

Verspreiding van grondwaterverontreinigingen door open bodemenergiesystemen: Effecten van bronplaatsing en mogelijkheden voor mitigatie

ALEX HOCKIN, MARTIN BLOEMENDAL EN NIELS HARTOG

Artikel

Wanneer er grondwaterverontreinigingen in het beïnvloedingsgebied van open bodemenergiesystemen (OBES) aanwezig zijn, zorgen transport- en mengprocessen ervoor dat de verontreiniging wordt verspreid. De plaatsing van OBES-bronnen in verontreinigde gebieden is daarom een risico op verminderde grondwaterkwaliteit in een groter gebied. Tegelijk beïnvloedt de wijze van plaatsing de energetische prestaties van de OBES. In dit onderzoek is daarom aan de hand van een casestudie de verspreiding van verontreiniging door OBES gekwantificeerd voor 2 toekomstscenario's; een 'Business as Usual' (BaU) scenario waarbij de bronlocaties de standaard plaatsingsregels volgen; en een thermisch geoptimaliseerd scenario met hoge dichtheid (HD) van OBES, met kleinere bron afstanden. Verder is onderzocht of er beheersmaatregelen kunnen worden geïdentificeerd om de verspreiding te beperken. Uit de resultaten blijkt dat verspreiding van verontreiniging (met worst-case condities) nauwelijks te voorkomen is in een gebied waar een grote vraag is naar OBES. De verspreiding is het sterkst in de HD-scenario's, maar in verhouding tot het verschil in totaal gepompte volume door de OBES verschilt de verspreiding echter niet wezenlijk van het BaU-scenario. Vroegtijdig beoordelen van de lokale verontreinigingssituatie en de juiste keuze van bronnen om beheersmaatregelen op toe te passen zijn de belangrijkste factoren die van invloed zijn om de verspreiding van de verontreiniging in OBES-gebieden te beperken.

Inleiding

De toename van de vraag naar duurzame energie resulteert in een sterke groei van het aantal bodemenergiesystemen, vooral in steden. Met de beoogde grootschalige toepassing van aquathermie zal voor de opslag van thermische energie nog een veel groter beroep op de bodem worden gedaan. Verstedelijking en industrialisatie hebben echter geleid tot een groot aantal verontreinigde locaties in de stedelijke ondergrond. Veel bodemenergiesystemen worden dus bij, of in, verontreinigde grondwater geplaatst (Dinkla, e.a., 2012; Verburg e.a., 2010). Vanwege de ruimtelijk geconcentreerde vraag naar bodemenergiesystemen in stedelijke gebieden worden bodemenergiebronnen vaak dichtbij elkaar aangelegd (Bloemendal e.a., 2014). Een zorg is welke effecten deze systemen hebben op de verspreiding van verontreiniging en welke factoren de risico's bepalen voor omliggende gebieden. Dit is met name het geval bij de

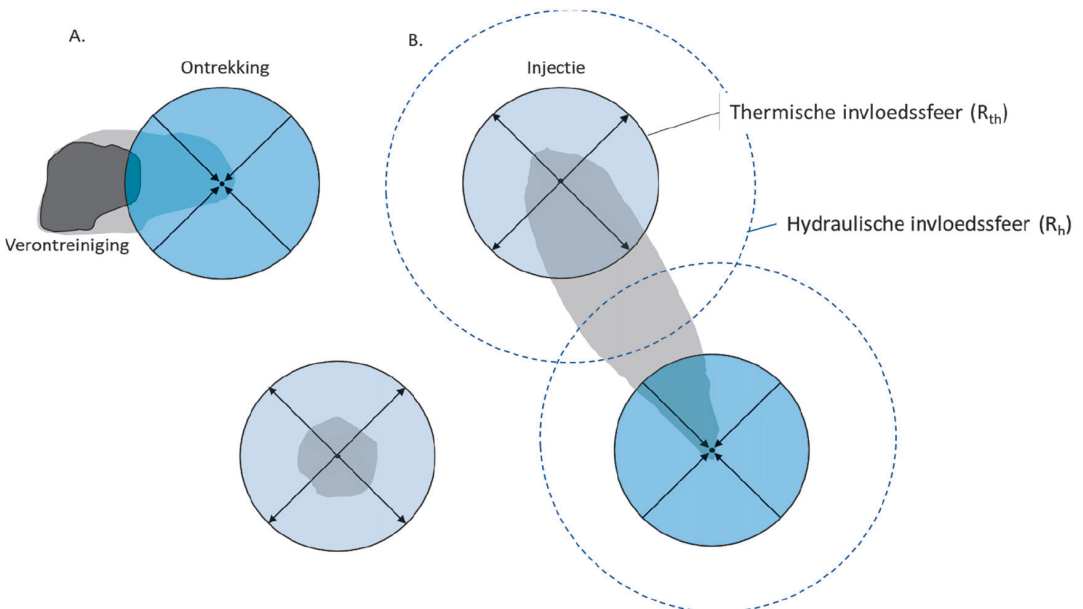
toepassing van open bodemenergiesystemen (OBES), omdat bij deze systemen grondwater wordt onttrokken en simultaan wordt geïnfiltrerd, wat menging, verdunning en verspreiding van verontreinigingen tot gevolg heeft.

Dit onderzoek heeft als doel om het effect van de opschaling van OBES op grondwaterverontreinigingen te kwantificeren. Daartoe geven we een overzicht van processen die de verspreiding van verontreinigingen veroorzaken als gevolg van de interactie van verontreinigd grondwater met OBES. Daarnaast maken we aan de hand van een casestudie inzichtelijk in welke mate deze verspreidingsmechanismen zich onder praktijk condities manifesteren.

Grondwaterverontreiniging verspreidingsmechanismen door OBES

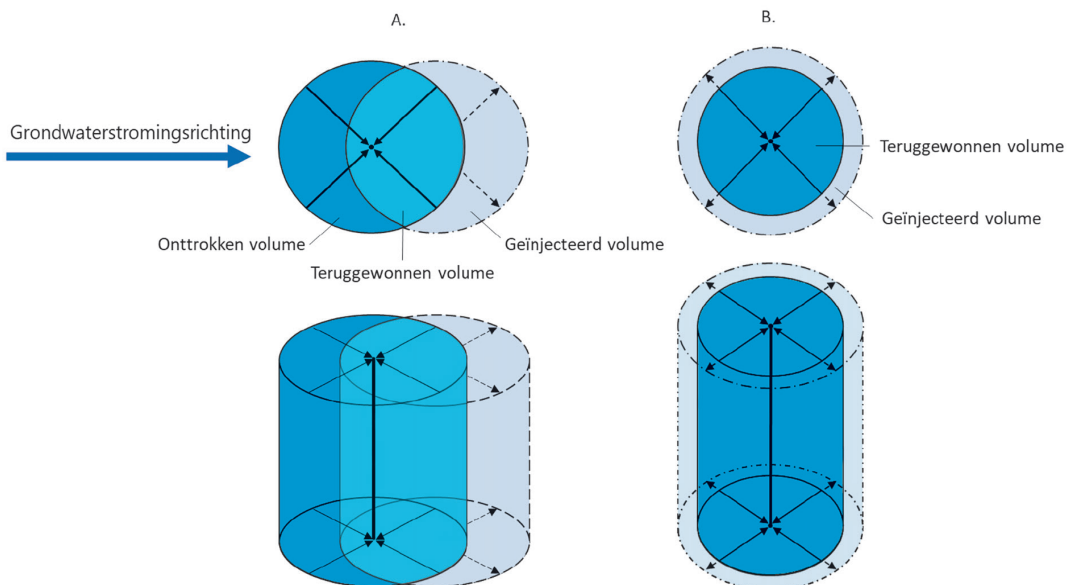
Wanneer OBES-bronnen in een verontreinigd watervoerend pakket aanwezig zijn, kan het de verontreiniging via verschillende hydraulische processen verspreiden en verdunnen. Hydraulische effecten van OBES op verontreiniging zijn:

1. Het mengen van verontreinigingsconcentratie over de diepte van de watervoerend pakket,
2. Het verdunnen en verspreiden van de verontreiniging in door transport van warme naar koude bronnen en visa-versa binnen een OBES (Afbeelding 1),



Afbeelding 1 Verontreiniging kan worden verspreid door A. het overspringen tussen bronnen van hetzelfde OBES-systeem en het overspringen tussen meerdere bronnen van hetzelfde OBES-systeem. B. Aangezien de thermische straal (R_{th}) kleiner is dan de hydraulische straal (R_h), kunnen OBES-bronnen naast elkaar staan zonder negatieve gevolgen voor de thermische efficiëntie van het systeem, maar kunnen ze leiden tot het springen van de verontreiniging van de ene OBES naar de andere. De hydraulische straal wordt hier gedefinieerd als de afstand die een geïnfiltrerde druppel water maximaal reikt vanaf de bron.

3. Het toenemen van dispersie van verontreiniging door verhoogde stroming,
4. Het lokaal veranderen van grondwaterstroming richting en/of grootte ten opzichte van de natuurlijke situatie,
5. Het netto-verplaatsen van verontreinigingen bij onbalans,
6. Het overspringen van verontreinigingen tussen verschillende OBES bij overlap van de hydraulische invloedssferen (kortsluitstroming, Dinkla, e.a., 2012). Deze effecten kunnen ertoe leiden dat een verontreiniging zich buiten het oorspronkelijk (beheers)gebied verspreid (Afbeelding 1). Dit gebeurt nog sterker wanneer OBES in onbalans zijn (Afbeelding 2)



Afbeelding 2 Onvolledige terugwinning van het geïnjecteerde volume: A. Als gevolg van de natuurlijke grondwaterstroming, B. Als gevolg van onbalans aan evenwicht in de warme en koude vraag van het OBES-systeem.

Met name het laatste verspreidingsmechanisme zorgt er in gebieden met veel OBES dat verspreiding snel kan gaan. Gewoonlijk worden OBES-bronnen zo geïnstalleerd dat elk systeem buiten de thermische invloedssfeer van een ander systeem wordt geplaatst. De hydraulische invloedssfeer is echter 1,5 tot 2 keer groter dan de thermische invloedssfeer (Phernambucq, 2015), en verontreinigingen verplaatsen zich juist binnen de hydraulische invloedssfeer (Ketelaars, 2021). De verplaatsing van de verontreiniging is 1-op-1 met het grondwater als er geen retardatie of adsorptie is. Als dat er wel is, is de verplaatsing kleiner, maar meestal wel toch nog groter dan de thermische verplaatsing, mede afhankelijk van de retardatiecoëfficiënt van de verontreiniging. De aanwezigheid of afwezigheid van een puur product (zaklaag of drijfslag) is een factor die mogelijk bijdraagt aan de verspreiding van een verontreiniging in de aanwezigheid van een OBES. Wanneer een verontreiniging in de opgeloste

fase aanwezig is, kan het mengen van verontreinigd grondwater met schoon grondwater de concentratie van de verontreiniging over een groter gebied verdunnen. In de aanwezigheid van een puur product kan het mengen toename van nalevering vanuit het puur product veroorzaken, wat leidt tot een toenemend pluimvolume en -massa (Zuurbier e.a., 2013).

Als systemen dicht bij elkaar worden geplaatst, omdat er geen nadelige gevolgen zijn voor de thermische efficiëntie van het systeem, kunnen verontreinigingen dus wel van het ene systeem naar het andere worden verspreid. Hierdoor kunnen verontreinigingen dus relatief snel over een groot gebied worden verspreid (Ketelaars, 2021, Phernambucq, 2015).

Menging kan ook resulteren in verandering van specifieke redoxniches en de pH van het grondwater, wat een positief of negatief effect kan hebben op de afbraak van de verontreiniging. Dit kan tevens leiden tot vermenging van koolstofbronnen, elektronenacceptoren en/of bacteriën, wat eveneens een positief of negatief effect kan hebben op de snelheid van de afbraak van de verontreiniging grondwater afhankelijk van lokale condities (Dinkla e.a., 2012). Temperatureffecten op minerale evenwichten en reactiekinetiek zijn in het algemeen beperkt in thermisch gebalanceerde systemen bij temperaturen beneden 25 °C, mede omdat de temperatuurverhoging in de warme zone wordt gecompenseerd door temperatuurverlaging in de koude zone (Hartog e.a., 2013).

Scenarios

Verontreiniging

De verontreiniging is gesimuleerd als een conservatieve tracer. Verspreiding treedt dus op zonder beperking door adsorptie of degradatie (worst-case verspreiding). De simulaties zijn uitgevoerd voor twee type verontreinigings-situaties, een initiële pluim met een genormaliseerde concentratie van 100 (dimensieloos) en een straal van 25 m; en een puur productbron met een genormaliseerde concentratie van 100 (-) en een straal van 12,5 m. Deze oppervlaktes van de verontreiniging zijn gebaseerd op de omvang van de verontreiniging die in Eindhoven aanwezig was, volgens Vreugdenhil e.a.(2020). Een enkele verontreinigingspluim of puur productbron is gemodelleerd om het verloop van de verspreiding in het model in de tijd te kunnen volgen.

OBES-bronnen

Omdat dit onderzoek tot doel heeft het effect van de opschaling van OBES te kwantificeren, is de situatie in een stedelijk gebied van Eindhoven met grote vraag naar OBES in verontreinigde watervoerende pakketten als case gebruikt. Er zijn drie scenario's van aantallen OBES-bronnen gemodelleerd:

1. Bestaand: de huidige situatie van de bestaande/vergunde OBES die momenteel aanwezig zijn.
2. BaU: in het BaU-groeiscenario is de verdeling van de bronnen niet geoptimaliseerd en volgt het de reguliere verdeling van OBES-bronnen waarbij de afstand tussen de bronnen 3x de thermische straal is.

3. HD: in het Hoge Dichtheid-toekomstscenario zijn de bronlocaties voor een gedeelte van het gebied (waar de vraag het grootst is) geoptimaliseerd voor thermisch rendement: bronnen van dezelfde temperatuur zijn geclusterd om meer systemen te kunnen accommoderen, waarbij de afstand tussen bronnen van dezelfde temperatuur is verkleind en de gemiddelde afstand tussen bronnen van verschillende temperaturen is vergroot.

Voor de beide toekomstscenario's (2 en 3) zijn, naast de standaard geprojecteerde/verwachte volumes, ook drie beheersmaatregelen onderzocht:

- A. Ongebalanceerd: Hoewel de vergunning voor een OBES meestal voorschrijft dat het systeem over een periode van vijf jaar in energiebalans moet zijn, hebben wij onderzocht of de onbalans van een OBES als beheersmaatregel kan worden gebruikt om verspreiding te beperken. Hiervoor is de OBES gekozen waarvan de bronnen de verontreiniging het verst verspreiden in het eerste simulatiejaar.
- B. Netto-onttrekking: In plaats van 100% her-injectie van verpompte debieten van de OBES, kan er ook een onttrekking van een deelstroom worden toegepast om verspreiding tegen te gaan. De zes putten die zich het dichtst bij de verontreiniging bevinden, zijn hiervoor geselecteerd. Van deze OBES is telkens 90% van het opgepompte volume weer geïnjecteerd, onder de aanname dat de onttrokken deelstroom bovengronds wordt gezuiverd/verwerkt en afgevoerd/geloosd.
- C. Zuivering & herinjectie: Een bovengrondse zuivering bij een OBES kan in gebieden waar de verontreinigingsconcentratie het hoogste is ook zorgen voor vermindering van de verspreiding. Een verwijderingspercentage van 50% is toegepast voor de 6 OBES bronnen die het dichtst bij de verontreiniging liggen. Deze verwijdering is relatief hoog en is bedoeld om een "best-case" scenario te simuleren. Dezelfde bronnen die voor de netto-onttrekking werden gebruikt, werden gebruikt voor de zuivering systeem.

Een overzicht van alle scenario's is weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1 *Overzicht van putverdelingen totaal bronnen voor de verschillende scenario's. Het aantal bronnen in de scenario's HD en BaU omvat de Bestaande putten.*

Scenario	Putplaatsings-condities	Total bronnen
Referentie	Bestaand	48
	BaU	154
	HD	190
Ongebalanceerd	BaU	154, Ongebalanceerd = 9
	HD	190, Ongebalanceerd = 17
Netto onttrekking	BaU	154, 6 Netto onttrekking putten
	HD	190, 6 Netto onttrekking putten
Zuivering	BaU	154, 6 paren Zuivering/herinjectie putten
	HD	190, 6 paren Zuivering/herinjectie putten

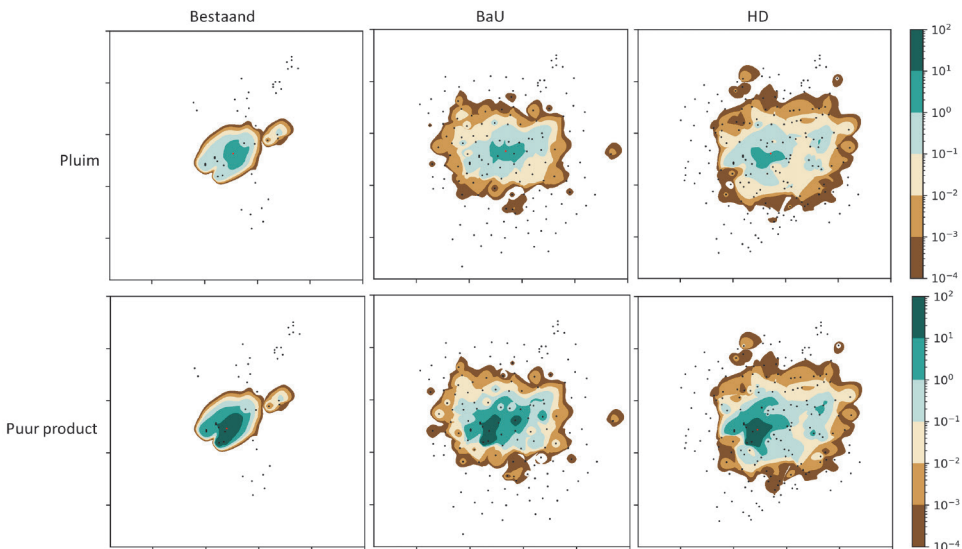
Beoordelingskader

De omvang van de verontreinigingspluim is een belangrijk criterium voor de verspreiding van verontreiniging. Daarnaast is de totale massa in het verontreinigde gebied van belang. Dit is alleen voor de situatie dat er nalevering uit puur product verontreinigingsbronnen kan optreden relevant. Aan de hand van deze twee criteria worden de resultaten geanalyseerd.

Resultaten & Discussie

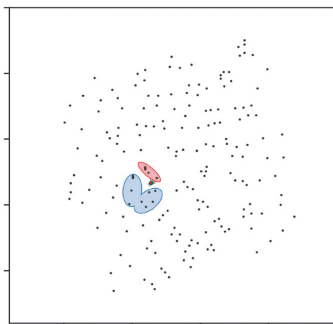
Wanneer we de drie putplaatsingscondities zonder interventie vergelijken (referentiescenario), had het scenario voor de bestaande situatie de grootste verhouding tussen de mate van verspreiding en het gepompte volume. Dit komt doordat in dit scenario de OBES-bronnen verder uit elkaar staan dan in de BaU- en HD-scenario's. Wanneer er sprake is van kortsluitstroming tussen systemen kan een verontreiniging van het ene systeem naar het andere systeem springen. Kortsluitstroming treedt op wanneer de afstand tussen twee bronnen kleiner is dan de hydraulische invloedstraal: water dat geïnjecteerd is, wordt later onttrokken door de andere bron (Afbeelding 1). Doordat de systemen verder uit elkaar staan, is de afstand waarover de verontreiniging zich verspreidt in het referentiescenario veel groter in vergelijking met de BaU- en HD-scenario's.

De relatieve verspreiding neemt dus toe wanneer systemen op grote afstand van elkaar staan, maar bronnen wel binnen elkaars hydraulische invloedsgedebied liggen. De absolute verspreiding is natuurlijk wel veel groter bij meer bronnen (Afbeelding 3). Wanneer de mate van verspreiding wordt vergeleken met het totale gepompte volume voor de afzonderlijke scenario's, is er weinig verschil is (+/- 1%) tussen de BaU- en HD-scenario's.



Afbeelding 3 Verontreinigingssituatie na 10 jaar simulatie bij de drie verschillende putplaatsingscondities bij pluim en puur product als start verontreiniging. Elke kaart toont een gebied van 3 km x 3 km.

Wanneer de aanwezige verontreiniging de vorm heeft van een puur product, verandert de mate van verspreiding niet veel ten opzichte van het pluimscenario, de concentraties verschillen wel. Omdat de pluim en puur product in de simulaties een gelijk concentratie hebben, zal dat verschil in concentratie in de praktijk waarschijnlijk groter zijn. De totale massa van de pluim wordt echter bepaald door oplossing vanuit het puur product, zodat de grondwaterstroming in het centrum van de pluim van belang is. Met de toegepaste putplaatsingscondities blijft het centrum van de pluim geconcentreerder in het HD-scenario als gevolg van de clustering van de putten rond de verontreinigingsbron, zodat de oplossing uit de bron van het puur product minder is (Afbeelding 4).



Afbeelding 4 In de HD-scenario is er in het gebied rond het locatie van de verontreiniging (rood punt) een cluster warme putten noord-oost (rood cirkel) en een cluster koude putten zuid-west (blauw cirkel). Als gevolg hiervan blijft het centrum geconcentreerder in het HD-scenario's door de jojoën van de trek van de bronnen in elk arm en koud seizoen, wat resulteert in minder oplossing van de puur productbron.

Analyse van mogelijke beheersmaatregelen

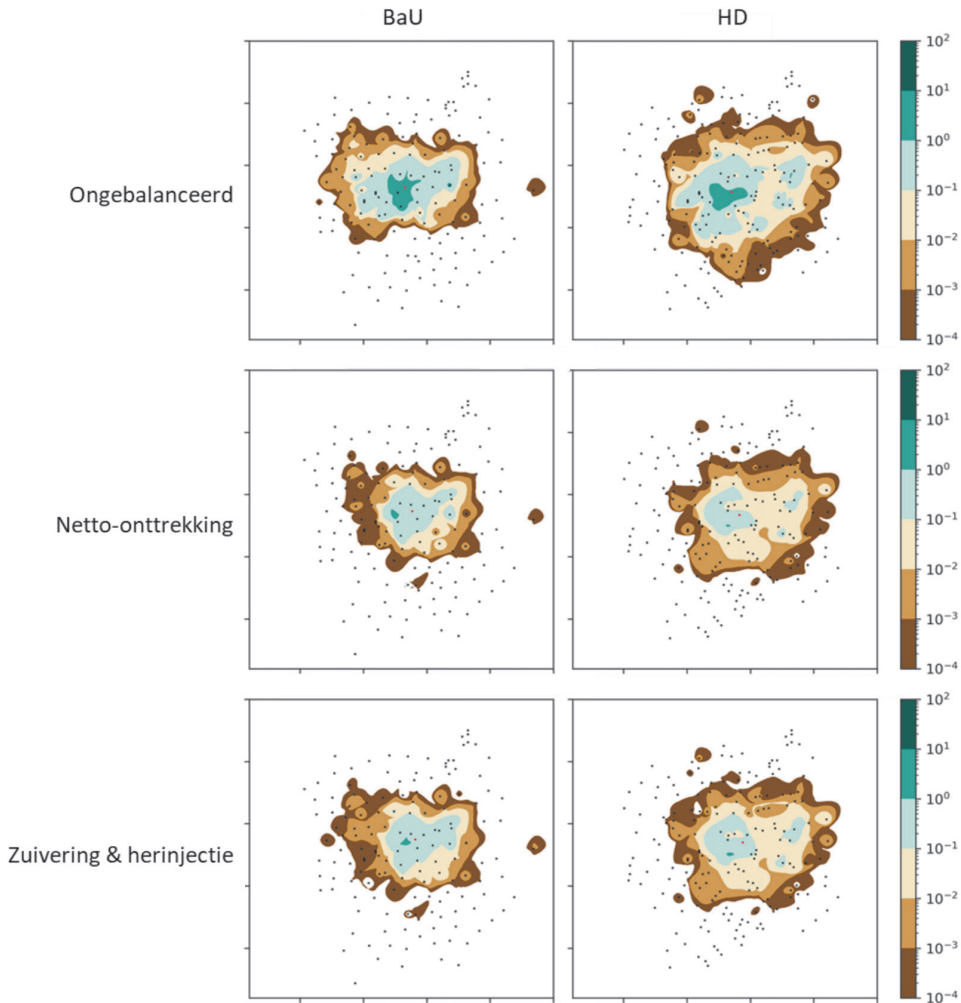
Tabel 2 geeft een overzicht van de verschillende putplaatsingscondities, verontreinigings- en interventiescenario's en hun doeltreffendheid bij het verminderen van de pluimoppervlakte en de totale (opgeloste) pluimmassa in vergelijking met het Referentiescenario (zonder interventie). Afbeelding 5 toont het totale pluimoppervlak voor de twee putplaatsingscondities en drie interventiescenario's na simulaties van 10 jaar.

Tabel 2 Overzicht van de scenario's die hebben geleid tot een afname (-) of toename (+) in de omvang of massa van de pluim in vergelijking met het respectieve Referentie voor het putten verdeling- en verontreinigingscenario.

Pluimoppervlak	BaU		HD	
	Pluim	Puur product	Pluim	Puur product
Ongebalanceerd	-11%	-12%	7%	1%
Netto onttrekking	-28%	-25%	-22%	-20%
Behandeling/herinjectie	-18%	-14%	-17%	-13%
Pluimmassa	Pluim	Puur product	Pluim	Puur product
Ongebalanceerd	0%	4%	0%	-38%
Netto onttrekking	-68%	-53%	-77%	-54%
Behandeling/herinjectie	-61%	-49%	-70%	-50%

Uit de analyses bleek dat de onbalans van het OBES nabij de verontreiniging vrijwel geen effect had op de mate van verspreiding. De OBES-bronnen staan te dicht bij elkaar waardoor de verontreiniging ondanks de onbalans toch naar andere OBES overspringen. De uitzondering is het geval van onbalans in het HD-scenario, waar de pluimmassa aanzienlijk afnam als gevolg van onbalans rond de puur product bron.

De toepassing van een netto onttrekking op een OBES leidt, zoals te verwachten, tot reductie van de totale verontreinigingsmassa in het HD-scenario met de pluim als start verontreiniging. Toevoeging van zuivering met een relatief hoge



Afbeelding 5 Het effect van verschillende interventie scenario's voor de verspreiding van een pluim verontreiniging voor twee scenario's (BaU en HD). De kleur van de contouren geeft het verdunningsbereik aan, van geen verdunning (100% van de oorspronkelijke concentratie) tot 10-4%. Elke zwarte stip is een OBES-bron en de rode stip geeft het massamiddelpunt van de pluim aan. De x- en y-as geven de relatieve x- en y- coördinaten aan, elke kaart toont een gebied van 3 km x 3 km.

zuiveringsefficiëntie van 50% aan het OBES was iets minder effectief dan Netto Onttrekking om de omvang en de massa van de pluim te verminderen, maar verminderde toch nog tussen 14-18% van het pluimgebied en 49-61% van de totale massa (Tabel 2). De betere prestaties van het scenario Netto Onttrekking zijn waarschijnlijk te danken aan een verhoging van het onttrekkingsdebiet. Dit werd gedaan om ervoor te zorgen dat het systeem nog steeds aan de thermische eisen voldeed.

Discussie

De simulatiestudie heeft laten zien dat de bronlocaties en de verontreinigings-situatie van invloed zijn op de mate verspreiding van verontreinigingen in de aanwezigheid van OBES. De resultaten van de casestudie zijn specifiek voor de bronlocaties in relatie tot de verontreinigingssituatie. Ook de toepassing van interventie maatregelen is daarom afhankelijk van lokale omstandigheden. Desondanks tonen de resultaten wel duidelijk aan dat het vrijwel onmogelijk is om verspreiding (onder worst-case condities) van een aanwezige grondwaterverontreiniging te voorkomen in een gebied waar grote vraag is naar OBES. Toekomstig onderzoek zou de locatie en omvang van de verontreiniging kunnen randomiseren om de invloed van de locatie en verspreiding van verontreinigingen in meer algemene zin te onderzoeken. Verder kunnen meer gedetailleerde omstandigheden worden meegenomen, bijvoorbeeld door verontreinigingen met verschillende retardatiescoëfficiënten te simuleren, biologische afbraak toe te voegen en heterogeniteit in de ondergrond te introduceren.

De omvang van de verontreinigingspluim is in het algemeen 30-57% groter in de HD-scenario's, terwijl er 23% meer bronnen waren. In de praktijk kan dus een afweging worden gemaakt tussen de verspreiding van verontreinigende stoffen en optimale/maximale benutting van de ondergrond ten behoeve van de toepassing van bodemenergie. Naast het totale aantal bronnen hadden ook de configuratie en het pompen van de bronnen een effect in het HD-scenario. In het HD-scenario waren de warme en koude bronnen geclusterd aan weerszijden van een verontreiniging met aanwezigheid van puur product, wat resulteerde in heen en weer pompen over de verontreiniging, waardoor de verontreiniging 38% minder goed oploste.

Het onttrekken van een deelstroom van 10% van de door de OBES verpompte volume bij de bronnen die zich het dichtst bij de verontreiniging bevinden, blijkt het meest effectief om de verspreiding van de verontreinigingspluim te beperken en verontreiniging te verwijderen. De efficiëntie van het zuiveringsproces is uiteraard van invloed op de effectiviteit van de beheersmaatregel. Van de totale verwijderde massa in de 10-jarige simulatie voor zowel het netto onttrekkingsscenario als het behandelingsscenario werd 90% verwijderd in de eerste drie jaar. In de praktijk zal het verwijderingspercentage lager zijn als gevolg van retardatie, heterogeniteit in de ondergrond en/of nalevering vanuit kleilagen. Bovendien waren slechts enkele putten verantwoordelijk voor het grootste deel van de verwijdering, wat betekent dat de netto onttrekking- en zuiveringsbeheersmaatregelen kunnen worden geoptimaliseerd in tijd en ruimte. Zo kan bijvoorbeeld een trapsgewijze zuivering worden toegepast, waarbij in eerste

instantie de volumes met hoge concentraties in de eerste jaren worden behandeld, gevolgd door een zuivering die doeltreffender is voor de verwijdering van laaggeconcentreerde stromen. Gelijk bij de in gebruik name van een OBES inrichten van deze maatregelen en de juiste keuze van bronnen voor dit soort beheersmaatregelen zijn de belangrijkste factoren die van invloed zijn op de (beperking van) verspreiding van de verontreiniging in OBES-gebieden.

Conclusies

Uit de resultaten blijkt dat verspreiding van verontreiniging (worst-case condities) nauwelijks te voorkomen is in een gebied waar een grote vraag is naar OBES. De verspreiding is het sterkst in de HD-scenario's, maar in verhouding met het verschil in totaal gepompte volume door de OBES verschilt de verspreiding echter niet wezenlijk van het BaU-scenario. Slim gebruik maken van de onbalans van OBES heeft dus weinig zin als de bronnen zo dicht bij elkaar staan dat de verontreiniging toch kan overspringen naar andere OBES. Het toepassen van een netto onttrekking of bovengronds zuiveren van het door de OBES verpompte water kan de verspreiding beperken. Hierbij is het van belang om gelijk bij de in gebruik name van de OBES deze maatregel toe te passen en de juiste bronnen te kiezen. In gevallen van bodemverontreiniging in dezelfde aquifer als waar ook grote vraag is naar OBES, is het verstandig om bij de ordening van OBES ook de verspreiding en eventuele behandeling van de aanwezige verontreinigingen te beschouwen. Met de inzichten uit dit onderzoek kan dan de plaatsing en eventuele interceptie door netto onttrekking optimaal bijdragen aan het beperken van de verspreiding.

Literatuur

- Bloemendal, M., Olsthoorn, T., & Boons, F.** (2014). How to achieve optimal and sustainable use of the subsurface for Aquifer Thermal Energy Storage. *Energy Policy*, 66, 104–114. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.11.034>
- Dinkla, I., Lieten, S., Hartog, N., & Drijver, B.** (2012). Meer met Bodemenergie -Rapport 3/4. Effecten op de ondergrond. Effecten van bodemenergiesystemen op de geochemie en biologie in praktijk. Resultaat metingen op pilotlocaties en labtesten.
- Hartog, N., Drijver, B., Dinkla, I., & Bonte, M.** (2013). Field assessment of the impacts of Aquifer Thermal Energy Storage (ATES) systems on chemical and microbial groundwater composition. European Geothermal Congress 2013, 8.
- Ketelaars, M. M. A.** (2021). Transport of groundwater contaminant through high density ATES regions. Utrecht University.
- Phernambucq, I. H.** (2015). Contaminant spreading in areas with a high density of Seasonal Aquifer Thermal Energy Storage (SATES) systems. MSc Thesis. Utrecht: Utrecht University.
- Verburg, R., Slenders, H., Hoekstra, N., Nieuwkerk, E. van, Guijt, R., Mark, B. van der, & Mimpfen, J.** (2010). Handleiding boeg Bodemenergie en grondwaterverontreiniging: Het ijs gebroken.
- Vreugdenhil, R., & Kemmeren, A.** (2020) Gebiedsplan Gebiedsgericht Grondwaterbeheer Eindhoven- Centrum. Gemeente Eindhoven.

Zuurbier, K. G., Hartog, N., Valstar, J., Post, V. E. A., & Van Breukelen, B. M. (2013). The impact of low-temperature seasonal aquifer thermal energy storage (SATES) systems on chlorinated solvent contaminated groundwater: Modeling of spreading and degradation. *Journal of Contaminant Hydrology*, 147, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2013.01.002>

Summary Spreading of groundwater contaminants by open aquifer thermal energy storage systems: Effects of well placement and mitigation opportunities

When groundwater contamination is present in aquifers used for aquifer thermal energy storage systems (ATES), transport and mixing processes may enlarge existing groundwater contaminant plumes. Therefore, the risk of placing ATES in a contaminated areas is that the groundwater quality will be reduced over a larger area. At the same time, the method of placement of ATES wells impacts the thermal performance of the system. A case study of downtown Eindhoven was modeled to quantify the spreading of contamination considering two future ATES scenarios; a 'Business as Usual' (BaU) well-layout where the well locations followed standard placement practices; and a thermally optimized 'High Density' (HD) well-layout with smaller distances between wells. In addition, the identification of management measures to limit contaminant spreading was investigated. The modelled case study showed that it is practically impossible to prevent the spreading of contamination in areas where there is a high demand for ATES. Although spreading was largest in the HD scenarios, where well distances were smaller, when the spreading was compared to the total pumped volume, however, spreading did not differ substantially from the BaU, which had fewer ATES systems with traditional well distances. Early assessment of the location of contamination in relation to ATES wells and the appropriate selection of wells for the chosen mitigation options were the most important factors in attempts to limit contaminant spreading in ATES areas.

Auteurs

ALEX HOCKIN
KWR Water Research Institute
alex.hockin@kwrwater.nl

MARTIN BLOEMENDAL
KWR Water Research Institute, TU Delft
martin.bloemendal@kwrwater.nl

NIELS HARTOG
KWR Water Research Institute, Universiteit Utrecht
niels.hartog@kwrwater.nl

