

## De belangrijkste bevindingen uit het proefschrift "The hidden side of cities"

# Meer besparing met bodemenergie

**Het energiegebruik van gebouwen draagt voor circa 40 procent bij aan het totale energieverbruik. Bij het verduurzamen van het energiesysteem is het daarom belangrijk om duurzame technieken voor verwarmen en koelen te ontwikkelen en te implementeren.**

Door: Martin Bloemendal

#### Over de auteur:

dr.ir. J.M. Bloemendal is onderzoeker bodemenergie bij KWR, martin.bloemendal@kwrwater.nl, en aan de TUDelft, j.m.bloemendal@tudelft.nl

Bodemenergie (of Warmte koude opslag) is een techniek die gebouwen voorziet van duurzame verwarming en koeling. In Nederlandse steden kan het percentage gebouwen met een bodemenergiesysteem in de toekomst oplopen tot 25 procent. Bij een dergelijke grote rol voor de ondergrond in de energievoorziening is het van belang om vast te stellen op welke manier de volledige potentie van de ondergrond op een duurzame manier kan worden benut.

#### HUIDIGE PRAKTIJK

Bodemenergiesystemen concentreren zich in stedelijke gebieden daar waar veel gebouwen dicht bij elkaar staan. De verspreiding van warm en koud grondwater rondom de bronnen van bodemenergiesystemen varieert in de Nederlandse praktijk tussen de 20 en 150 m en hangt af van de eigenschappen van de ondergrond en de energievraag van de betreffende gebouwen. De warmte komt door die verspreiding vaak onder het perceel van de nabijgelegen gebouwen. Onderlinge interactie tussen warme en koude bronnen vermindert het rendement, daarom moet het overlappen van warme en koude zones in de ondergrond worden voorkomen. Om deze negatieve onderlinge interactie te voorkomen worden bodemenergiesystemen in de huidige praktijk overgedimensioneerd en op grote afstand van elkaar gehouden. Dat is nodig vanwege de onzekerheden die inherent zijn aan de weersomstandigheden, het klimaat en het gebruik van gebouwen die ervoor zorgen dat de energievraag van een gebouw erg lastig te voorspellen is. Tegelijkertijd is het ook erg lastig en duur om de verspreiding van warm en koud grondwater in de bodem inzichtelijk te krijgen. Het resultaat hiervan is dat bodemenergiesystemen de ruimte in de bodem door te veilige onderlinge afstanden lang niet volledig benutten en daarmee potentiële energiebesparing laten liggen. Dit geeft aan dat het in stedelijk gebied een uitdaging is om zoveel mogelijk bodemenergiesystemen in de onder-

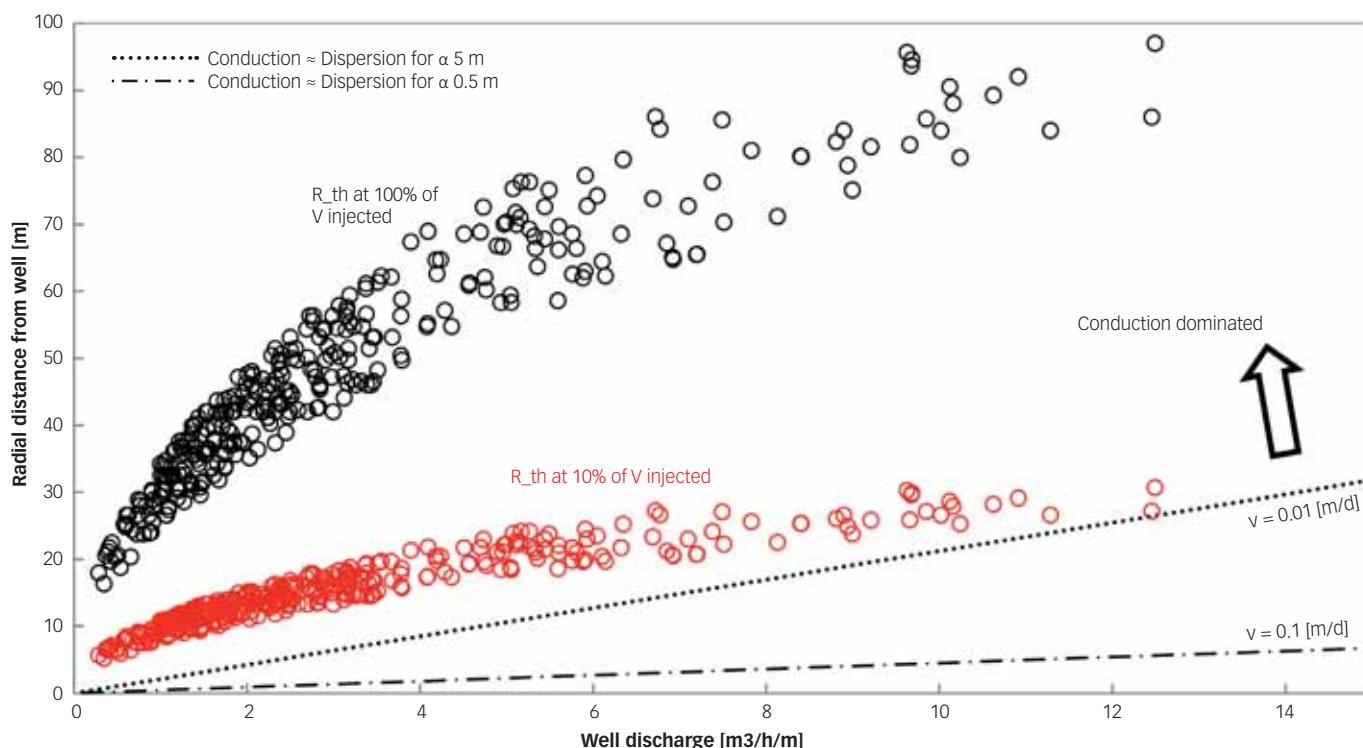
grond te accommoderen en tegelijkertijd het individuele rendement van deze systemen zo hoog mogelijk te laten zijn. Zoals bij vele "common pool resources" (CPR) is er een wisselwerking tussen het belang van de individuele gebruiker en het collectief: Meer bodemenergiesystemen toelaten vermindert de totale uitstoot van broeikasgassen in dat gebied, maar tegelijkertijd wordt het rendement van de individuele systemen daardoor mogelijk slechter. Dus in gebieden met veel vraag naar bodemenergie is een institutioneel en technisch kader nodig om bodemenergiesystemen te organiseren en aan te leggen.

#### GRIP OP WARMTEVERLIEZEN IN DE BODEM

Om het vergroten van het aantal bodemenergiesystemen te faciliteren is een ontwerp kader vastgesteld om te komen tot bronontwerp dat leidt tot optimaal gebruik van de bodem en het hoogste opslag rendement. Wat nieuw is in vergelijking met de huidige praktijk, is dat daarbij ook specifieke operationele condities, zoals variaties in energievraag, aquiferdikte, totale opslag volume en energiebalans zijn beschouwd. Er is veel data uit de

Benodigde groei van  
bodemenergie vraagt om  
nieuwe ontwerp-aanpak

Nederlandse praktijk gebruikt om de ontwikkelde concepten te toetsen en te illustreren. Uit de resultaten blijkt dat de dispersieverliezen kunnen worden verwaarloosd bij bodemenergiesystemen, zie figuur 1. Dispersie is de verspreiding van warmte door verschillen in de snelheid waarmee het grondwater tussen de zandkorrels door stroomt. Als er geen natuurlijke achtergrondstrooming is, zijn er geen andere mechanismen die voor warmteverlies zorgen, en worden de verliezen dus gedomineerd door warmtegeleiding (conductie). Daarmee zijn de verliezen afhankelijk van de verhouding ( $A/V$ ) tussen het oppervlak ( $A$ ) van de ci-



FIGUUR 1. DE RELATIE TUSSEN BRONDEBIET PER METER FILTER EN AFSTAND TOT DE BRON.

TOELICHTING BIJ FIGUUR 1. LIJNEN: DE RADIALE AFSTAND VANAF DE BRON WAARBIJ DE STROOMSNELHEID ZO GROOT IS DAT CONDUCTIE EVEN GROOT IS ALS DISPERSIE BIJ KLEINE EN GROTE DISPERSIVITEIT ( $A = 0.5$ , EN RESP.  $5$  M). CIRKELS: DE THERMISCHE STRAAL VAN CA. 330 WKO SYSTEMEN NA INFILTRATIE VAN 10 PROCENT EN 100 PROCENT VAN VERGUNDE OPSLAGCAPACITEIT.

lindervormige warme of koude bel die in de bodem rondom de bron ontstaat en het totale opslag volume ( $V$ ) in de bron. Hoe kleiner  $A/V$  hoe minder conductie er kan optreden, hoe hoger het opslagrendement: er blijkt een negatief lineair verband tussen de  $A/V$ -ratio en het opslagrendement van bodemenergiebronnen te zijn, bij gegeven opslagvolume bepaalt die namelijk de  $A/V$  verhouding. De filterlengte van de bron is dus een belangrijke ontwerpparameter voor optimaal bronrendement, die in de huidige praktijk vooral wordt bepaald op basis van benodigde pompcapaciteit, terwijl ook opslagrendement daarin meegenomen zou moeten worden.

Voor de situaties waarbij er wel natuurlijke grondwaterstroming is, is er een analytisch verband afgeleid tussen opslagrendement en bronontwerp voor de invloed van een lage achtergrond stromingssnelheid ( $<25$  m/j). Voor situaties met hogere achtergrondstromingssnelheid is inzichtelijk gemaakt hoe, met meerdere bronnen in elkaars verlengde, de grondwaterstroming kan worden gecompenseerd. Gedurende de zomer wordt warm water in een warme bron geïnfilteerd, tijdens de winter wordt het warme grondwater dat onder invloed van de grondwaterstroming is verplaatst, uit een benedenstrooms gelegen warme bron onttrokken. De onderlinge afstand (m) tussen de twee warme bronnen moet circa 0.4 keer de jaarlijkse grondwaterstromingssnelheid (m/j) zijn.

Aquifers in kustgebieden hebben vaak een dichtheid-gradiënt in het grondwater door toenemende zoutconcentratie met de diepte. Het is aangetoond dat zulke dichtheid-gradiënten geen significant effect hebben op bodemenergiesystemen onder praktijk-condities in Nederland.

#### MEER BODEMENERGIESYSTEMEN ZORGEN VOOR MEER BESPARING

Daarnaast is inzichtelijk gemaakt welke orderingsstructuren leiden tot een optimaal gebruik van de bodem. De keuze voor de

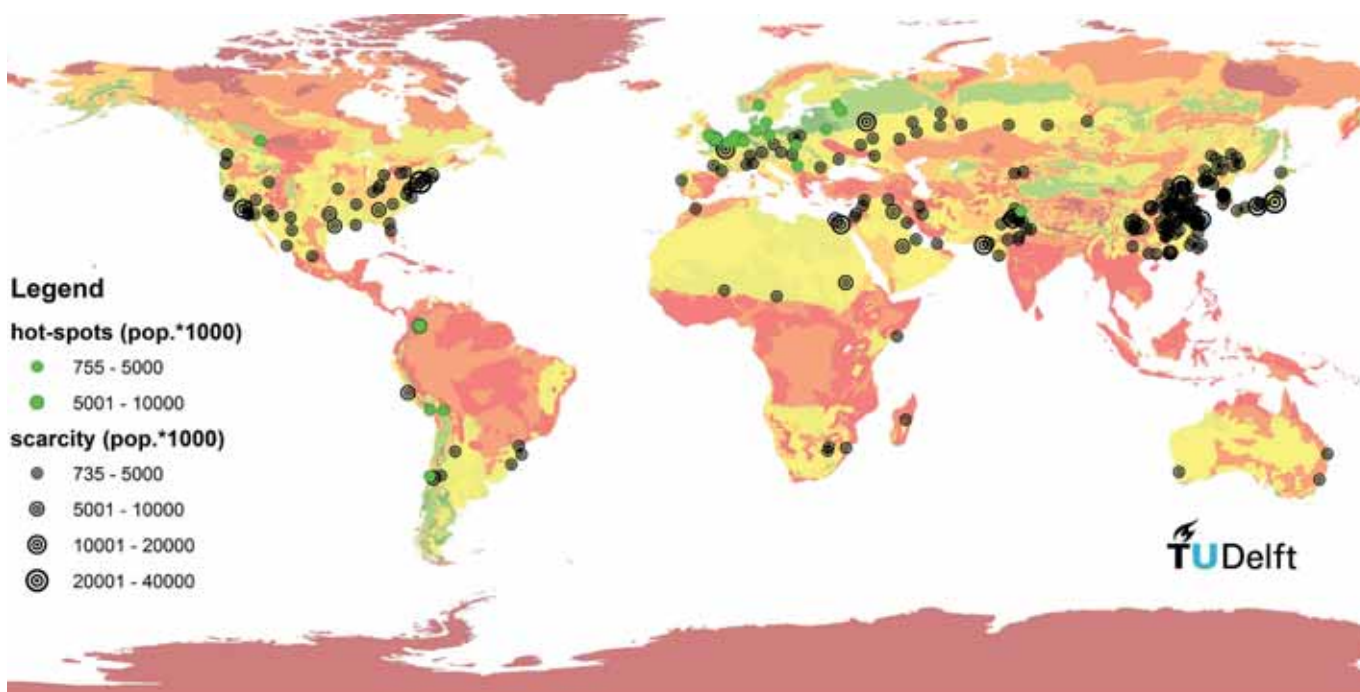
bronlocatie is van veel verschillende factoren afhankelijk, zoals bestaande bronnen, vorm en grootte van betreffende perceel en gebouw, infrastructuur boven en onder de grond. Dit maakt effectieve plaatsing van bodemenergiebronnen ondoorzichtig en lastig. De momenteel toegepaste "master-planning" methode is

Bodemenergie is wereldwijd  
toepasbaar, maar Nederland  
loopt voorop

geëvalueerd door de methode zelf en 24 van zulke plannen te analyseren, op basis waarvan de masterplanmethode is verbeterd. Zo zijn er ontwerpparameters voor bodemenergieplannen vastgesteld en is een indicatie gegeven voor grenswaarden die aangeven wanneer een bodemenergieplan nodig is. Ook is er een beoordelingskader voorgesteld waarmee verschillende orderingsalternatieven objectief kunnen worden afgewogen. De resultaten geven inzicht in hoe bronontwerp en locatie het gebruik van de bodem beïnvloeden en in de wisselwerking tussen individueel rendement en totale energiebesparing. De verbeterde planningsmethode voorziet nu in duidelijke ontwerpregels en objectieve afwegingsmethoden om optimaal gebruik van de bodem te realiseren.

#### RESULTATEN WERELDWIJD TOEPASBAAR

De toepassing van bodemenergie opslag loopt in Nederland voor op de rest van de wereld. Het is daarom niet verwonderlijk dat bovengenoemde problemen als eerste hier optreden. Gezien de wereldwijde verduurzaming van de energievoorziening is het te verwachten dat deze problemen ook in andere landen zullen ontstaan. Naast Nederland is het daarom ook voor overheden en be-



FIGUUR 2. GLOBALE KAART VAN GESCHIKTHEID EN HOT-SPOTS VOOR DE TOEPASSING VAN BODEMENERGIESYSTEMEN. TOELICHTING BIJ FIGUUR 2. GROEN: BODEM EN KLIMAAT ZIJN GESCHIKT, ROOD: BODEM EN/OF KLIMAAT ZIJN ONGESCHIKT. HOT SPOT: STEDEN IN ZEER GESCHIKTE GEBIEDEN, SCARCITY: STEDEN OP KLIMATOLOGISCH GESCHIKTE, MAAR GEOHYDROLOGISCH MATIG GESCHIKTE PLEKKEN.

drijven van deze landen belangrijk om inzicht te hebben in welke principes en daarmee ook de benodigde regels, optimaal gebruik van de ondergrond met bodemenergie waarborgen.

Inzichtelijk is gemaakt waar in de wereld de omstandigheden voor bodemenergie geschikt zijn. De aanwezigheid van watervoerende zandlagen en geschikte klimatologische omstandigheden zijn de twee belangrijkste randvoorwaarden voor effectieve toepassing van bodemenergie. Deze twee randvoorwaarden zijn gecombineerd bij de ontwikkeling van een methode die het mogelijk maakt om voor sterk variërende omstandigheden de potentie

Bodemenergiesystemen kunnen dichter op elkaar worden geplaatst

voor bodemenergie vast te kunnen stellen. Omdat bodemenergiesystemen zowel in koeling als verwarming voorzien en om die reden ook beide nodig hebben (als je verwarmt sla je koelcapaciteit op voor het volgende seizoen) bieden vooral gematigde klimaten met een warme en koude periode in het jaar geschikte omstandigheden. In het onderzoek is daarnaast rekening gehouden met klimaatverandering op basis van de IPCC-klimaatscenario's. Met behulp van geografische gegevens over urbanisatie zijn de toekomstige "hot-spots" voor bodemenergie vastgesteld. Hieruit bleek dat er in veel Noord-Amerikaanse, Europese en Aziatische steden potentie is voor bodemenergie en dat in die steden de vraag de aanwezige ruimte in de bodem kan gaan overschrijden, zie figuur 2.

**DISCUSSIE EN CONCLUSIE**

De toekomst voor bodemenergie ziet er goed uit, energiebesparingsdoelstellingen staan hoger dan ooit op de politieke en maatschappelijke agenda. Bodemenergie kan significant bijdragen aan de energiebesparingsdoelen, vooral in steden in gematigde klima-

ten. Een belangrijk voordeel van bodemenergie is dat je het niet ziet of hoort. Om deze vorm van energiebesparing te kunnen blijven gebruiken, is het van belang om de bodem optimaal (zo effectief mogelijk) te gebruiken voor deze techniek. De concepten die zijn gepresenteerd dienen daarmee als een solide basis waarop het gebruik van de bodem met bodemenergiesystemen kan worden geïntensiveerd.

Omdat het aanpassen van bodemenergiebronnen relatief duur en complex is heeft een eenmaal geïnstalleerde bron een grote invloed op de lange termijn energiebesparing van een gebouw. De concepten voor planning en ontwerp van bodemenergiebronnen die in dit proefschrift zijn geïntroduceerd helpen om betrokken partijen ervan te overtuigen om slimme keuzes te maken met betrekking tot bronontwerp en locatiekeuze. Vergeleken met de huidige praktijk resulteren alle voorgestelde strategieën in relatief beperkte extra installatiekosten, maar daar krijgen we een veel robuuster netwerk van bodemenergiesystemen voor terug. Met een verwachte levensduur van bodemenergiesystemen van meerdere decennia en de onzekerheden over het benodigde gebruik van de bodem over die periode, wegen de baten op de lange termijn altijd op tegen die kleine stijging in aanlegkosten.

De resultaten van dit onderzoek vormen ook een goede basis om het ontwerp en beheer van bodemenergiesystemen verder te verbeteren. Bijvoorbeeld in meer complexe omstandigheden, zoals in gestratificeerde, sterk heterogene/anisotrope en/of zandsteen aquifers, in aquifers onder invloed van getij, in gebieden waar zowel open als gesloten bodemenergie gezamenlijk worden toegepast en bij de toepassing van hoge temperatuur opslag.

**MEER INFORMATIE**

Het proefschrift van Martin Bloemendal: The hidden side of cities, is beschikbaar op <http://repository.tudelft.nl> en succesvol verdedigd op 16 mei 2018 aan de TU-Delft. Promotor: prof. Dr. Ir. T.N. Olsthoorn.