terwijl dat voor een tegenovergesteld type bronnen twee keer de thermische straal is (D_s=0.5, D_o=2). Gemiddeld neemt de terugwinefficiëntie af als warme en koude bronnen dichter op elkaar worden geplaatst. Het nut van bodemenergiesystemen zit echter niet in een hoge terugwinefficiëntie, maar in het besparen van energie en verminderen van CO_2-uitstoot ten opzichte van een scenario zonder bodemenergie.

Het is voor de individuele eigenaar/gebruiker van een bodemenergiesysteem echter ook van belang om in beeld te brengen hoe de prestatie van zijn systeem verandert als de bronnen van nabijgelegen gebouwen dichterbij worden geplaatst. In afbeelding 4 is voor zes gebouwen uit de simulaties de verandering van de uitstoot en het elektriciteit- en gasgebruik weergegeven, wanneer deze gebouwen worden geconfronteerd met buursystemen die dichterbij staan (verschil tussen scenario's met grote en kleine bronafstanden).



Afbeelding 4. Het effect van verkleinen van de bronafstanden op energiegebruik en CO_2-uitstoot van 6 gebouwen uit de simulaties. NB deze 6 gebouwen zijn representatief voor de resultaten van alle 26 gebouwen. Voor de overzichtelijkheid zijn ze niet alle 26 gepresenteerd. In het rapport zijn ze vanzelfsprekend wel allemaal weergegeven

Uit afbeelding 4 blijkt dat de verschillen in het elektriciteitsgebruik van de individuele bodemenergiesystemen over het algemeen erg klein en niet voor alle gebouwen hetzelfde zijn. De verandering in het totale energiegebruik van de individuele bodemenergiesysteem is beperkt, soms positief, soms negatief. De ene keer is het verbruik iets lager bij hoge dichtheid: het gebouw kan zelf meer bronnen plaatsen of ondervindt positieve interactie met de buren. De andere keer is het energiegebruik weer iets hoger: het gebouw ondervindt negatieve interactie met de buren. De verschillen in gasverbruik zijn over het algemeen ook klein, hoewel de verschillen voor enkele gebouwen een stuk groter zijn, zoals hier bij gebouwen 3 en 4. De grotere dichtheid zorgde er hier voor dat die gebouwen meer bronnen konden plaatsen. In het algemeen blijkt uit deze resultaten dat verdichting een beperkt effect heeft op het energiegebruik van individuele systemen (ondanks een lagere terugwin-efficiëntie van de bronnen) en dat in veel gevallen het gasverbruik zelfs licht daalt. Dat de bodemenergiesystemen niet gevoelig zijn voor ondergrondse onderlinge interactie komt doordat het rendementsverlies efficiënt kan worden opgevangen.

Aanvullende scenario's

Er zijn ook aanvullende scenario's doorgerekend: wel/geen piekketel, groter temperatuurverschil tussen de bronnen en grotere variaties in de energievraag, zoals bijvoorbeeld door klimaatverandering. De belangrijkste resultaten hiervan zijn:

- bij bodemenergiesystemen zonder piekketel neemt bij hoge dichtheid het gasverbruik voor het gebied weliswaar significant af, maar het stroomgebruik juist flink toe. Er is nog steeds gas nodig voor systemen die geen of onvoldoende bronnen kunnen plaatsen. Een bodemenergiesysteem kan heel efficiënt de basislast voor verwarming en koeling leveren en een gasketel vult

kostenefficiënt de pieken. Het bodemenergiesysteem presteert niet optimaal als het ook de pieken moet leveren. Dit is dus alleen verstandig om te doen als alle elektriciteit die wordt gebruikt ook duurzaam is opgewekt.

- Een verandering van het temperatuurverschil tussen de bronnen heeft een klein effect op de energieprestatie: een groter temperatuurverschil geeft een iets hogere energieprestatie. Ook het aantal bronnen dat kan worden bijgeplaatst neemt iets toe doordat de thermische straal kleiner en de capaciteit van de bronnen groter wordt. Bij een groter temperatuurverschil zou dus potentieel meer ondergrondse ruimte beschikbaar komen voor andere systemen.
- De scenario's waarbij de energievraag significant veranderde lieten dezelfde resultaten zien als de basisscenario's.

Voor de details over deze aanvullende en de basisscenario's verwijzen we graag naar het volledige rapport.

Benuttingsgraad en optimale plaatsingsregels

De benuttingsgraad is gedefinieerd als het jaarlijks verpompte volume van alle bodemenergiesystemen in het gebied gedeeld door het totale volume van het watervoerende pakket (dikte * oppervlakte gebied). Met de gehanteerde plaatsingsregels heeft toename van benuttingsgraad in ieder geval tot 75 procent afname van totale CO_2-uitstoot in het gebied tot gevolg. Tot 75 procent benutting lijkt ordening/planning niet nodig. Uit de resultaten blijkt echter dat zelfs in de scenario's met de hoogste dichtheid niet alle gebouwen een bodemenergiesysteem krijgen. Boven de 75 procent lijkt de totale uitstoot, met nog kleinere bronafstanden, niet af te nemen. Dus dan is ofwel de maximale potentie bereikt, of kan bijvoorbeeld de bodem met een ordeningsplan nog beter worden benut. Deze ranges komen goed overeen met ranges die in eerder onderzoek zijn geïdentificeerd [5].

Uitgaande van de basis- en aanvullende scenario's is in deze studie vastgesteld dat de optimale onderlinge afstand voor hetzelfde type bronnen (warm-warm, koud-koud) 0.5 tot1 keer de thermische straal is. Voor het tegenovergestelde type bronnen is de optimale afstand tenminste twee keer de thermische straal. Veel groter is ongewenst, om lege ruimten te voorkomen die te klein zijn voor benutting door andere bodemenergie-initiatieven. Met deze generieke plaatsingsregels voor open bodemenergiesystemen kan in ieder geval 50 en mogelijk zelfs 75 procent van een aquifer worden benut. Voor een hoger benuttingspercentage zijn er maatwerkoplossingen nodig, of is de ruimte in de bodem simpelweg niet toereikend om aan alle vraag te kunnen voldoen. Deze regels zijn goed toepasbaar onder praktijkcondities.

Implementatie in beleid

Hoe kunnen de resultaten van deze studie worden toegepast in de praktijk? Onder de huidige regels kan dat al als provincies bereid zijn af te wijken van standaardbeleid bij individuele aanvragen door een gebied waar het druk is in de bodem aan te wijzen als een zogenaamd 'interferentiegebied'. Voor een interferentiegebied mogen gemeente en provincie aanvullende of andere regels opstellen. Ook onder de Omgevingswet is het mogelijk om hogere dichtheden van open bodemenergiesystemen toe te staan. Dit kan door in een omgevingsplan of omgevingsverordening op te nemen dat de afstand tussen bronnen van bodemenergiesystemen een bepaalde minimale en maximale waarde moet hebben, afhankelijk van het type bronnen. Daarnaast kunnen bestaande vergunningen worden aangepast als de vergunde volumes te

verpompen grondwater structureel worden onderbenut en kunnen er eisen worden gesteld aan het bronontwerp en het temperatuurverschil.

Discussie

Overcapaciteit in vergunning

Zowel in de praktijk als in de simulaties in deze studie is het verwachte seizoensopslagvolume het uitgangspunt voor de onderlinge afstand waarop bronnen worden geplaatst (de thermische straal hangt immers af van opslagvolume en aquiferdikte). In de simulaties wordt het van tevoren verwachte opslagvolume ook daadwerkelijk toegepast.

In de praktijk wordt bij de aanvraag van een vergunning voor een bodemenergiesysteem echter altijd een veiligheidsfactor toegepast, waardoor de thermische straal waarop de vergunningaanvraag wordt gebaseerd groter is dan in de praktijk [6], [7]. Daarnaast wordt ook vaak water kort-cyclisch de bronnen in- en uitgepompt in de herfst en lente, door afwisselende warmte- en koeltevraag. Op dag/weekschaal warmte opslaan en terugwinnen draagt wel bij aan het totale opslagvolume, maar niet aan vergroting van de thermische straal. In de praktijk wordt circa 25 procent van het totale opslagvolume in de herfst en lente kort-cyclisch verpompt. Daardoor geeft zelfs het werkelijke totale seizoensopslagvolume een overschatting van de werkelijke grootte van de thermische straal.

Het is daarom de vraag hoe de afstandsregels, die in deze studie als optimaal zijn geïdentificeerd, moeten worden vertaald naar de praktijk. Want $0.5 \cdot R_{th}$ is een grotere afstand wanneer het opslagvolume in de vergunningsaanvraag met een veiligheidsfactor is vermenigvuldigd. Zowel $0.5 \cdot R_{th}$ als $1 \cdot R_{th}$ bij gelijke type bronnen resulteren in ongeveer dezelfde reductie in CO_2-uitstoot (de 2 linker punten in afbeelding 3). Rekening houdend met bovenstaande discussiepunten, is het daarom veilig en verstandig om in vergunningsaanvragen met relatief kleine vermenigvuldigingsfactoren (D_s en D_o) te werken op de opgegeven thermische stralen.

Afname CO_2-uitstoot elektriciteitsproductie

Omdat de onderlinge interactie weinig effect heeft op het energiegebruik van een individueel bodemenergiesysteem, zorgt het toelaten van meer bodemenergiesystemen voor een aanzienlijke daling van de totale CO_2-uitstoot van het gebied (afbeelding 2). Dit komt doordat dan veel meer gebouwen toegang hebben tot deze duurzame technologie. Door het tot twee keer vergroten van de dichtheid van open bodemenergiesystemen, neemt de totale CO_2-uitstoot significant met 30 procent af. Deze afname wordt in de resultaten van deze studie nog geremd door de hoge CO_2-emissie die nog moet worden toegerekend aan de grotendeels ‘grijze’ elektriciteit die in 2019 van het Nederlandse elektriciteitsnet wordt betrokken. Als die emissiefactor in de toekomst daalt richting 0 door de duurzame opwekking van elektriciteit, dan is de procentuele daling van CO_2-uitstoot door het verhogen van de dichtheid van de bodemenergiesystemen wel 70%.

Conclusies

De resultaten bevestigen de uitkomsten van eerder onderzoek: door kleinere afstanden tussen bronnen te hanteren, kunnen in het gebied meer bronnen worden geplaatst en kunnen daardoor meer gebouwen van bodemenergie worden voorzien, wat zorgt voor een vermindering van CO_2-uitstoot.

Daarnaast is gebleken dat onderlinge interactie de individuele energieprestatie van bodemenergiesystemen beperkt beïnvloedt. Veranderingen in brontemperatuur werken niet één op één door in het energiegebruik van de klimaatinstallatie. Daardoor kunnen bronnen van open bodemenergiesystemen dichterbij elkaar worden geplaatst dan in de huidige praktijk het geval is.

Tot slot is vastgesteld wat de optimale onderlinge afstand tussen bronnen is. Dat komt neer op een half maal de thermische straal voor bronnen van hetzelfde type en tweemaal de thermische straal voor bronnen van het tegenovergestelde type.

Dankwoord

De auteurs bedanken Stijn Beernink (KWR), Rutger van den Brugge (Deltares), Marlous van der Meer en Laura Tack (RUD Utrecht) en Harry Boerma (gemeente Utrecht) voor hun bijdrage aan het onderzoek.

Het volledige rapport is beschikbaar op: https://www.tkiwatertechnologie.nl/projecten/hogere-dichtheid-van-bodemenergiesystemen-voor-meer-co2-besparing/

Dit onderzoek is gefinancierd door TKI, Kennisplatform Bodemenergie, KIBO en de provincie Utrecht, de RUD Utrecht en de gemeente Utrecht.

Referenties

1. https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/duurzame-energie/meer-duurzame-energie-in-de-toekomst

2. Schultz van Haegen, M. H. (2013). 'Wijzigingsbesluit bodemenergiesystemen. M. o. I. a. Environment'. Den Haag, *Staatscourant* 23617.

3. ISSO (2017). *ISSO-publicatie 39 Energiecentrale met warmte en koude opslag (WKO)*. Rotterdam, ISSO.

4. Duijff, R. (2019). *Interaction between multiple ATES systems*. MSc, Delft University of Technology.

5. Bloemendal, M., Jaxa-Rozen, M. &Olsthoorn, T. (2018). 'Methods for planning of ATES systems'. *Applied Energy* 216: 534-557.

6. Beernink, S., Hartog, N., Bloemendal, M. & Meer, M. van der (2019). 'ATES systems performance in practice: analysis of operational data from ATES systems in the province of Utrecht, The Netherlands'. *European Geothermal Congress*. The Hague, Netherlands.

7. Willemsen, N. (2016). *Rapportage bodemenergiesystemen in Nederland*. Arnhem, RVO / IF technology.