

Inzichten uit literatuuronderzoek naar hoge temperatuur ondergrondse warmteopslag (HTO) binnen WINDOW-project

Effecten van HTO op grondwaterkwaliteit

Hoge temperatuur ondergrondse warmteopslag (HTO) kan potentieel een belangrijke bijdrage leveren aan de verduurzaming van de gebouwde omgeving. Er zijn echter ook zorgen om de effecten op de chemische en microbiologische grondwaterkwaliteit. In een recent literatuuronderzoek is de stand van kennis op dat vlak geïnventariseerd. Op basis hiervan kan aankomend praktijkonderzoek gericht uitgevoerd worden.

Door: Gilian Schout en Niels Hartog

Over de auteur:

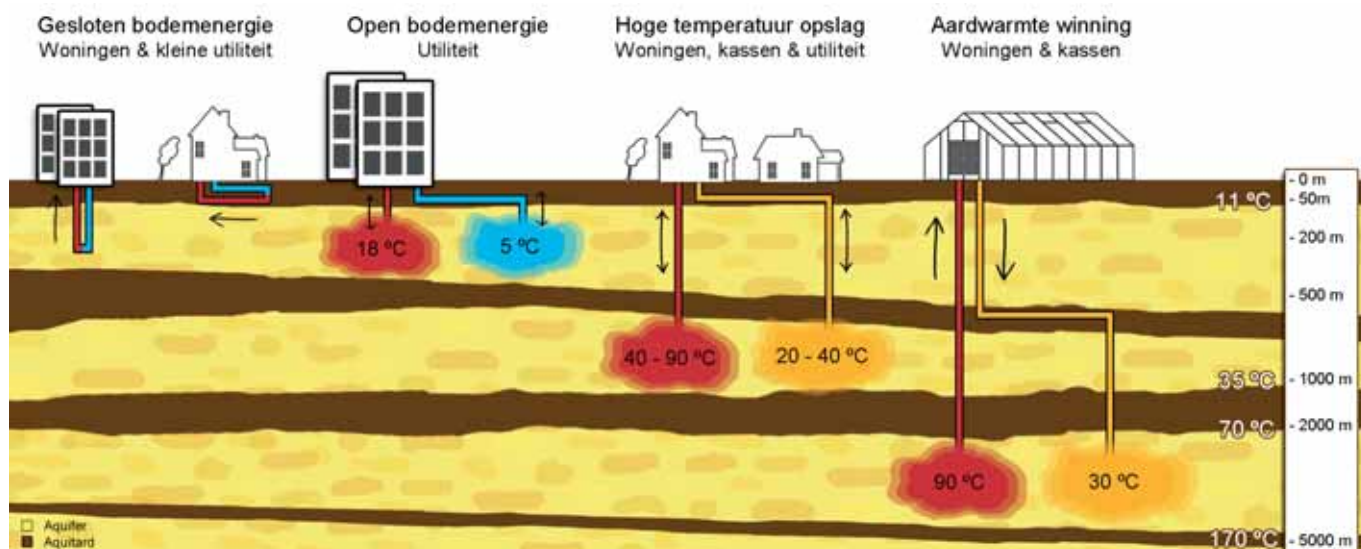
Dr. G. Schout en Dr. N. Hartog zijn onderzoekers bij KWR Water Research Institute.

✉ g.schout@kwrwater.nl

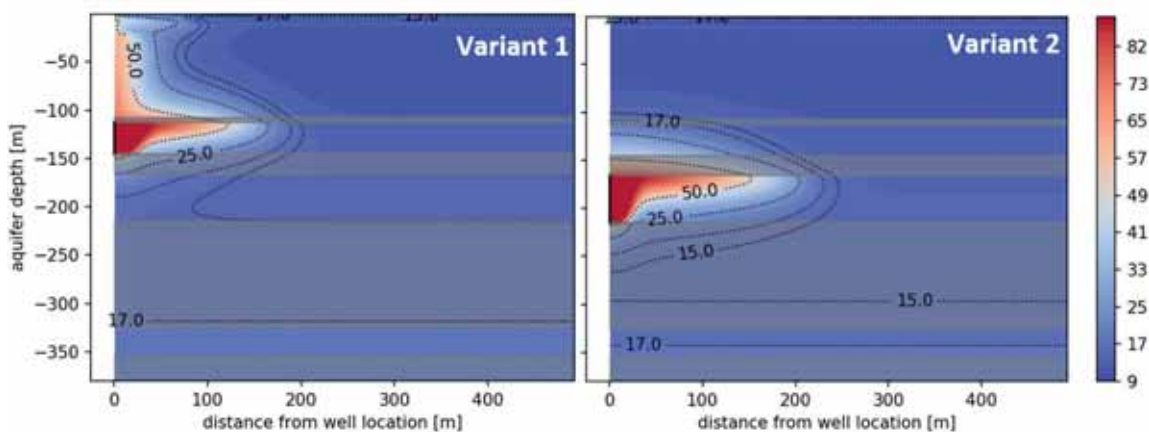
Bij HTO worden warmteoverschotten uit een externe bron (bijv. zon, geothermie of restwarmte) in de ondergrond opgeslagen en teruggewonnen. In Nederland wordt hiervoor vooral gekeken naar zandige bodemlagen op dieptes groter dan 150 m. Het verschil met een regulier open bodemenergiesysteem (WKO, <math><25^{\circ}\text{C}</math>) is dat er hogere opslagtemperaturen (tot boven de 100°C) worden gehanteerd en het systeem niet wordt gebruikt voor koeling in de zomer. De vergelijking met andere type bodemenergiesystemen is schematisch weergegeven in Figuur 1.

Afhankelijk van de bodemopbouw en het ontwerp van het systeem leidt dit tot sterke opwarming van de bodem tot op enkele honderden meters van de gebruikte bronnen (Figuur 2).

Een toename van de temperatuur van grondwater veroorzaakt verschuivingen in geochemische evenwichten, wat zowel sorptieprocessen als mineraaloplossing en neerslag beïnvloedt. Daarnaast versnelt het kinetisch gecontroleerde reacties, zodat in normale omstandigheden zeer recalcitrante mineralen sneller kunnen oplossen. De uiteindelijke netto impact op de grondwatersamenstelling wordt dan ook bepaald door een complexe interactie en balans tussen al deze processen. Deels worden deze processen ook gekatalyseerd door in het grondwater aanwezige micro-organismen, welke op hun beurt weer gevoelig zijn voor de temperatuursveranderingen. Vanzelfsprekend geldt dat de cumulatieve hoeveelheid stoffen die vanuit het sediment (vaste fase)



FIGUUR 1: OVERZICHT VAN TYPEN BODEMENERGIESYSTEMEN MET MEEST VOORKOMENDE TOEPASSINGSGBIEDEN EN NATUURLIJKE EN BRONTEMPERATUREN.³



FIGUUR 2. DOOR MIDDEL VAN MODELSIMULATIES INGESCHATTE RUIMTELIJKE TEMPERATUURVERDELING NA 50 JAAR WARMTEOPSLAG VOOR EEN VAN DE VIJF VERKENNINGSLOCATIES BINNEN HET WINDOW-PROJECT.^{2,4} LINKS VOOR EEN SCENARIO MET OPSLAG TUSSEN -100 EN 150 M -MV, EN RECHTS BIJ OPSLAG TUSSEN -160 EN 210 M -MV.

in het grondwater terecht komt afhankelijk is van de mate waarin deze stoffen zich al in het sediment bevinden.

In dit artikel zijn de belangrijkste processen samengevat die als gevolg van de door HTO-systemen veroorzaakte temperatuuroename tot waterkwaliteitsverandering kunnen leiden, op basis van recent uitgevoerd literatuuronderzoek.¹ Dit onderzoek maakt deel uit van een nationaal kennisproject op het gebied van HTO, genaamd 'WINDOW'.²

EFFECTEN OP DE GRONDWATERCHEMIE

Kalkneerslag. In de in Nederland voor HTO beoogde lagen is kalkverzadiging van het grondwater aannemelijk. Aangezien hoge temperaturen de oplosbaarheid van kalk (carbonaten) verminderen, kunnen deze gaan neerslaan. Enige oververzadiging van het grondwater met kalk leidt echter niet meteen tot neerslag, waardoor dit probleem in de praktijk pas lijkt op te treden tussen 40 - 60°C. Kalkneerslag is vooral een operationeel risico in de hete put, waar het kan leiden tot putverstopping. Bij in het verleden uitgevoerde HTO-projecten in Nederland bleek waterbehandeling dan ook noodzakelijk. Indien hierbij gekozen wordt voor zoutzuurdosering kan dit ook negatieve gevolgen hebben voor de grondwaterkwaliteit.

Oplossing van silicaten. De oplosbaarheid van silicaten wordt hoger bij hogere temperaturen, waardoor veldspaten in oplossing kunnen gaan, met potentieel hogere concentraties van de elementen Si, Ca, Na, en K tot gevolg. In tegenstelling tot carbonaten kan dit in de minder warme put van een HTO-systeem tot verstoppingsrisico's door neerslag van deze silicaten leiden.

Veranderende redox-omstandigheden. Uit onderzoek blijkt dat redoxprocessen sneller verlopen bij hogere temperaturen. Oxidanten als O₂, NO₃, Fe(OH)₃ en SO₄ worden daardoor theoretisch sneller verbruikt. De in Nederland voor HTO beoogde watervoerende lagen zijn van nature vaak al sterk anoxisch, en bevatten dus geen O₂ of NO₃. In dergelijke omstandigheden, en tot temperaturen van zo'n 70°C tot 80°C, is versterkte sulfaatreductie waarschijnlijk (bij nog hogere T kunnen de bacteriën die deze reactie katalyseren niet overleven). In afwezigheid van sulfaat en bij temperaturen tussen grofweg 25 en 40°C lijkt methanogenese gestimuleerd te kunnen worden. Versterkte reductie van ijzeroxiden wordt juist vooral bij temperaturen onder de natuurlijk grondwatertemperatuur verwacht (~11°C), of in aanwezigheid van zeer reactieve, amorfe, ijzermineralen. Pyriet lijkt niet in oplossing te gaan als gevolg van hogere temperaturen. Bij onbedoelde indringing van zuurstof in de bronnen, of door waterbehandeling met zoutzuur kan pyriet echter toch in oplossing gaan, wat

gepaard kan gaan met de mobilisatie van zware metalen als nikkel en zink.

Versnelde afbraak van sedimentair organisch materiaal (SOM). Verhoogde temperaturen leiden tot een snellere afbraak van sedimentair organisch materiaal (SOM) en vanaf ongeveer 40°C ook tot een toename in opgelost organisch koolstof (DOC). Het lijkt hierbij echter vooral om grotere, slecht afbreekbare moleculen te

Het voorspellen van de te verwachten effecten blijft een belangrijke kennisleemte

gaan, ook omdat er in de praktijk vaak maar beperkt makkelijk afbreekbaar organisch materiaal aanwezig is in de diepere watervoerende pakketten. Er is dan ook geen duidelijk verband gevonden tussen deze toename en de microbiologische en redoxactiviteit.

Mobilisatie van sporenelementen (zoals arseen, As). De hogere temperatuur kan ervoor zorgen dat bepaalde stoffen sterker adsorberen, en andere juist minder sterk. Uit onderzoek lijkt vooral arseen (in de vorm van arseniet/arsenaat) als een stof naar voren te komen die relatief sterk mobiliseert bij temperatuurverandering, hetgeen in experimenteel onderzoek vaak leidde tot concentraties boven de grenswaarde in het drinkwaterbesluit (10 µg As /l). De verschuivingen in de concentraties sporenelementen zijn niet alleen het gevolg van sorptieprocessen, maar kunnen bijvoorbeeld ook veroorzaakt worden door reductie van ijzerhydroxiden. Naast mobilisatie worden in sommige experimenten ook verlagingen van bepaalde sporenelementen waargenomen, zoals Ni²⁺ en Co²⁺, doordat tweewaardige ionen bij hogere temperaturen juist sterker adsorberen. De effecten op microchemie lijken voor een belangrijk deel reversibel te zijn, ofwel, bij afname van de temperatuur nemen de concentraties weer af. Het is daarom ook nog niet gezegd dat deze effecten ook gevolg hebben op de grondwatersamenstelling buiten het direct thermisch beïnvloede gedeelte van een HTO-systeem.

EFFECTEN OP DE MICROBIOLOGIE

De micro-organismen die in het in Nederland voor HTO beoogde grondwater voorkomen (bacteriën en archaea) kunnen kinetische gecontroleerde reacties katalyseren, door het verlagen van de

activeringsenergie. Ze kunnen daarmee zowel een positief als negatief effect hebben op de waterkwaliteit, bijvoorbeeld omdat ze

Meer mobiliseren dan er in het sediment zit kan niet, minder wel

verontreinigingen en nutriënten afbreken (positief), maar de microbiologische groei kan ook putverstopping en/of corrosie van de buizen veroorzaken (negatief).

Uit onderzoek blijkt dat bij lage temperaturen (<35°C) geen significant effect op de microbiologische activiteit en groei in zijn geheel verwacht mag worden. Bij hoge temperaturen (>70-80°C) zal er waarschijnlijk ook geen groei en toename in activiteit plaatsvinden, en sterft de microbiologische populatie juist af. In het tussenliggende temperatuurinterval is de groei theoretisch het grootst, maar in de praktijk vaak beperkt doordat er niet voldoende eenvoudig afbreekbaar organisch materiaal (de energiebron voor micro-organismen) aanwezig is. Een verschuiving in de samenstelling van micro-organismen treedt waarschijnlijk wel al bij relatief kleine temperatuurverschillen op en lijkt vooral afhankelijk van het redox-proces wat dominant wordt. Dit is naast de temperatuur weer afhankelijk van onder meer de initiële populatie micro-organismen en de aanwezigheid van SOM en oxidanten in grondwater. De precieze verschuiving is daardoor sterk locatiespecifiek en laat zich moeilijk voorspellen.

Alhoewel er dus wel degelijk sterke effecten op de microbiologische samenstelling en activiteit verwacht mogen worden, is het de vraag hoe groot de impact hiervan is op de chemische samenstelling van het grondwater. Belangrijke processen als kalkneerslag, silicaatoplossing, en ad- en desorptie zijn namelijk niet microbiologisch gekatalyseerd zijn maar verlopen volledig chemisch. Ook is in de praktijk geen groei van pathogenen (ziekteverwekkende) micro-organismen waargenomen. In laboratoriumonderzoek lijken de effecten op de microbiologie niet of slechts deels reversibel, maar in de praktijk zullen de effecten waarschijnlijk wel grotendeels reversibel zijn, omdat het systeem open is voor rekolonisatie na beëindiging.

OVERIGE EFFECTEN

Naast de direct door temperatuur veroorzaakte effecten zijn ook andere effecten mogelijk welke niet door de hoge temperaturen veroorzaakt zijn, zo blijkt uit onderzoek naar bodemenergiesystemen bij temperaturen tot 25 °C en uit recent onderzoek bij systemen met middelhoge temperaturen (<50°C).⁵ Bij deze systemen kunnen ook waterkwaliteitseffecten plaatsvinden, welke bijna altijd veroorzaakt worden door vermenging van verschillende watertypen en niet door de temperatuur. Dit kan bijvoorbeeld sterke verzilting tot gevolg hebben. Dit type effecten kan eveneens bij HTO-systemen optreden en er zal dus rekening mee gehouden moeten worden in de ontwerpfase.

BELANGRIJKSTE KENNISLEEMTES EN ONDERZOEKSBEHOEFEN

De theoretische mogelijke effecten van HTO op de grondwaterkwaliteit zijn inmiddels goed bekend, zo blijkt uit dit onderzoek. Deze kennis komt echter voor een belangrijk deel uit laboratoriumonderzoek en praktijkgegevens van actieve HTO-systemen zijn dus nog altijd zeer beperkt beschikbaar. Het is maar de vraag hoe de theorie zich vertaalt naar de praktijk voor een gegeven HTO-systeem en een gegeven ondergrondssituatie. Om deze kennisleemte verder in te kunnen vullen is het noodzakelijk om ingeschatte waterkwaliteitsveranderingen op basis van lab-experimenten te vergelijken en verbinden met observaties uit een uitgebreide veldmonitoring, bij verschillende HTO-systemen.

NOTEN

1. Schout, G., Hartog, N. (2020) Effecten van hoge temperatuur warmteopslag op grondwaterkwaliteit. WINDOW fase 1 (C3). <https://www.warmingup.info/documenten/window-fase-1---c3---effecten-van-hoge-temperatuur-warmteopslag-op-grondwaterkwaliteit.pdf>
2. <https://www.warmingup.info/thema/5/ondergrondse-warmteopslag>
3. Bloemendal, M. (2018). The hidden side of cities. Delft.
4. Beernink, S., Bloemendal, M. & Hartog, N. Prestaties en thermische effecten van ondergrondse warmteopslagsystemen. WINDOW fase 1 (C2). <https://www.warmingup.info/documenten/window-fase-1---c2---prestaties-en-thermische-effecten.pdf> (2020).
5. Bloemendal, M., Beernink, S., Bel, N. van, Hockin, A., Schout, G., (2020). Transitie open bodemenergiesysteem Koppert-Cress naar verhoogde opslagtemperatuur, Evaluatie van energiebesparingen en grondwatereffecten. KWR, Nieuwegein. <https://www.kwrwater.nl/projecten/transitie-wko-naar-hto-energie-en-milieubeheerstrategieen/>