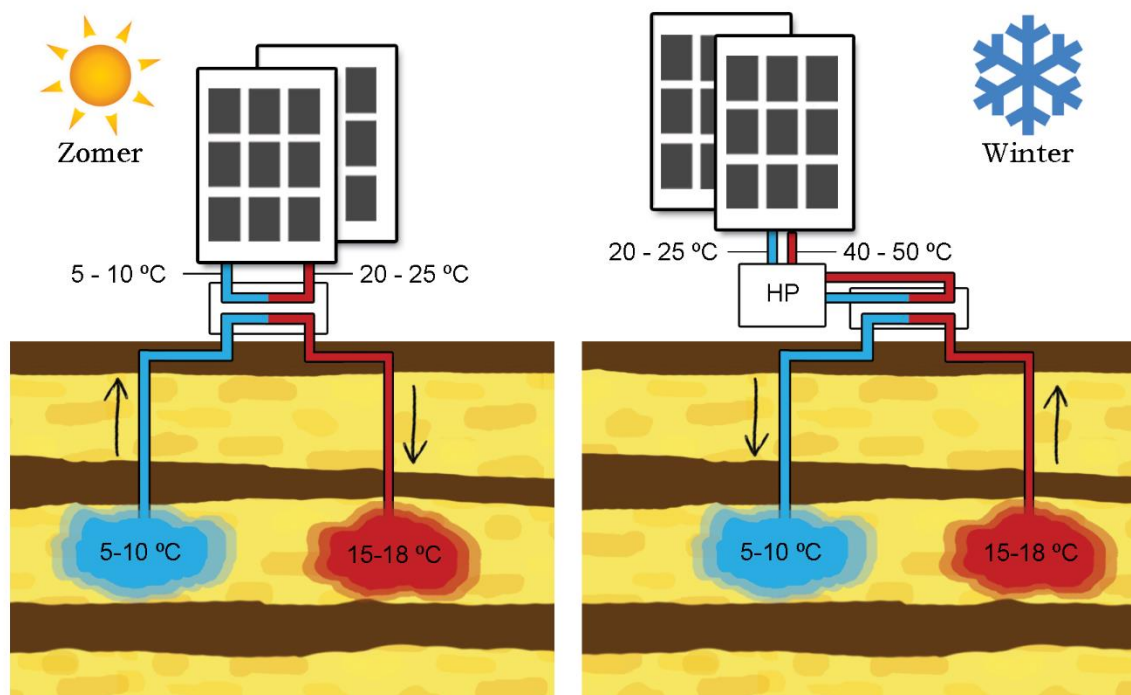


## Waar kunnen open bodemenergiesystemen worden geplaatst?

Robin Wimmers, Niels Hartog (KWR Water Research Institute, Universiteit Utrecht), Martin Bloemendal (KWR Water Research Institute, TU Delft)

Open bodemenergiesystemen dragen bij aan de overgang naar duurzame energie en kunnen bijna overal in Nederland worden toegepast. Lokale ondergrondse condities en systeemeigenschappen bepalen echter de efficiëntie van het systeem. Er is nog geen gedetailleerde kaart van de invloed van deze eigenschappen op het rendement van bodemenergiesystemen beschikbaar. In dit artikel wordt het verlies in terugwinefficiëntie door geleiding en achtergrondstroming geanalyseerd. Hiermee wordt voor elke plek in Nederland inzichtelijk met welke van deze verliezen rekening moet worden gehouden bij het ontwerpen van bodemenergiesystemen.

Volgens het klimaatakkoord moet één op de vijf Nederlandse huizen en gebouwen in 2030 van het gas af zijn [1]. Om deze overgang mogelijk te maken wordt gekeken naar alternatieve mogelijkheden voor gebouwverwarming. Een open bodemenergiesysteem (afbeelding 1) is een van de alternatieven voor gasverwarming [2]. Open bodemenergiesystemen gebruiken watervoerende bodemlagen om tijdelijk koude en warmte in op te slaan. Tijdens de zomerperiode wordt warm water opgeslagen en koud water teruggewonnen om het gebouw af te koelen. In de winter gebeurt het tegenovergestelde. Het warme water wordt teruggewonnen en het koude water wordt opgeslagen.



Afbeelding 1. Schematisch overzicht van een open bodemenergiesysteem. De linkerkant laat de situatie zien tijdens de zomerperiode. De rechterkant laat de omgekeerde situatie zien. HP = Warmtepomp

## Inzicht ontbreekt

Steeds meer gebouwen worden uitgerust met een open bodemenergiesysteem [3]. Omdat de ondergrond in Nederland varieert is voor al deze open systemen uitgezocht of plaatsing mogelijk is [4]. Plaatsing hangt af van het rendement (terugwinefficiëntie) van het systeem. Deze terugwinefficiëntie wordt beïnvloed door ondergrondse eigenschappen, zoals doorlatendheid, achtergrondstroming en de dikte van de bodemlaag. Ook systeemeigenschappen als opslagvolume, -temperatuur en -duur bepalen de terugwinefficiëntie van een systeem [5]. Helaas zijn er nog geen landelijke kaarten beschikbaar waarop de terugwinefficiëntie voor open bodemenergiesystemen staat weergegeven. Wel is er een geschiktheidskaart die een algemeen beeld geeft waar plaatsing geschikt is, maar deze is te algemeen [6]. Daarom wordt hier een nieuwe analyse gepresenteerd die meer inzicht geeft in terugwinefficiëntie van open bodemenergiesystemen [7].

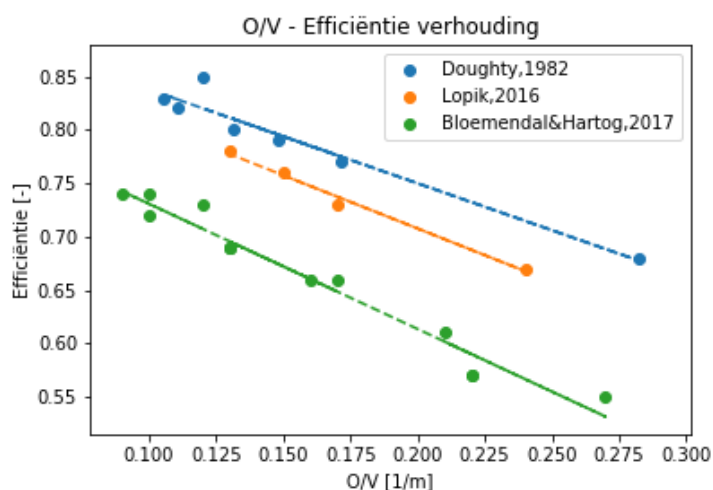
De analyse richt zich op twee factoren in verlies: het verlies in terugwinefficiëntie door geleiding (=warmteoverdracht) en het verlies in terugwinefficiëntie door achtergrondstroming.

## Methode

### Verlies door geleiding

De geleidingsverliezen vinden plaats op het grensvlak tussen warm en koud, dus langs de randen van het opslagvolume. Systemen met een kleine oppervlakte-volumeverhouding (O/V) ondervinden minder verliezen dan systemen met een grote O/V-verhouding [5]. Omdat er geen formule is voor het verlies in terugwinefficiëntie door geleiding, is de oppervlakte-volumeratio een benadering voor dit fenomeen (afbeelding 2) [5], [8], [9].

Afbeelding 2 laat zien dat het open bodemenergiesysteem voor een O/V-verhouding van 0.2 een terugwinefficiëntie heeft tussen de 62 en 75 procent. Dit correspondeert met een verlies door geleiding van respectievelijk 38 en 25 procent.



Afbeelding 2. Relatie tussen de oppervlakte-volumeverhouding (O/V) en de terugwinefficiëntie van het open bodemenergiesysteem

**Verlies door achtergrondstroming**

Doordat achtergrondstroming zorgt voor een verplaatsing van het opslagvolume kan er minder worden teruggewonnen. De locatie van de winning en injectie worden namelijk niet mee verplaatst. Hierdoor zijn open bodemenergiesystemen minder efficiënt dan systemen waarbij het opslagvolume niet wordt verplaatst. Voor deze analyse is de formule voor het te verwachten verlies, bij achtergrondstroming tot ongeveer 25 meter per jaar, gebruikt zoals beschreven in Bloemendal en Hartog, 2018 [5].

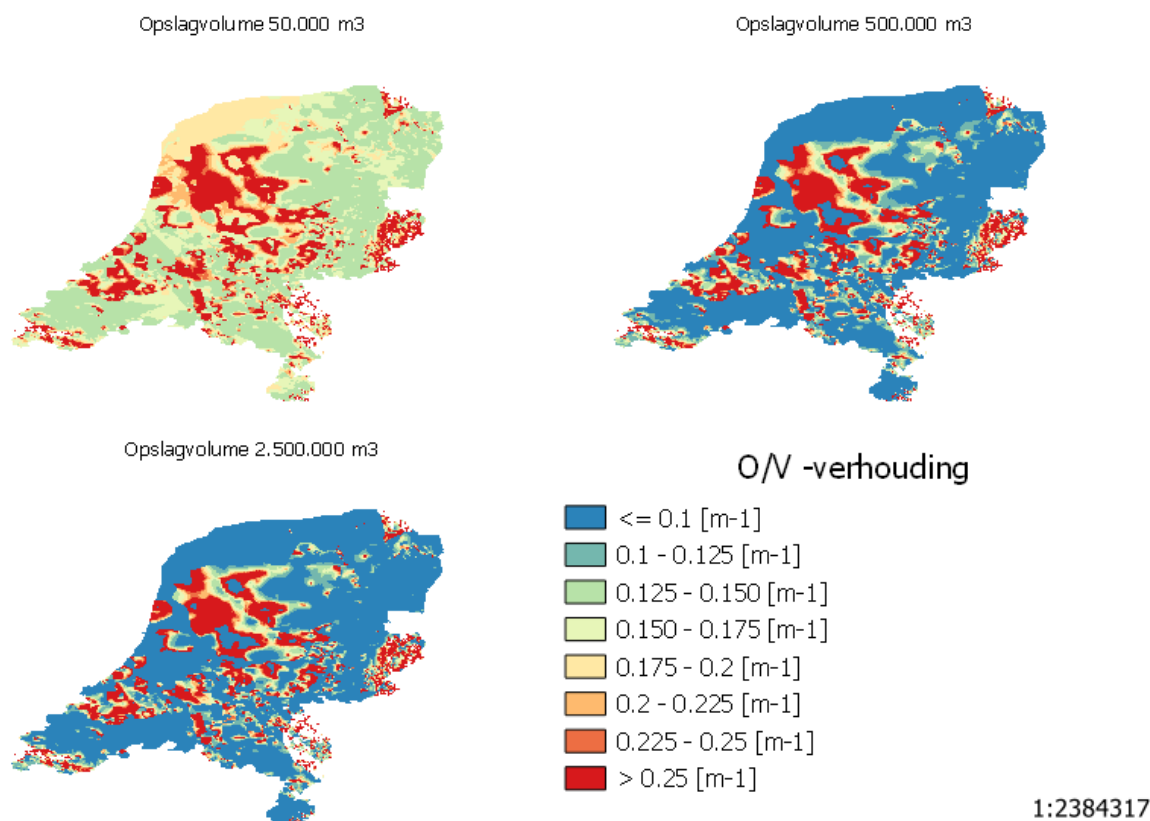
In het algemeen beschrijft de formule dat een hogere achtergrondstroming zorgt voor meer verlies in de terugwinefficiëntie. Daarnaast is het verlies in terugwinefficiëntie groter bij systemen met eenzelfde opslagvolume en achtergrondstroming die geplaatst zijn in dikkere watervoerende bodemlagen ten opzichte van systemen in dunnere watervoerende bodemlagen. In deze situatie is er een groter grensvlak van het opslagvolume blootgesteld aan de achtergrondstroming, wat leidt tot meer verlies.

**Resultaat****Verlies door geleiding**

De uitkomst van de analyse geeft inzicht in de regionale verdeling van de O/V-verhouding. Zoals eerdergenoemd betekent een lage waarde voor de O/V een hogere terugwinefficiëntie, doordat er relatief minder oppervlakte is om warmte aan te verliezen (afbeelding 2). Voor de analyse is uitgegaan van een opslagvolume van 50.000, 500.000 en 2.500.000 kubieke meter. Deze waarden komen overeen met een klein, gemiddeld en groot bodemenergiesysteem in Nederland [5].

Afbeelding 3 toont verschillende opslagvolumes voor open bodemenergiesystemen en laat zien dat kleine systemen (opslagvolume van 50.000 m<sup>3</sup>) meer warmte verliezen door geleiding dan grotere systemen (500.000 en 2.500.000 m<sup>3</sup>). De kaarten zijn tot stand gekomen op basis van de laagste geleidingverliezen per locatie. Verder blijkt de ondergrond in de Achterhoek en het noorden van Limburg ongeschikt te zijn voor open bodemenergiesystemen. Hier zijn de lagen te dun, waardoor er geen optimale vorm (lage O/V-verhouding) kan ontstaan, zelfs niet bij het kleinste opslagvolume. Dit is in lijn met eerdere studies [6].

Gebieden met weinig verlies in terugwinefficiëntie door geleiding, zijn weergegeven in blauw en groen. Hier kunnen open bodemenergiesystemen geplaatst worden om gebouwen gasloos te maken zonder grote verliezen in terugwinefficiëntie door geleiding.

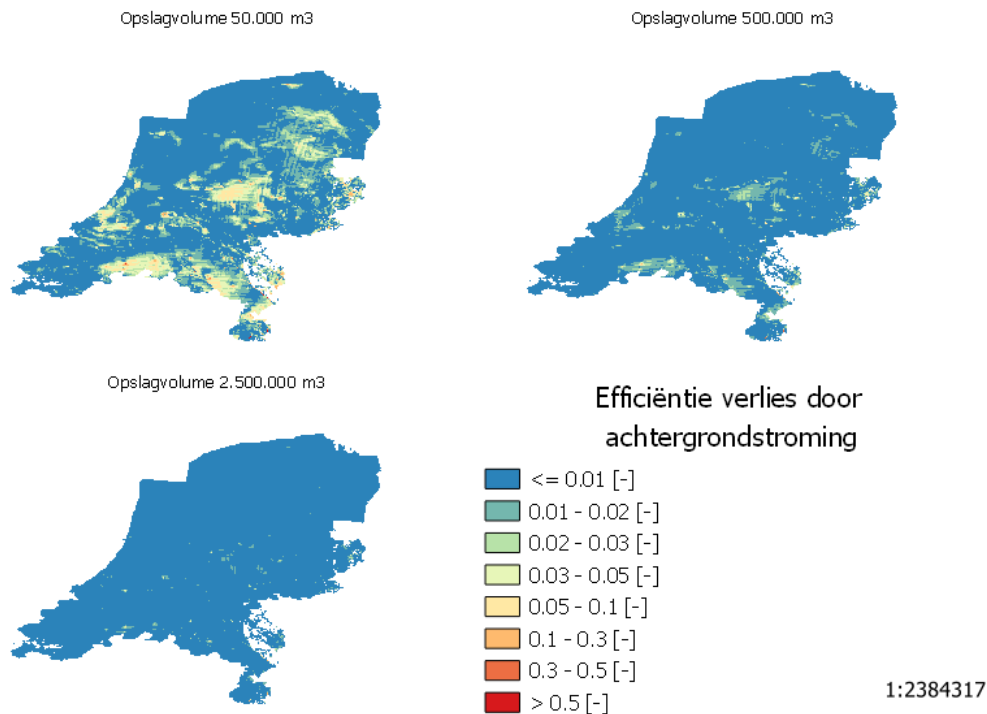


Afbeelding 3. De O/V-verhouding voor heel Nederland voor verschillende opslagvolumes. De blauwe en groene gebieden hebben een verlies in terugwinefficiëntie voor geleiding onder de 20 - 35 procent (afbeelding 2)

#### **Verlies door achtergrondstroming**

De gemiddelde achtergrondstroming in Nederland is 4,5 meter per jaar. Ter vergelijking: in België is de gemiddelde grondwaterstroming 94 m/jaar [10]. Door de lage achtergrondstroming is het verlies in terugwinefficiëntie door achtergrondstroming in Nederland ook laag (afbeelding 4). Een vergroting van het opslagvolume verkleint het effect verder. Er zijn echter gebieden in Nederland waar ook grote open bodemenergiesystemen verliezen ondervinden. Zo is de grondwaterstroming op de Utrechtse Heuvelrug, de Veluwe en rondom waterwingebieden hoog, waardoor ook het verlies toeneemt.

Afbeelding 4 laat zien dat voor heel Nederland plaatsing van open bodemenergiesystemen mogelijk is met een verwaarloosbaar verlies in terugwinefficiëntie als gevolg van achtergrondstroming. Zeker bij een gemiddeld tot groot systeem bedragen de verliezen voor een groot deel van Nederland minder dan één procent.



Afbeelding 4. Het verlies door achtergrondstroming voor verschillende systeemgroottes. De blauwe gebieden geven een verlies van minder dan een procent in terugwinefficiëntie door achtergrondstroming weer

### Twee casestudies: de mogelijkheden

De analyse geeft ook de mogelijkheid om per watervoerende bodemlaag het verlies in terugwinefficiëntie door geleiding en het verlies in terugwinefficiëntie door achtergrondstroming weer te geven.

Om de mogelijkheden van deze nieuwe aanpak te laten zien, kijken we in meer detail naar twee regio's (Arnhem-Nijmegen en Utrecht). Voor deze locaties zijn de resultaten voor een systeem met een opslagvolume van 500.000 m<sup>3</sup> gepresenteerd. Dit is namelijk de gemiddelde systeemgrootte in Nederland. Belangrijk om op te merken is dat niet alle landelijke watervoerende bodemlagen in elke regio aanwezig zijn [11], [12]. Voor de regio's Arnhem-Nijmegen en Utrecht kijken we daarom alleen naar watervoerende bodemlaag 3, 5 en 7.

#### **Regio Arnhem-Nijmegen**

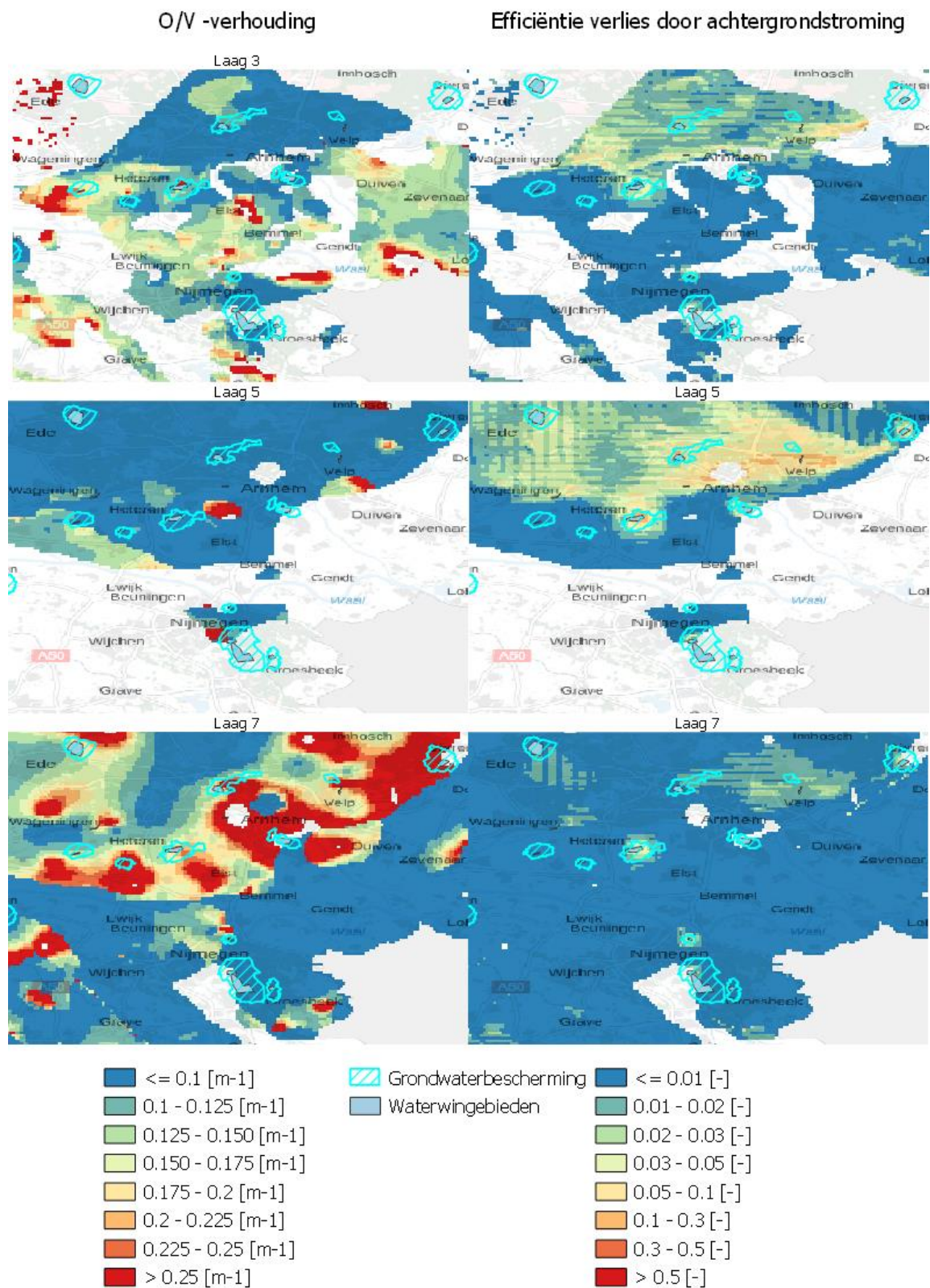
Afbeelding 5 geeft per aanwezige watervoerende bodemlaag het verlies in terugwinefficiëntie door geleiding en door achtergrondstroming weer.

De laagste O/V-verhouding wordt gevonden in laag 3 en 5 (afbeelding 5) voor de stad Arnhem. Dit resulteert in minder geleidingsverlies en een hogere opslagefficiëntie van het systeem (afbeelding 2). Het centrum van Nijmegen heeft lage geleidingsverliezen (zie O/V-verhouding) in alle aanwezige watervoerende bodemlagen.

Door de hoogteverschillen en de winning van drinkwater in de regio Arnhem-Nijmegen is de snelheid van de grondwaterstroming hoog ten opzichte van andere plekken in Nederland. Het drinkwaterbedrijf wint rond Arnhem vooral water uit laag 5 (afbeelding 5). Hier is het verlies door achtergrondstroming ook het hoogst. In laag zeven is het verlies minder.



In de regio Arnhem-Nijmegen zijn genoeg locaties waar open bodemenergiesystemen geplaatst kunnen worden zonder grote verliezen in terugwinefficiëntie door geleiding en of door achtergrondstroming. Dit biedt kansen voor gasloos bouwen.



Afbeelding 5. Uitkomst van de analyse voor de O/V-verhouding en voor het verlies door achtergrondstroming voor de regio Arnhem-Nijmegen voor een open bodemenergiesysteem van 500.000 m<sup>3</sup>. Data over waterwingebieden en grondwaterbeschermingsgebieden zijn afkomstig van de provincie Gelderland

### **Regio Utrecht**

Net als de analyse van de regio Arnhem-Nijmegen is ook voor deze regio het verlies in terugwinefficiëntie door geleiding en door achtergrondstroming in kaart gebracht (afbeelding 6).

Op basis van de analyse blijkt dat voor het centrum van Utrecht watervoerende bodemlaag 7 het meest geschikt is voor de plaatsing van een open bodemenergiesysteem. In deze laag is het verlies in terugwinefficiëntie door geleiding (zie O/V-verhouding) en het verlies in terugwinefficiëntie door achtergrondstroming laag.

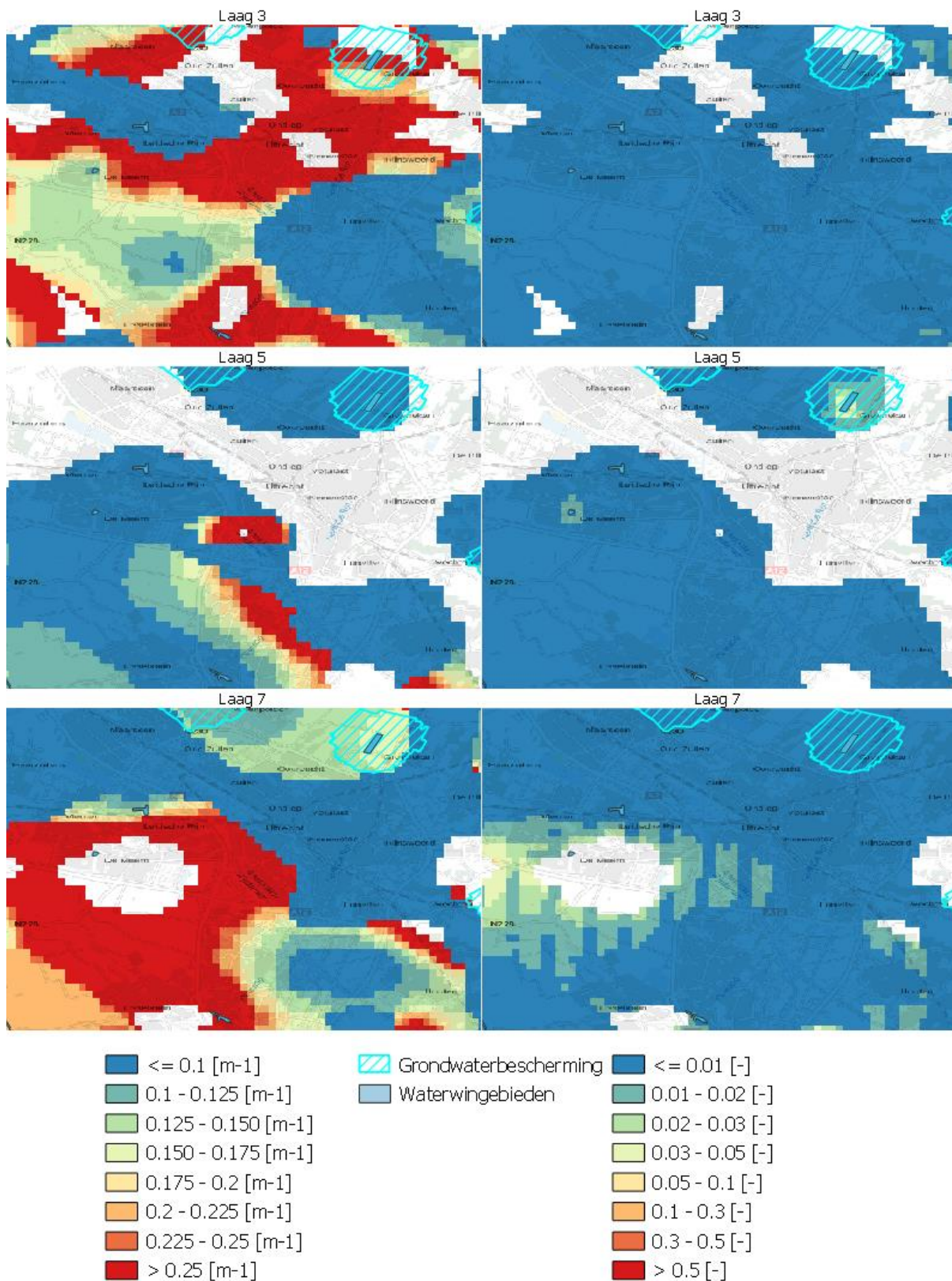
Voor stadsdeel Vleuten-De Meern (Utrecht-west) kan het best watervoerende bodemlaag 5 worden gebruikt. In deze laag is het geleidingsverlies (zie O/V-verhouding) minder groot dan in laag 1 en 7 (afbeelding 2).

Ook in Utrecht kunnen open bodemenergiesystemen worden geplaatst om gebouwen gasvrij te maken. De verliezen in terugwinefficiëntie kunnen worden beperkt door het systeem in de juiste watervoerende bodemlaag te plaatsen.



### O/V -verhouding

### Efficiëntie verlies door achtergrondstroming



Afbeelding 6. Uitkomst van de analyse voor de O/V-verhouding en voor het verlies door achtergrondstroming voor de regio Utrecht voor een open bodemenergiesysteem van 500.000 m<sup>3</sup>. Data over waterwingebieden en grondwaterbeschermingsgebieden zijn afkomstig van de provincie Utrecht



### **(Drink)waterwinning**

Naast het verlies in opslagefficiëntie door geleiding en achtergrondstroming dient ook rekening gehouden te worden met drinkwateronttrekkingsgebieden. In deze gebieden is het vaak verboden om open bodemenergiesystemen aan te leggen. In afbeeldingen 5 en 6 zijn daarom ook de grondwaterbeschermingsgebieden en waterwingebieden weergegeven. Door waterwingebieden en het verlies in opslagefficiëntie door geleiding en achtergrondstroming samen weer te geven in een kaart kan een geschikte locatie voor een open bodemenergiesysteem worden bepaald.

### **Conclusie en aanbevelingen**

De resultaten geven voor het eerst inzicht in welke mate verlies door geleiding meespeelt bij de toepassing van bodemenergie in Nederland (afbeelding 3). Ook laten de kaarten zien dat er rekening gehouden moet worden met de impact van achtergrondstroming op de terugwinefficiëntie van open bodemenergiesystemen (afbeelding 4). Deze resultaten kunnen een belangrijke rol spelen bij het bepalen van locaties voor de aanleg van open bodemenergiesystemen in Nederland.

De twee casussen leren ons dat de verliezen in terugwinefficiëntie sterk kunnen verschillen op relatief kleine afstand, maar ook tussen watervoerende bodemlagen. Doordat het met deze aanpak mogelijk is om deze watervoerende bodemlagen te vergelijken, kan een completer beeld gegeven worden van deze verschillende verliezen in terugwinefficiëntie voor open bodemenergiesystemen op de locatie.

Op basis van de getoonde kaarten kan antwoord gegeven worden op de vraag waar open bodemenergiesystemen aangelegd kunnen worden met de kleinste verliezen in terugwinefficiëntie.

De analyse is een basis voor de verkennende fase van bodemenergieplanning. In deze landelijke analyse zijn versimpelingen toegepast, voor details over de aanpak en toepasbaarheid op lokale schaal wordt verwezen naar een MSc-thesis waar dit in detail is uitgewerkt [7].

### **Referenties**

1. Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (2018). *Ontwerp van het Klimaatakkoord*. 's-Gravenhage. Tech. rep
2. Asif, M. en Muneer, T. (2017). 'Energy supply, its demand and security issues for developed and emerging economies'. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 11.7, pp. 1388-1413
3. Willemsen, N. (2016). *Rapport bodemenergie-systemen in Nederland*. Arnhem, RVO/IF technology. Tech. rep.
4. Bodemenergie.nl (2013). *Handboek Bodemenergie/ NVOE-richtlijnen Ondergrondse Energieopslag*. [www.wikibodemenergie.nl/](http://www.wikibodemenergie.nl/), geraadpleegd op 5 april 2019.
5. Bloemendal, M. en Hartog, N. (2018). 'Analysis of the impact of storage conditions on the thermal recovery efficiency of low-temperature ATEs systems'. *Geothermics* 71, pp. 306-319
6. Krogt, R. van der (2011). *Energie uit de ondergrond: potenties en kartering*. Tech. rep Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.
7. Wimmers, R. (2019). *Application conditions for Aquifer Thermal Energy Storage systems in the Netherlands*. University Utrecht. MSc Thesis.
8. Doughty, C. et al. (1982). 'A dimensionless parameter approach to the thermal behavior of an aquifer thermal energy storage system'. *Water Resources Research* 18.3, pp. 571-587.

9. Lopik, J.H. van, Hartog, N. and Zaadnoordijk, W.J. (2016). 'The use of salinity contrast for density difference compensation to improve the thermal recovery efficiency in high-temperature aquifer thermal energy storage systems'. *Hydrogeology Journal* 24.5, pp. 1255–1271.
10. Peeters, L. (2010). *Groundwater and Geochemical Modelling of the Unconfined Brussels Aquifer*, KU Leuven. PhD. Dissertation
11. Hoogewoud, J. et al. (2010). *Nationaal Hydrologisch Instrumentarium – NHI Model-rapportage fase 2*. Tech. rep.
12. TNO (2017). *Ondergrondmodellen REGIS II v2.2*. Database