

Binnenstad Eindhoven: gesimuleerde verspreiding van een fictieve verontreiniging door bestaande en geplande open bodemenergiesystemen en achtergrondstroming

AUTEURS



Alex Hockin
(KWR Water Research Institute)



Martin Bloemendal
(KWR, TU Delft)



Niels Hartog
(KWR, Universiteit Utrecht)

EFFECT VAN BRONLOCATIE OP VERSPREIDING VAN GRONDWATERVERONTREINIGINGEN DOOR OPEN BODEMENERGIE-SYSTEMEN

Door de groeiende vraag naar duurzame energie neemt het aantal open bodemenergiesystemen (OBES) toe. Vooral in steden zijn er echter veel verontreinigingen, o.a. door industrialisering uit het verleden. Als daar OBES-installaties worden geplaatst, kan de verontreiniging zich verspreiden en verdunnen, doordat deze systemen gelijktijdig grondwater onttrekken en infiltreren. Dit is vooral het geval als de ondiepe aquifer wordt gebruikt voor toepassing van OBES. Omdat verspreiding en verdunning van verontreiniging niet gewenst is, is het van belang om de verspreidingsmechanismen te begrijpen en eventuele beheersmaatregelen te kennen.

Doel van dit onderzoek is om aan de hand van een casestudie het effect van de opschaling van OBES op de verspreiding van verontreinigingen in het grondwater te kwantificeren. Daarnaast geven we inzicht in de mogelijkheden om in de praktijk met goed beheer verspreiding te beperken. Het onderzoek is onderdeel van het WarmingUP onderzoeksprogramma over de opschaling van OBES, wat nodig is voor de grootschalige toepassing van aquathermie.

Verspreiding van grondwaterverontreiniging door OBES
OBES beïnvloeden op verschillende manieren de verspreiding van verontreinigingen in een aquifer (Bloemendal et al., 2022):

1. menging en homogenisering van de concentratie verontreinigende stoffen over de gehele diepte van de aquifer;
2. vermenging van verontreinigd water met het omringende grondwater door transport van warme naar koude bronnen en omgekeerd;
3. dispersie aan de randen van het geïnjecteerde volume in het omringende grondwater;
4. veranderingen van grondwaterstroming (richting en/of omvang);
5. onvolledig terugwinnen van het geïnjecteerde volume door achtergrondstroming of onbalans van het OBES;
6. als de hydraulische straal van verschillende OBES-installaties overtappen, treedt kortsluitstroming op tussen verschillende OBES. Dit effect is sterker wanneer OBES niet in balans zijn.

In gebieden met veel OBES zorgt vooral kortsluitstroming voor snelle verspreiding. Gewoonlijk worden OBES-bronnen zo geïnstalleerd dat elk systeem zich buiten de thermische straal van een ander systeem bevindt. De hydraulische straal, hier gedefinieerd als het gebied waarin het per seizoen verpompte water zich bevindt, is echter 1,5 tot 2 maal zo groot als de thermische straal, en verontreinigingen verplaatsen zich juist binnen de hydraulische straal.

Als de verontreiniging in opgeloste fase in het grondwater zit, verspreidt en verdunt de verontreiniging over een groter gebied door vermenging van verontreinigd grondwater met schoon grondwater. Als er puur product aanwezig is (zaklaag of drijfslag), kan de OBES ertoe leiden dat meer van het pure product in oplossing in het grondwater komt (Zuurbier et al., 2013).

Modelstudie

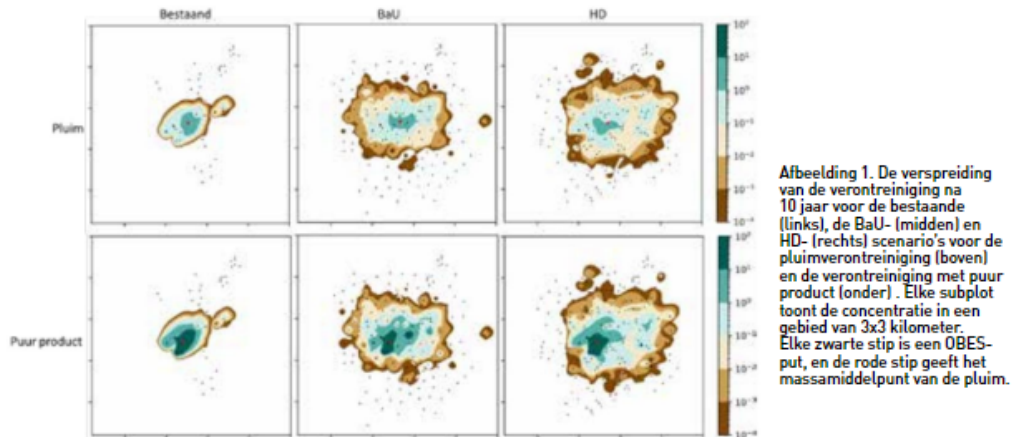
Met de stad Eindhoven als casus zijn er drie scenario's gemodelleerd waarin de aantallen en de indeling van OBES zijn gevarieerd:

1. de huidige situatie van de bestaande /vergunde OBES (n=48);
2. 'Business as Usual' (BaU) ofwel de standaardindeling, waarbij de afstand tussen de bronnen driemaal de thermische straal bedraagt (n=154);
3. Hoge Dichtheid (HD): in het gebied met de grootste vraag, werden de bronnen geoptimaliseerd voor thermisch rendement. Bronnen van dezelfde temperatuur werden geclusterd om meer systemen te kunnen accommoderen, waardoor de afstand tussen bronnen werd verkleind en de gemiddelde afstand tussen putten van verschillende temperatuur werd vergroot. Dit resulteerde in meer systemen (n=190).

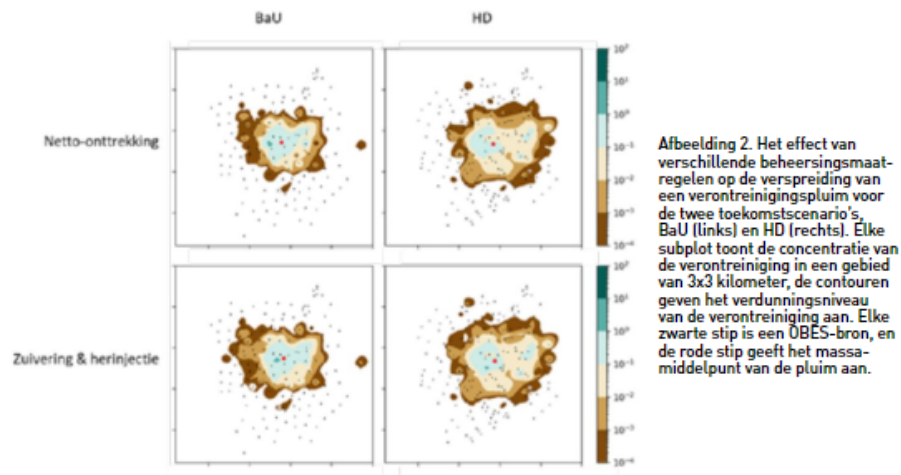
De simulaties beslaan een periode van 10 jaar. Voor de twee toekomstscenario's (BaU en HD) zijn 2 beheersmaatregelen getest om de verspreiding van verontreiniging te beperken:

- A. Netto onttrekking: hiervoor zijn de 6 OBES-bronnen geselecteerd die zich het dichtst bij de verontreiniging bevinden. Van deze bronnen is 90 procent van het opgepompte volume opnieuw geïnjecteerd, in de veronderstelling dat de rest bovengronds wordt gezuiverd en apart geloosd.
- B. Zuivering & herinjectie: voor dezelfde 6 bronnen wordt 50 procent gezuiverd en opnieuw geïnjecteerd. Deze verwijdering is relatief hoog en is bedoeld om een best-case te simuleren.

De verontreiniging is gesimuleerd als een conservatieve tracer zonder degradatie of adsorptie, die een *worst-case* voor verspreiding representeert. Er zijn twee situaties gesimuleerd: een pluimverontreiniging en een puur product zone, waarbij de laatste een half zo groot gebied bestrijkt als de eerste. Beide simulaties zijn uitgevoerd met een dimensieloze concentratie van 100. Ze zijn geëvalueerd aan de hand van de totale verspreiding (oppervlakte van de 10^{-4} contour in m^2) en de verontreinigingsgraad, gedefinieerd als totale massa van de verontreiniging in verhouding tot het totale jaarlijks verpompte volume van de OBES.



Afbeelding 1. De verspreiding van de verontreiniging na 10 jaar voor de bestaande (links), de BaU- (midden) en HD- (rechts) scenario's voor de pluimverontreiniging (boven) en de verontreiniging met puur product (onder). Elke subplot toont de concentratie in een gebied van 3x3 kilometer. Elke zwarte stip is een OBES-put, en de rode stip geeft het massamiddelpunt van de pluim.



Afbeelding 2. Het effect van verschillende beheersingsmaatregelen op de verspreiding van een verontreinigingspluim voor de twee toekomstscenario's, BaU (links) en HD (rechts). Elke subplot toont de concentratie van de verontreiniging in een gebied van 3x3 kilometer, de contouren geven het verdunningsniveau van de verontreiniging aan. Elke zwarte stip is een OBES-bron, en de rode stip geeft het massamiddelpunt van de pluim aan.

De drie scenario's vergeleken

Wanneer we voor de pluimverontreiniging de drie bronplaatsingsscenario's zonder beheersmaatregelen vergelijken, geeft het scenario met alleen de bestaande systemen relatief gezien de grootste verspreiding (afbeelding 1). Dit komt doordat in dit scenario de (weinig) OBES-bronnen verder uit elkaar liggen dan in de BaU- en HD-scenario's. Als er kortsluitstroming tussen verschillende OBES optreedt, is de afstand waarover de verontreiniging zich verspreidt dus veel groter dan in de BaU- en HD-scenario's.

De absolute verspreiding neemt toe bij meer bronnen, en het verontreinigde gebied is dan ook het grootst in het HD-scenario. In het HD-scenario is de pluim na 10 jaar in het algemeen 30-57% groter dan in het BaU-scenario. Het aantal putten in het HD-scenario is echter ook 23% hoger (NB Wanneer de mate van verspreiding voor de

BaU- en HD-scenario's wordt vergeleken met het totaal verpompte volume, is er weinig verschil (+/- 1%).

Daarom is er in de praktijk een trade-off tussen de verspreiding van de verontreiniging, de verbeterde thermische efficiëntie als gevolg van het clusteren van putten met dezelfde temperatuur en de daaruit voortvloeiende optimalisatie van het gebruik van de ondergrond voor OBES.

Wanneer de verontreiniging puur product is, verandert de totale verspreidingsgraad in elk scenario niet veel in vergelijking met de pluim, hoewel het gebied met hoge concentraties wel groter is.

Maatregelen tegen verspreiding

Zoals te verwachten valt, leidt een netto-onttrekking van verontreinigd water aan OBES tot een vermindering van de totale verontreinigingsmassa (afbeelding 2).

De reductie in het BaU- en het HD-scenario bedraagt respectievelijk 22 en 28 procent voor het pluimoppervlak en 68 en 77 procent voor de totale massa. Zuivering met herinjectie is iets minder effectief maar geeft nog steeds een vermindering van 14-18 procent van het pluimoppervlak en 49-61% van de totale massa. De betere prestatie van de netto-onttrekking is te danken aan het feit dat er een groter deel van de verontreiniging wordt verwijderd.

Het onttrekken van 10 procent extra voor behandeling aan OBES-putten die zich het dichtst bij de verontreiniging bevinden, bleek de meest effectieve optie te zijn om de verspreiding van de verontreiniging te beperken. Uiteraard bleek ook dat de controlemaatregelen voor netto-onttrekking en zuivering & herinjectie het doeltreffendst waren in de eerste jaren van de toepassing. Van de totale verwijderde verontreinigingsmassa werd 90 procent verwijderd in de eerste drie jaar van de simulatie. Bovendien waren slechts enkele putten verantwoordelijk voor de verwijdering van het grootste deel van de verontreiniging, wat betekent dat een maatregel als zuivering in tijd en ruimte moet worden geoptimaliseerd. 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.

Conclusies

Uit de modelstudie blijkt dat de locaties van OBES-bronnen en de soort verontreiniging (pluim of puur product) van invloed zijn op de mate waarin verontreinigingen zich in het grondwater verspreiden. De keuze en uitwerking van maatregelen om verspreiding van een verontreiniging tegen te gaan, zijn daarom ook afhankelijk van de lokale omstandigheden. Niettemin maken de resultaten duidelijk dat het in een gebied met veel OBES niet mogelijk is de verspreiding van grondwaterverontreinigingen te voorkomen. Hoe hoger de dichtheid van OBES-bronnen, hoe groter de verspreiding. In de praktijk lukt beperking van verspreiding het best bij een vroegtijdige beoordeling van lokale verontreinigingen, de juiste keuze van maatregelen en een zorgvuldige selectie van OBES-bronnen om de maatregelen op toe te passen. Bovendien is het belangrijk om beheersmaatregelen vanaf het begin toe te passen, aangezien deze het meest doeltreffend zijn in de eerste jaren van toepassing.

Alex Hockin (KWR Water Research Institute),
Martin Bloemendal (KWR, TU Delft), Niels Hartog
(KWR, Universiteit Utrecht)

BRONNEN

Bloemendal, M., Hockin, A., J., V., Hoekstra, N., & van Ree, D. (2022). Effecten van aan aquathermie gekoppelde bodemenergiesystemen op de ondergrond. 3B Effecten, rol en regelgeving. WarmingUp Innovatief Duurzaam Warmtecollectief.

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 (ATES) 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>

SAMENVATTING

In steden is het eerste watervoerende pakket geregeld verontreinigd. Door toepassing van open bodemenergiesystemen (OBES) kan zo'n verontreiniging zich verspreiden. In een gemodelleerde casestudy is de mate van verspreiding gekwantificeerd voor de binnenstad van Eindhoven, en zijn twee maatregelen om verspreiding tegen te gaan getest. Wat blijkt is dat het bij veel OBES praktisch onmogelijk is om verspreiding en verdunning van verontreinigingen te voorkomen. Hoewel de verspreiding het sterkst was bij de hoogste dichtheid (190 installaties op 9 km²), waren de verschillen met het scenario met minder OBES (154) niet groot. Netto-onttrekking en bovengrondse zuivering kunnen de verspreiding beperken en zijn het meest effectief in de eerste paar jaar na ingebruikname van OBES. Voor de praktijk betekent dit dat het zaak is om lokale verontreinigingen te lokaliseren voor de OBES wordt gestart, en de OBES-bronnen om de maatregelen op toe te passen, zorgvuldig te selecteren.