



# Potentieonderzoek geothermie Gelderland

Publieksrapportage

Provincie Gelderland

15 april 2022

Project Potentieonderzoek geothermie Gelderland  
Opdrachtgever Provincie Gelderland

Document Publieksrapportage  
Status Definitief  
Datum 15 april 2022  
Referentie 127351/22-005.773

Projectcode 127351  
Projectleider Tijn Nederstigt (Witteveen+Bos)  
Projectdirecteur Willem Hendriks (Witteveen+Bos)

Auteur(s) Eva van der Voet (Witteveen+Bos), Tijn Nederstigt (Witteveen+Bos), Coen Leo (PanTerra), Daphne Wiggers de Vries (PanTerra)  
Begeleidingsgroep Provincie Gelderland, Sweco, EBN, TNO  
Klankbordgroep Provincie Gelderland, RES-regio's Noord-Veluwe, Arnhem/Nijmegen, Rivierenland, en Foodvalley, Waterschappen Vallei en Veluwe en Rijn en IJssel, Vitens, Gemeentes Arnhem, Apeldoorn, Berkelland, Epe, Ede, Lingewaard, Zevenaar, Renkum en Zaltbommel, Tullip Energy, Hydreco Geomec, Tellus.  
Gecontroleerd door Daniël Rits (Witteveen+Bos)  
Goedgekeurd door Tijn Nederstigt (Witteveen+Bos)

Paraaf



|       |                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                    |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Adres | Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V.   Deventer<br>Catharijnesingel 33<br>Postbus 24087<br>3502 MB Utrecht<br>+31 (0)30 765 19 00<br>www.witteveenbos.com<br>KvK 38020751 | PanTerra Geoconsultants B.V.<br>Weversbaan 1-3<br><br>2352 BZ Leiderdorp<br>+31 (0)715 81 35 05<br>www.panterra.nl<br>KvK 28047512 |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Het kwaliteitsmanagementsysteem van PanTerra en Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© PanTerra, Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden veeleevoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van PanTerra en Witteveen+Bos noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. PanTerra en Witteveen+Bos aanvaarden geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door PanTerra en Witteveen+Bos geleverde document.

## INHOUDSOPGAVE

|     |                                                        |           |
|-----|--------------------------------------------------------|-----------|
| 0   | <b>SAMENVATTING</b>                                    | <b>5</b>  |
| 1   | <b>INLEIDING</b>                                       | <b>13</b> |
| 1.1 | Aanleiding                                             | 13        |
| 1.2 | Doel                                                   | 13        |
| 1.3 | Proces                                                 | 14        |
| 1.4 | Leeswijzer                                             | 14        |
| 2   | <b>GEOthermie: EEN INTRODUCTIE</b>                     | <b>16</b> |
| 2.1 | Wat is geothermie?                                     | 16        |
| 2.2 | Reservoirkwaliteit                                     | 16        |
| 2.3 | Hoe wordt een geothermische potentiestudie uitgevoerd? | 17        |
| 3   | <b>DE DIEPE ONDERGROND VAN GELDERLAND</b>              | <b>19</b> |
| 3.1 | Opbouw ondergrond Gelderland                           | 19        |
| 3.2 | Geschikte aardlagen                                    | 20        |
| 3.3 | Kansrijke reservoirs                                   | 22        |
|     | 3.3.1 Conclusies                                       | 23        |
| 4   | <b>WARMTEVRAAG IN GELDERLAND</b>                       | <b>25</b> |
| 4.1 | Waarom de warmtevraag nog een keer in kaart brengen?   | 25        |
| 4.2 | Wanneer is de warmtevraag geschikt voor geothermie?    | 26        |
| 4.3 | Resultaten en conclusies voor Gelderland               | 27        |
| 5   | <b>POTENTIE VAN GEOthermie IN GELDERLAND</b>           | <b>29</b> |
| 5.1 | Potentie uit de ondergrond                             | 29        |
|     | 5.1.1 Geothermische potentiekaarten                    | 30        |
| 5.2 | Vraag-aanbod combinatie (kansenkaarten)                | 33        |

|     |                                |           |
|-----|--------------------------------|-----------|
| 6   | <b>KANSEN EN BELEMMERINGEN</b> | <b>41</b> |
| 6.1 | Kansen                         | 41        |
| 6.2 | Belemmeringen                  | 42        |

|   |                                    |           |
|---|------------------------------------|-----------|
| 7 | <b>CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN</b> | <b>45</b> |
|---|------------------------------------|-----------|

|  |                |    |
|--|----------------|----|
|  | Laatste pagina | 53 |
|--|----------------|----|

|     | <b>Bijlage(n)</b>                                                                                    | <b>Aantal pagina's</b> |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| I   | Rotliegend reservoir kaarten                                                                         | 2                      |
| II  | Paleogeen (Tertiaire) reservoirs (Stratigrafie en reservoir verspreiding)                            | 3                      |
| III | Vermogensberekening aannames en vereenvoudigingen                                                    | 1                      |
| IV  | Dieptekaart Dinantiën                                                                                | 1                      |
| V   | High Case vermogenskaarten Trias Rot en Volpriehausen                                                | 1                      |
| VI  | Warmtevraagclusters met totale warmtevraag en geothermische potentie uit de verschillende reservoirs | 4                      |
| VII | Oplegbrief verwerking feedback klankbordgroep                                                        | 2                      |



## SAMENVATTING

### Wat is geothermie?

Geothermie is het gebruik van aardwarmte voor het verwarmen van woningen en utiliteitsgebouwen, het leveren van warm tapwater en warmte voor industriële processen. De warmte wordt gewonnen door het omhoog pompen van heet water uit ondergrondse gesteentelagen. Het water wordt eenmaal bovengronds gebruikt om warmte over te dragen aan een warmtenet. Het afgekoelde water wordt vervolgens terug de gesteentelaag in gepompt. Aardwarmte kan niet overal worden gewonnen: diepe zandige gesteentelagen zijn veel meer geschikt hiervoor dan kleiige lagen. Hoe dieper een laag zich onder de grond bevindt, hoe heter het grondwater. Hoe zandiger een laag is, hoe meer grondwater deze kan bevatten en hoe makkelijker het grondwater door deze laag kan stromen, met andere woorden: hoe makkelijker grondwater uit de laag kan worden gepompt. Voor geothermie zijn dus vooral diepe zandige gesteentelagen geschikt.

### Waarom dit onderzoek?

Aardwarmte is een kansrijke bron om de warmtevraag van de gebouwde omgeving te verduurzamen, maar om de kansen voor aardwarmte in te schatten is kennis van de ondergrond nodig, zodat kan worden vastgesteld of de eigenschappen van de ondergrond voldoen aan de criteria voor geothermie. Recent verschenen data uit het Seismische Campagne Aardwarmte Nederland (SCAN) programma van EBN zorgt voor mogelijkheden om een nieuwe inschatting van de potentie van aardwarmte te maken. PanTerra en Witteveen+Bos hebben de SCAN-data geanalyseerd en bestaande data, waaronder boorgegevens, opnieuw tegen het licht gehouden. Dit heeft geleid tot een verbeterd beeld van de warmtepotentie in de diepe ondergrond van Gelderland.

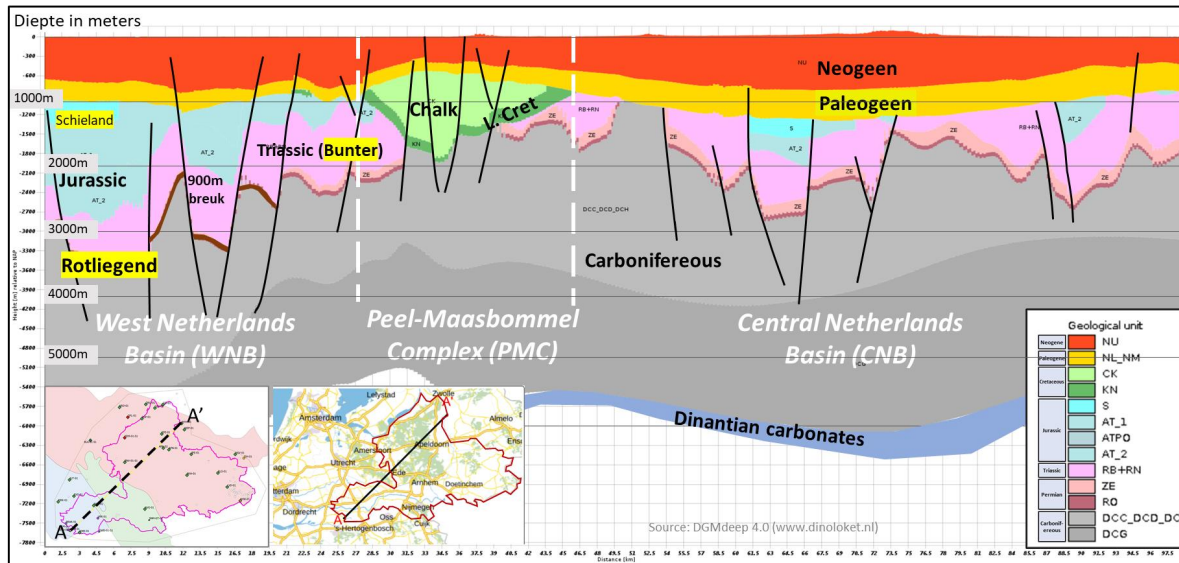
### Welke aardlagen zijn onderzocht?

Uit geologisch onderzoek blijkt dat vijf gesteentelagen in Gelderland zouden kunnen worden gebruikt als aardwarmtebron: van diep naar ondiep:

- het Dinantiën als bron van hoge temperatuur warmte (meer dan 70°C, ultradiepe geothermie);
- het Rotliegend, de bonte zandstenen van de Trias en het Schieland als midden temperatuur warmte (meer dan 50°C diepe geothermie);
- de Paleogeen aardlagen als lage temperatuur warmte (meer dan 30°C, ondiepe geothermie).

Afbeelding 0.1 toont een dwarsdoorsnede van de ondergrond in Gelderland waar de verschillende lagen te zien zijn.

Afbeelding 0.1 Doorsnede van de Gelderse diepe ondergrond (aangepast uit Dinoloket, TNO). In de afbeelding worden Engelse termen gebruikt. De y-as geeft de diepte in meters aan. Met behulp van labels is de y-as beter zichtbaar gemaakt. De afkortingen rechtsonder worden in de rapportage verder gedefinieerd. Geel gearceerd = interessant voor aardwarmte.



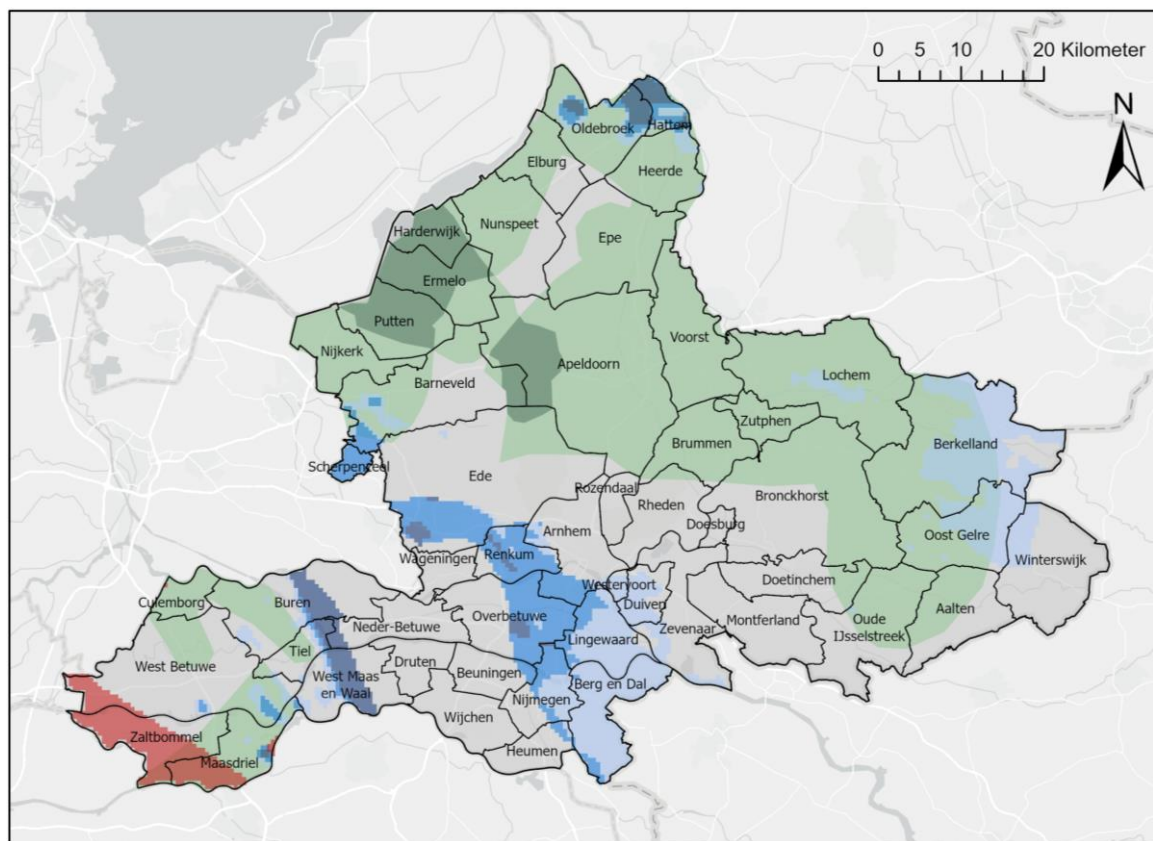
### Waar is de potentie voor geothermie in Gelderland goed?

De volgende algemene conclusies zijn afgeleid op basis van de analyses in dit onderzoek:

- het Rotliegend heeft op verscheidene locaties een gunstige potentie, vooral in de buurt van Arnhem en Nijmegen. Hierbij kan een temperatuur tussen 60-80 °C worden geleverd. Hierdoor is het Rotliegend wel interessant als bron voor woningen en glastuinbouw, maar niet voor de procesindustrie;
- het Schieland laat alleen een goede potentie zien in het uiterste zuidwesten van de Betuwe, in de gemeentes Zaltbommel, West-Betuwe, en Maasdriel. Hier is echter geen aanzienlijke warmtevraag vanuit de gebouwde omgeving, maar mogelijk is deze bron interessant voor de glastuinbouw;
- de Paleogene gesteentelagen kunnen vooral in het noorden van Gelderland bijdragen aan de lage, deels midden temperatuur warmtevraag en ook op andere locaties in Gelderland als hoge temperatuur opslag;
- de bonte Trias zandstenen produceren vrijwel nergens in Gelderland voldoende vermogen om interessant te zijn als bron voor de warmtevoorziening;
- ondanks de beschikbaarheid van nieuwe informatie is het nog niet mogelijk om een goed beeld te krijgen van de potentie van het Dinantiën. Wel is er een dieptekaart van de top van het Dinantiën gemaakt. Deze kaart laat zien dat mogelijk op sommige locaties in Gelderland het Dinantiën ondieper ligt, zoals in de Achterhoek, waar tegen relatief lage kosten tot het Dinantiën kan worden geboord zodat er extra informatie over deze laag kan worden verzameld.

Afbeelding 0.2 laat de kansen vanuit de ondergrond voor diepe geothermie (Rotliegend) en ondiepe geothermie (Tertiaire aardlagen) in Gelderland zien. Ook in het Schieland liggen er mogelijkheden op het grensvlak van diep naar ondiep.

Afbeelding 0.2 Kansen voor geothermie in Gelderland.



#### Kansen voor diepe geothermie

Rotliegend reservoir

- Geen kans
- Redelijke kans
- Goede kans
- Zeer goede kans

Schieland reservoir

- Geen kans
- Redelijke kans
- Goede kans

#### Kansen voor ondiepe geothermie

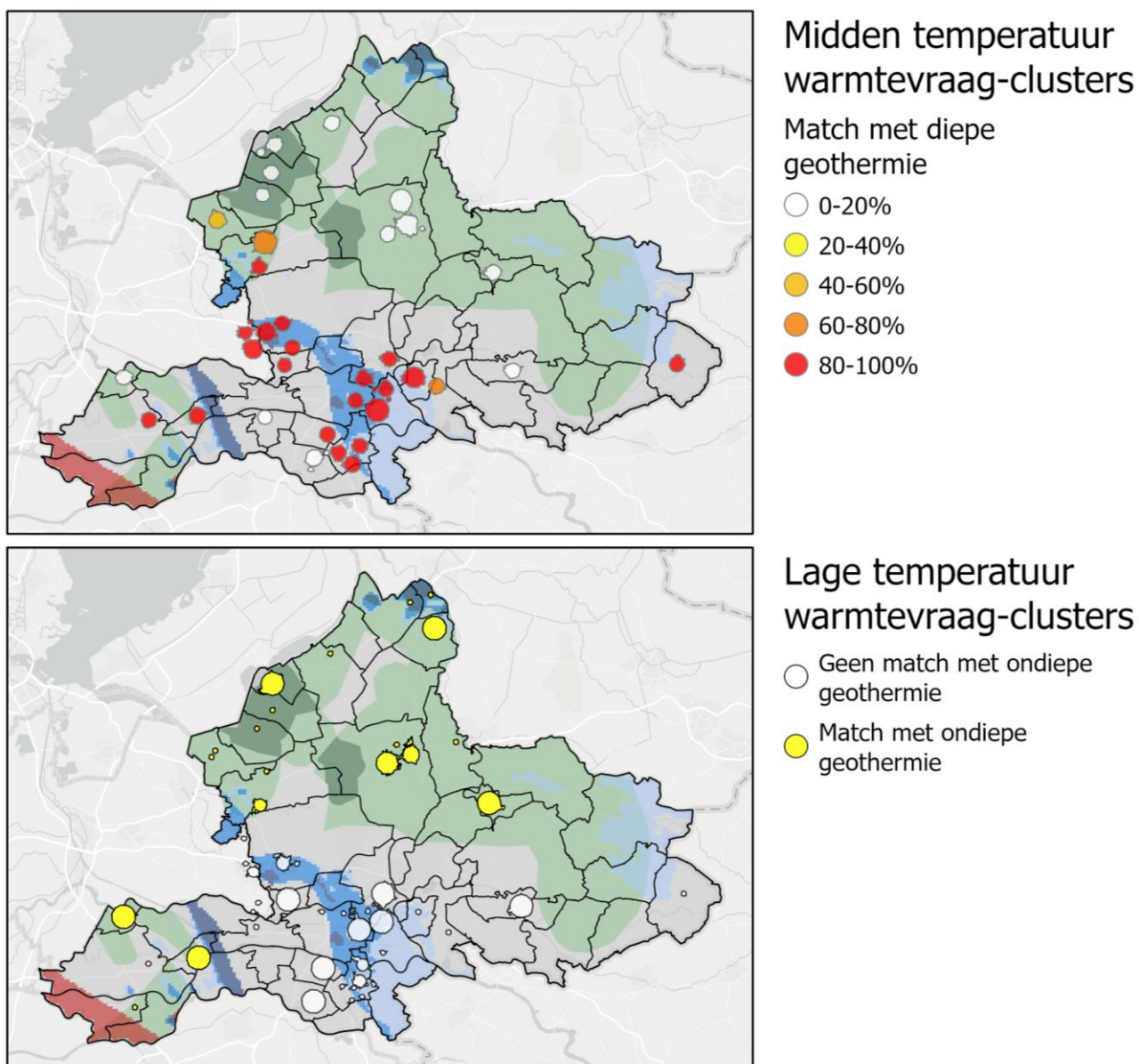
Tertiair reservoirs

- Geen kans
- Redelijke kans
- Goede kans

#### Waar liggen de kansen voor geothermie in Gelderland

Om te onderzoeken in welke mate geothermie in Gelderland kan bijdragen aan de duurzame warmtevraag is een analyse van de warmtevraag gedaan. Op basis van de ingeschatte warmtevraag zijn clusters aangemerkt waar sprake is van een hoge warmtevraag in een relatief klein gebied (afbeelding 0.3). Deze gebieden zijn ideaal voor warmtenetten, en vormen een geschikt afzetgebied voor geothermie. In deze gebieden is aan de hand van de analyse van de ondergrond berekend wat de mogelijke opbrengst uit geothermie is. Hierbij is een combinatie gemaakt van drie geschikte Paleogeen lagen voor ondiepe geothermie. Deze analyses geven een beeld van de kansen voor de implementatie van geothermie in Gelderland.

Afbeelding 0.3 Percentage van de midden (boven), en lage (onder) temperatuur warmtevraag dat met diepe of ondiepe geothermie kan worden geleverd in enkele zones (gekleurde cirkels) waar de warmtevraag relatief hoog is.<sup>1,2,3</sup>



De belangrijkste conclusies uit deze analyses zijn als volgt:

- diepe geothermie heeft in Gelderland grote kansen in de as tussen Arnhem, Renkum, Nijmegen, Lingewaard, en Wageningen;
- ondiepe geothermie kan vooral in Noord-Gelderland uit de drie Paleogeen Formaties worden gewonnen. Plaatsen waar lage temperatuur warmte uit deze formaties naar alle waarschijnlijkheid kan worden gewonnen bevinden zich vooral langs de randmeren en de omgeving van Apeldoorn. De randmeren zijn hierbij een interessante locatie omdat de Paleogeen aardlagen daar dieper liggen en dus een hogere temperatuur hebben;

<sup>1</sup> De legenda uit afbeelding 0.2 is relevant voor de achtergrond in deze kaarten.

<sup>2</sup> De cirkels zijn om gebieden heen getrokken met een gemiddeld hoge warmtevraag. Ze komen niet overeen met gemeentes.

<sup>3</sup> De cirkels geven kansen voor geothermie weer, maar dat betekent niet dat geothermie buiten deze cirkels nergens interessant is.



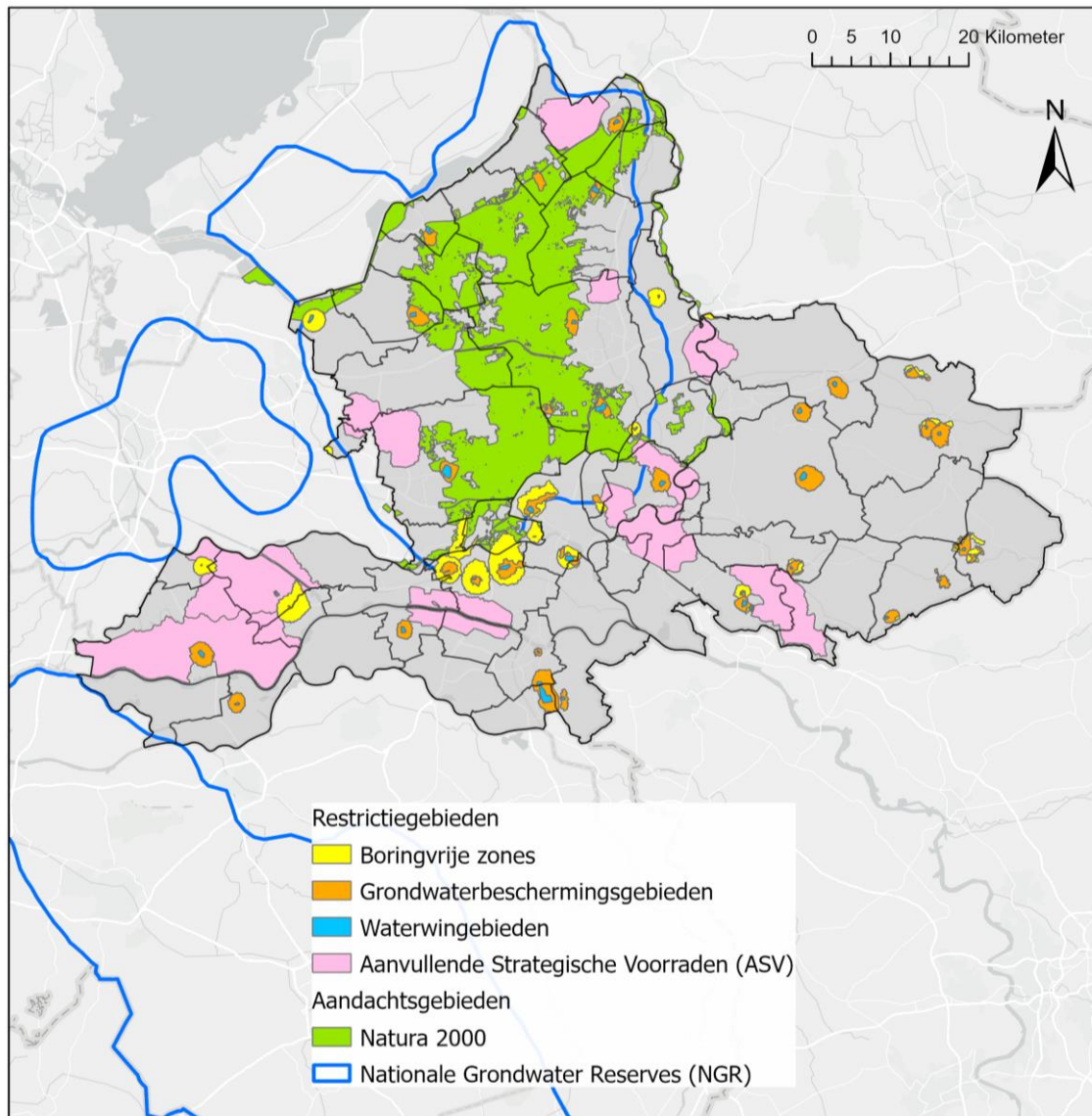
- niet overal is de temperatuur hoog genoeg voor directe invulling van de warmtevraag. In lokale haalbaarheidsstudies moet gekeken worden hoe geothermie in een warmtenet kan worden gebruikt en of de temperatuur moet worden verhoogd met een warmtepomp.

#### Wat zijn restricties en belemmeringen voor geothermie in Gelderland?

Aandacht is besteed aan restrictiegebieden (waar geothermie niet is toegestaan) en aandachtsgebieden (waar geothermie bemoeilijkt wordt). In afbeelding 0.4 zijn deze gebieden weergegeven:

- de aanwezigheid van boringvrije zones en andere aandachtsgebieden kan kansen voor geothermie bemoeilijken in onder andere Overbetuwe, Tiel, en Arnhem;
- aanvullende strategische voorraden bevinden zich onder een groot deel van de Betuwe, waar ook kansen voor diepe geothermie uit de Rotliegend en Schieland Formaties zijn. Deze lagen vormen een 'restrictie tenzij', en de maatschappelijke baten van een geothermie-project hier moeten duidelijk zijn;
- een groot deel van Gelderland (Renkum, Veluwe en Randmeren) bevindt zich onder nationale grondwaterreserves. Dit is echter geen restrictie voor geothermie aangezien nationale grondwaterreserves geen beschermingsregime hebben in Gelderland.

Afbeelding 0.4 Restrictie- en aandachtsgebieden in Gelderland.



### Zijn er al directe projectmogelijkheden?

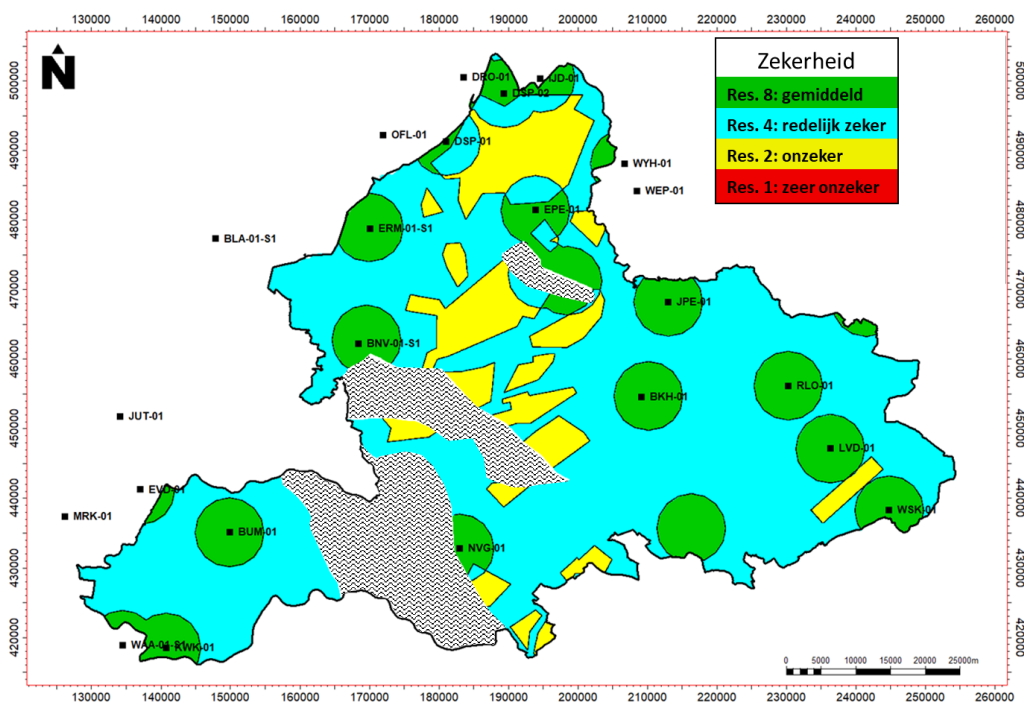
De uitkomsten van dit onderzoek kunnen worden gebruikt voor het meewegen van geothermie in de lokale plannen voor verduurzaming. Daarnaast bieden de resultaten ook al een aantal concrete handvaten voor mogelijke ontwikkelingen. Onderstaand een tweetal voorbeelden van lopende initiatieven in Gelderland, waar geothermie een (grotere) rol kan spelen:

- van de bestaande geothermieprojecten in Gelderland focust Aardwarmte in de Vallei (Renkum) zich hoofdzakelijk op ultradiepe geothermie uit het Dinantiën, en Aardwarmte Nijmegen op diepe geothermie uit het Rotliegend. In beide gebieden is een goede potentie van diepe geothermie uit het Rotliegend aanwezig. Omdat de potentie van ultradiepe geothermie in Renkum mogelijk tegenvalt is het voor dit project zeer interessant om de inpassing van diepe geothermie in het project te onderzoeken. In Nijmegen worden succeschansen van het project door de resultaten uit dit onderzoek onderstreept;
- het warmtenet van Vattenfall in Arnhem, Duiven en omgeving dat nu nog van warmte wordt voorzien door een afvalverwerkingscentrale in Duiven is onderwerp van verduurzamingsplannen. Uit dit onderzoek blijkt dat dit warmtenet goed van duurzame warmte uit diepe geothermie kan worden voorzien, mits doubletten worden ontwikkeld aan de zuidwestelijke kant van Arnhem. Hier is de potentie van het Rotliegend het gunstigst. Ook in Nijmegen en Ede zijn er warmtenetten die met warmte uit het Rotliegend zouden kunnen worden voorzien;
- in Zaltbommel zijn inmiddels opsporingsvergunningen verleend. De in dit rapport vastgestelde potentie uit het Schieland zou hier gebruikt kunnen worden om de glastuinbouw van warmte te voorzien.

### Wat kunnen gemeentes nu doen?

Allereerst kunnen deze onderzoeksresultaten gemeentes helpen om Transitievisies Warmte aan te vullen met gegevens van de geothermische potentie. Daarnaast kan dit onderzoek gemeentes helpen bij het identificeren van kansen. Niet overal kunnen deze kansen direct ontwikkeld worden. In sommige gevallen is de datadekking in Gelderland nog onvoldoende om zeker te zijn van de potentie voor geothermie. In deze gevallen zijn extra data nodig, vooral seismische informatie. Afbeelding 0.5 laat aan de hand van kleuren zien waar betrouwbare data als gevolg van een goede data spreiding aanwezig is (groen). In de gele gebieden zal vermoedelijk meer data moet worden verkregen om een geothermieproject te realiseren.

Afbeelding 0.5 Zekerheid van de resultaten van dit onderzoek. Grijze golfjes betekenen afwezigheid van het Rotliegend.

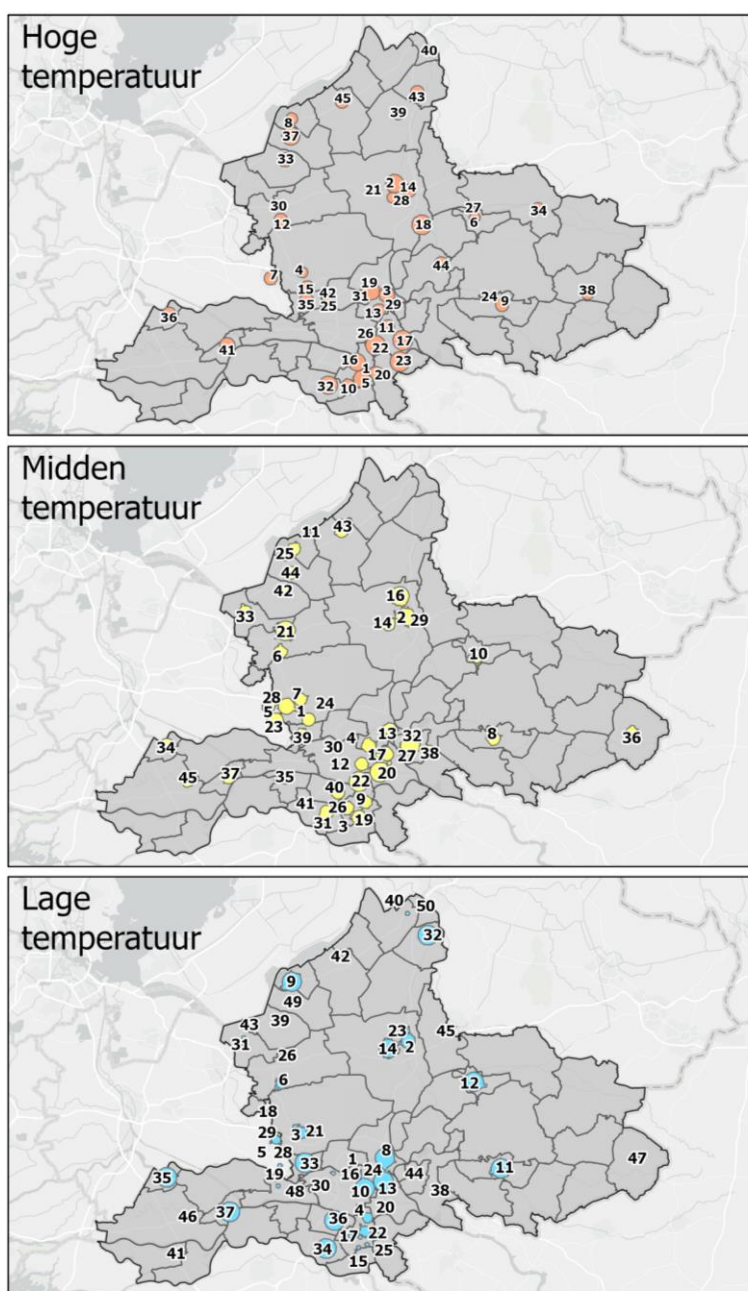


### Conclusies van dit onderzoek

De resultaten van dit onderzoek zijn gebundeld in een publieksrapportage (voorliggend), een technische rapportage waarin uitgangspunten zijn beschreven, en een GIS-dataset. Deze GIS-dataset kan door gemeentes en lokale stakeholders worden gebruikt om de resultaten uit dit onderzoek in een lokale context worden toegepast. Met deze kaarten kunnen de kansen voor geothermie in Gelderland in beeld worden gebracht. Door het aanbod te combineren met gegevens van de warmtevraag kan inzicht worden opgedaan waar geothermie bij uitstek geschikt is voor het invullen van de warmtevraag.

Voor de warmtevraagclusters: gebieden waar de aanwezigheid van geothermie tot kansen kan leiden, zijn de resultaten ook in tabelvorm bij dit rapport gevoegd. Hiervoor zijn de clusters op verschillende temperatuurniveaus separaat genummerd (afbeelding 6). In afbeelding 7 is een fragment van de in het rapport bijgevoegde tabel te zien. Aan de hand van de clusternummers wordt opgesomd wat de geothermische potentie en de warmtevraag is, en in hoeverre de warmtevraag kan worden ingevuld door geothermie.

Afbeelding 0.6 Nummering van de warmtevraagclusters zoals deze in de resultatentabel in dit onderzoek wordt aangehouden





Tabel 0.1 Deel van tabel met resultaten van dit onderzoek voor de warmtevraagclusters (in dit geval voor hoge temperatuur).

| Clusternummer | Gemeente  | Oppervlakte (ha) | Warmtevraag (TJ/jaar) | Geothermische potentie TJ/jaar Low Case | Geothermische potentie TJ/jaar Mid Case | Geothermische potentie TJ/jaar High Case |
|---------------|-----------|------------------|-----------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|
| 1             | Nijmegen  | 69               | 239,3                 | 648,4                                   | 1093,0                                  | 1824,7                                   |
| 2             | Apeldoorn | 1259             | 876,4                 | 0,2                                     | 1,0                                     | 147,2                                    |
| 3             | Arnhem    | 905              | 886,8                 | 104,0                                   | 319,0                                   | 700,0                                    |
| 4             | Ede       | 430              | 307,6                 | 1082,7                                  | 2311,7                                  | 3336,3                                   |
| 5             | Nijmegen  | 1024             | 890,5                 | 663,9                                   | 1008,3                                  | 1717,6                                   |
| 6             | Zutphen   | 430              | 355,1                 | 0,1                                     | 0,5                                     | 70,1                                     |
| ...           | ...       | ...              | ...                   | ...                                     | ...                                     | ...                                      |

## INLEIDING

### 1.1 Aanleiding

Nederland heeft in het regeerakkoord vastgelegd dat per 2030 de CO<sub>2</sub>-uitstoot moet zijn verminderd met 55 % ten opzichte van 1990. Dit vergt een zware inspanning in verschillende sectoren, waaronder de gebouwde omgeving en de industrie. Om de vraag naar warm water voor ruimteverwarming en warm tapwater te verduurzamen zijn alle beschikbare warmtebronnen nodig. Geothermie is door haar hoge temperaturen en vrijwel constante aanbod een voorname kandidaat om de basislast in de gebouwde omgeving, en zelfs enkele industriële processen te verduurzamen. Geothermie als bron is kapitaalintensief, maar één bron kan al snel een groot aantal gebouwen van warmte voorzien. Net als de ondergrondse potentie van is de bovengrondse warmtevraag bepalend voor de haalbaarheid van geothermie. In tegenstelling tot andere vormen van omgevingswarmte zoals warmte uit oppervlaktewater of warmte uit de buitenlucht is geothermie dan ook vaak gemeente-overstijgend van aard. Daarom pakken provincies (i.e. Utrecht en nu ook Gelderland) en grootstedelijke regio's (i.e. Metropoolregio Amsterdam) in Nederland een leidende rol bij het in kaart brengen van het ondergrondse warmte-aanbod.

Geothermische projecten gaan bij afwezigheid van een goed beeld van de ondergrond gepaard met aanzienlijke risico's. Seismische data en informatie uit testboringen zijn namelijk nodig voor het in kaart brengen van de ondergrond, en deze data is niet overal in Nederland voldoende dekkend. Door de relatief hoge kosten van een geothermische boring omvatten geothermie-projecten hogere financiële risico's dan projecten in de olie- en gassector. Meer en betere gegevens van de ondergrond zijn dan ook nodig om zorgen bij investeerders in geothermie-projecten weg te nemen. De Seismische Campagne Aardwarmte Nederland (SCAN) is een initiatief van Energie Beheer Nederland (EBN) en TNO waarbij nieuwe seismische data in Nederland wordt verzameld. Ook worden in dit programma bestaande datasets herbewerkt (gereprocessed) en opnieuw geïnterpreteerd. Sinds 2019 zijn er vanuit SCAN omvangrijke nieuwe datasets van de ondergrond in Gelderland bijgekomen: een goede aanleiding voor de provincie Gelderland om werk te maken van een provincie-breed onderzoek naar de kansen en potentie van geothermie.

### 1.2 Doel

Het doel van dit onderzoek is het leveren van een betrouwbare dataset van het warmteaanbod uit de ondergrond, waarmee gemeentes in Gelderland aan de slag kunnen gaan om de uitwerking van de warmtetransitie nader vorm te geven. Het onderzoek biedt lokale overheden achtergrondkennis die kan worden ingezet bij de afweging voor het wel of niet implementeren van geothermie als bouwsteen binnen de warmtetransitie.

Om bovenstaande doelstelling te behalen hebben PanTerra en Witteveen+Bos in voorliggend onderzoek de kennis van de diepe ondergrond in Gelderland geactualiseerd. Hierbij zijn bestaande boringen/putten opnieuw geanalyseerd, en zijn er nieuwe interpretaties gedaan van bestaande seismische lijnen met gebruikmaking van reeds bestaande interpretaties van TNO. Ten slotte zijn de onlangs nieuw verschenen seismische datasets uit het SCAN-programma voor het eerst geïnterpreteerd. De resultaten van deze interpretaties zijn gebruikt om kaarten te maken van de belangrijkste aardlagen in Gelderland die voor geothermie kunnen worden gebruikt. Met deze kaarten kunnen de kansen voor geothermie in Gelderland in

beeld worden gebracht. Door het aanbod te combineren met gegevens van de warmtevraag kan inzicht worden opgedaan waar geothermie bij uitstek geschikt is voor het invullen van de warmtevraag.

### 1.3 Proces

Dit project is uitgevoerd in de periode van Q3 2021 tot en met Q1 2022. Om tot gedragen resultaten te komen is gedurende deze periode meermaals samengewerkt met een begeleidingsgroep bestaande uit geologen en energiespecialisten van EBN, TNO, en de provincie Gelderland. Door middel van zes overleggen met deze begeleidingsgroep tijdens kritieke mijlpalen in het onderzoek is het projectteam van feedback voorzien en is de kwaliteit van de resultaten geborgd. Nadat de analyses van de ondergrondse energiepotentie en de warmtevraag in Gelderland zijn afgerond, is gekeken naar geschikte manieren om deze informatie te visualiseren. Omdat gemeentes als een van de belangrijkste gebruikers van het eindproduct worden gezien is een klankbordgroep gericht op de eindgebruiker bestaande uit vertegenwoordigers van gemeentes en RES-regio's in het leven geroepen. Prototypes van potentiekaarten zijn tijdens een overleg met de klankbordgroep beoordeeld. Op basis van de feedback uit deze sessie zijn de potentiekaarten die in dit rapport zijn opgenomen tot stand gekomen.<sup>1</sup>

De uiteindelijke resultaten waar deze samenwerkingen toe hebben geleid zijn als volgt:

- 1 een publieksrapportage (voorliggend document), waarin de belangrijkste bevindingen van dit onderzoek zijn toegelicht;
- 2 een technische rapportage met alle technische uitgangspunten die voor het genereren van de resultaten zijn gebruikt;
- 3 een serie ondergrondse potentiekaarten aardwarmte voor het grondgebied van de provincie Gelderland, in dit rapport deels als bijlage toegevoegd;
- 4 een dataset met kaartlagen in GIS-format waarin de tussen- en eindresultaten (geologische eigenschappen en warmtevraag) van dit onderzoek zijn verwerkt. Deze bestanden zijn te gebruiken door gemeentes en worden door de provincie toegankelijk gemaakt via een portal, gekoppeld aan de warmteatlas;
- 5 een technisch Petrel-project dat geleverd wordt aan TNO en EBN voor verdere toepassing en gebruik in landelijke databases.

### 1.4 Leeswijzer

Dit rapport is de publieksrapportage, en is bedoeld voor bestuurders, ambtenaren en warmtebedrijven die beroepshalve met de warmtetransitie bezig zijn maar niet over specialistische kennis van de ondergrond beschikken. In dit rapport wordt dan ook niet de volledige technische onderbouwing van het onderzoek beschreven, maar de belangrijkste resultaten van het geologische onderzoek en de geothermische berekeningen, en hoe deze kunnen worden gebruikt voor het invullen van de (gemeentelijke) warmtetransitie.

- **hoofdstuk 2** bevat een korte introductie van het concept: geothermie, en de kernzaken die je moet weten om dit rapport te kunnen lezen;
- **hoofdstuk 3** bevat een beschrijving in vogelvlucht van de opbouw van de Gelderse ondergrond en onderbouwd waarom bepaalde lagen wel kansrijk zijn voor geothermie, en andere lagen niet. Aan het einde van hoofdstuk 2 is duidelijk gemaakt welke lagen verder zijn onderzocht in het seismisch en geologisch onderzoek;
- **hoofdstuk 4** omschrijft de warmtevraag in Gelderland op verschillende temperatuurniveaus. In dit hoofdstuk wordt onderbouwd waarom bepaalde keuzes zijn gemaakt bij het in kaart brengen van de warmtevraag en vanaf welk moment de warmtevraag interessant is voor gebruik van geothermie. De lezer wordt voorbereid op de potentiekaarten waarin de warmtevraag en aanbod zijn samengebracht en waarin de belangrijkste kansen voor geothermie in Gelderland waarneembaar zijn;

---

<sup>1</sup> De brief in bijlage VII geeft aan hoe de feedback van de klankbordgroep is gebruikt voor het verbeteren van de projectresultaten.

- **hoofdstuk 5** beschrijft enerzijds de vermogenskaarten: het berekende geothermische aanbod vanuit de ondergrond en anderzijds de kansenkaarten: de koppeling hiervan met de warmtevraag, en de belangrijkste conclusies die hieruit kunnen worden onttrokken;
- **hoofdstuk 6** licht de restricties vanuit milieu, leefomgeving, of wet- en regelgeving toe die er toe kunnen leiden dat de potentie vanuit de ondergrond niet zou kunnen worden benut;
- **hoofdstuk 7** omschrijft de belangrijkste conclusies uit dit onderzoek en beantwoordt de vraag: 'Wat moet er nu gebeuren om kansen voor geothermie die worden beschreven in dit rapport te benutten bij de opgave van de warmtetransitie'?

# 2

## GEOTHERMIE: EEN INTRODUCTIE

### 2.1 Wat is geothermie?

Geothermie is het gebruik van aardwarmte voor het verwarmen van woningen en utiliteitsgebouwen, het leveren van warm tapwater en warmte voor industriële processen. De warmte wordt gewonnen door het omhoog pompen van heet water uit ondergrondse gesteentelagen. De warmte van het opgepompte water wordt bovengronds gebruikt om warmte over te dragen aan een warmtenet. Het afgekoelde water wordt vervolgens terug de gesteentelaag in gepompt. Voor het winnen van aardwarmte is een dubbele put nodig: een **doublet**. Via de ene put wordt het grondwater naar het oppervlakte gepompt, via de andere put wordt hetzelfde grondwater terug in de aardlaag geïnjecteerd. Een warmtesysteem met geothermie kan bestaan uit meerdere doubletten. Aardwarmte kan niet overal worden gewonnen: sommige aardlagen lenen zich hier beter voor dan anderen. Deze aardlagen noemen wij **reservoirs**.

---

#### Risico's van geothermie

Geothermie is niet zonder risico's. De belangrijkste risico's zijn:

- 1 technische risico's, waardoor de kosten van boringen oplopen en de businesscase wordt ondermijnen. Ook kan de uiteindelijke warmteonttrekking tegenvallen, waardoor niet kan worden voldaan aan de warmtevraag zonder extra opwaardering;
- 2 trillingen en kleinschalige aardbevingen. Er is al veel onderzoek verricht naar mogelijke trillingen in de ondergrond die zouden kunnen ontstaan door het produceren en injecteren van water in de buurt van breuken. De risico's door trillingen lijken klein voor de reservoirs in Gelderland;
- 3 aantasting/beïnvloeding van andere functies uit de ondergrond, zoals drinkwaterreserves. Deze zorgen zijn op de meeste vlakken niet anders dan bij WKO's en bodemlussen: systemen die in Gelderland al veelvuldig worden toegepast.

Het is niet in de scope van dit onderzoek om een uitgebreide analyse van de risico's vanuit de ondergrond te geven. Om meer te weten te komen over het werk dat is gedaan op het gebied van risico's van geothermie verwijzen wij door naar de website: <https://allesoveraardwarmte.nl/veiligheid/> die door EBN wordt beheerd.

---

### 2.2 Reservoirkwaliteit

Reservoirs zijn vrijwel altijd zandige aardlagen waar water goed door heen kan stromen, zodat het gemakkelijk is om grondwater uit de aardlaag naar het oppervlakte pompen. Maar reservoirs kunnen daarnaast eigenschappen hebben die het ene reservoir beter maken dan het andere. Goede reservoirs hebben een **hoge reservoirkwaliteit**, slechte reservoirs hebben een **lage reservoirkwaliteit**. Er zijn vier factoren die bepalend zijn om een geslaagd geothermisch doublet te kunne boren:

- het reservoir moet aanwezig zijn (niet overal zijn geschikte gesteentelagen aanwezig);
- begravingsdiepte van het reservoir;
- gesteente-eigenschappen van het reservoir;
- dikte van het reservoir.



### Begravingsdiepte van het reservoir

De begravingsdiepte van het reservoir is de diepte onder de grond waar het reservoir zich op dit moment bevindt. Deze moet groot zijn, want hiermee is de temperatuur van het reservoir ook hoog. Met de diepte neemt de temperatuur van de aarde toe. In Gelderland wordt de temperatuur met elke 100 m ongeveer 3,1 °C warmer. Uitgaande van een starttemperatuur van 10 °C aan het oppervlak levert dit voor een reservoir op een diepte van 3.000 m een temperatuur op van 103 °C ( $30 \times 3,1 \text{ °C} + 10 \text{ °C}$ ). Maar ligt dit reservoir ergens anders op 1.500 m diepte, dan is de temperatuur 56 °C. Geothermie tot 1.500 m diep noemen wij ook wel **ondiepe geothermie**: dit is geschikt voor warmtesystemen vanaf 500 woningen met lage temperaturen. Geothermie tussen 1.500-4.000 m noemen wij **diepe geothermie**: dit is geschikt voor oudere bebouwing op grotere schaal (3.000-6.000 wooneenheden) dan ondiepe geothermie. Dieper dan 4.000 bevindt zich het domein van **ultradiepe geothermie**: geschikt voor de productie van stoom, bijvoorbeeld voor de industrie.

### Gesteente-eigenschappen van het reservoir

Hoe meer grondwater er in een aardlaag aanwezig kan zijn en hoe beter water door de aardlaag heen stroomt, hoe hoger de reservoirkwaliteit:

- de hoeveelheid grondwater die in een aardlaag aanwezig kan zijn wordt bepaald door de **porositeit**. Zandige gesteentelagen zijn veel meer geschikt voor geothermie dan kleiige lagen omdat deze een hogere porositeit hebben. Ook kalk kan interessant zijn, maar dan zijn er kleine breuken in het kalk nodig om het water te laten stromen. Meestal geldt dat hoe dieper een aardlaag zich bevindt, hoe meer het gesteente in elkaar wordt gedrukt en hoe lager de porositeit;
- het gemak waarmee water door een aardlaag kan stromen noemen wij de **doorlaatbaarheid** (ook wel permeabiliteit). De doorlaatbaarheid is niet hetzelfde als de porositeit, maar beiden zijn aan elkaar gelinkt. Dit betekent dat zandige gesteentelagen meestal ook een hogere doorlaatbaarheid hebben dan kleiige gesteentelagen, en dat diepere lagen meestal een lagere doorlaatbaarheid hebben dan ondiepe lagen. De doorlaatbaarheid van het gesteente varieert sterk per aardlaag en wordt aangegeven met de eenheid mD (milliDarcy). Een ondergrens voor geothermische toepassing wordt uit ervaring door PanTerra getrokken bij 40 mD. Lagere waarden betekenen dat een aardlaag doorgaans geen geschikt reservoir meer is voor standaard geothermie toepassing.

### Dikte van het reservoir

De dikte van een reservoir spreekt voor zich als factor voor de reservoirkwaliteit. Immers: hoe dikker een reservoir, hoe meer water hierin is opgeslagen, en hoe meer water uit het reservoir kan worden onttrokken.

## 2.3 Hoe wordt een geothermische potentiëstudie uitgevoerd?

### Gebruik van data

Zoals in het vorige hoofdstuk aangegeven zijn voor dit onderzoek twee types data beschikbaar: seismische data (bestaande data van de olie en gas industrie en nieuwe data uit SCAN) en informatie uit testboringen. Deze datasets zijn gebruikt om de factoren voor de reservoirkwaliteit voor verschillende aardlagen in Gelderland te bepalen:

- de **begravingsdiepte** van elke aardlaag is bepaald aan de hand van zowel seismische data als data uit testboringen. Testboringen geven de exacte diepte van een laag aan op een bepaalde locatie. Met behulp van seismische data kan tussen deze locaties worden geïnterpoleerd. De temperatuur kan vervolgens aan de hand van een formule met behulp van de begravingsdiepte worden berekend;
- de **gesteente-eigenschappen** worden normaal gesproken aan de hand van gesteentemonsters uit boorkernen bepaald. Alleen porositeit kan ook worden gemeten door het maken van elektrische logs in een boorput. Er zijn in Gelderland weinig boorkernen beschikbaar, wel zijn er voldoende elektrische logs aanwezig. Alleen porositeit kon dus direct bepaald worden. Omdat doorlaatbaarheid gelinkt is aan porositeit, is in dit onderzoek de doorlaatbaarheid bepaald met een formule aan de hand van de porositeit. Er zijn zeer weinig direct gegevens van de doorlaatbaarheid. Hierdoor heeft deze waarde een grote onzekerheid;
- de **dikte** van elke aardlaag kon zeer goed uit de testboringen worden gehaald. De diepte kan door verschuivingen langs breuken enorm variëren in Gelderland. De dikte varieert meer geleidelijk. Om die reden is de dikte alleen aan de hand van data uit de testboringen bepaald, en niet uit seismische data.

### Bepalen van de bandbreedte

Door middel van een formule kan aan de hand van de reservoir eigenschappen (onder andere: dikte, doorlaatbaarheid en temperatuur) worden berekend wat het vermogen voor geothermie uit een aardlaag is. De vermogensberekening is het belangrijkste resultaat van dit onderzoek. Omdat er in sommige reservoir eigenschappen grote onzekerheden zijn kan er ook een onzekerheid zijn in de berekeningen van het vermogen. Om deze redenen zijn in dit onderzoek meerdere berekeningen van het vermogen gedaan aan de hand van verschillende aannames. De resultaten bestaan uit een Low Case, Mid Case, en een High Case: oftewel de lage, de verwachte of hoge uitkomst. Wanneer niet expliciet vermeld, refereren wij in dit rapport naar de Mid Case.

# 3

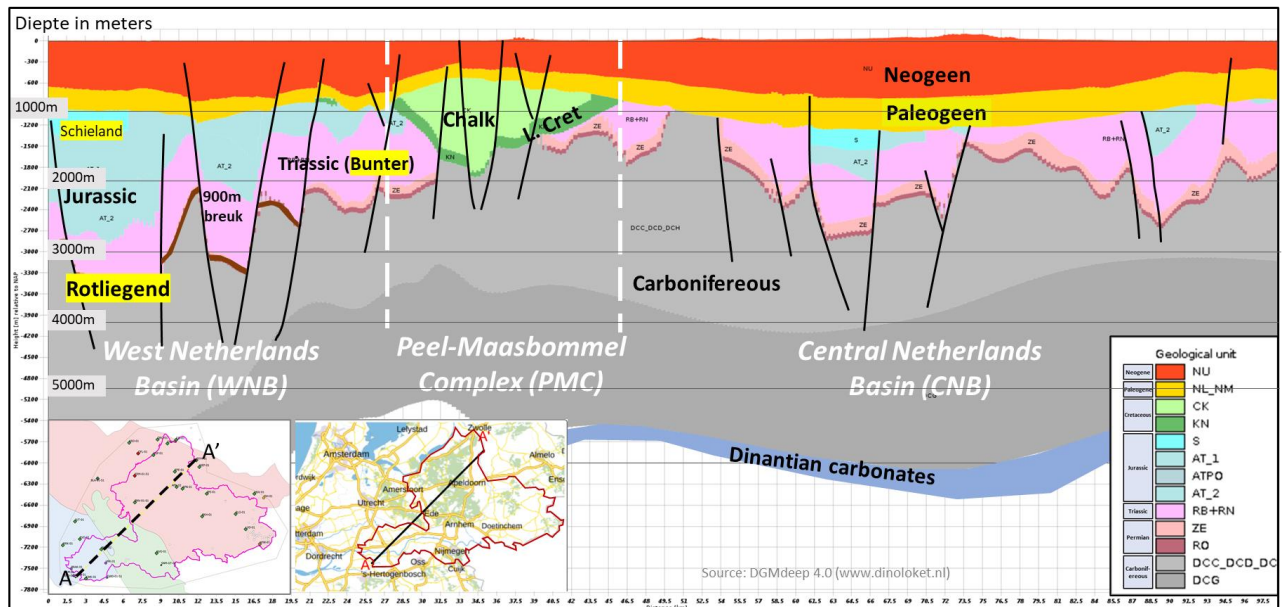
## DE DIEPE ONDERGROND VAN GELDERLAND

### 3.1 Opbouw ondergrond Gelderland

Gelderland heeft een lange geologische geschiedenis die 350 miljoen jaar teruggaat. In deze geschiedenis heeft de aarde onder Gelderland op verschillende plekken op de wereldbol gelegen en heeft het onder invloed gestaan van verschillende klimatologische omstandigheden (van tropisch tot koud en van droog tot nat). In deze periode zijn gebergtes ontstaan en door erosie weer afgebroken en is de ondergrond diverse keren bedekt geweest met zeeën. Deze lange geschiedenis is terug te vinden in de ondergrond van Gelderland.

Afbeelding 3.1 laat een doorsnede zien door de provincie van zuidwest naar noordoost. Direct valt op dat bepaalde lagen in delen van Gelderland aanwezig zijn, en op andere plekken weer niet. En er zijn enorme hoogteverschillen van een gesteentelaag van west naar oost. De hoogteverschillen ontstaan door beweging langs breuken (zwarte verticale lijnen in afbeelding 3.1) die in een ver geologisch verleden hebben plaatsgevonden.

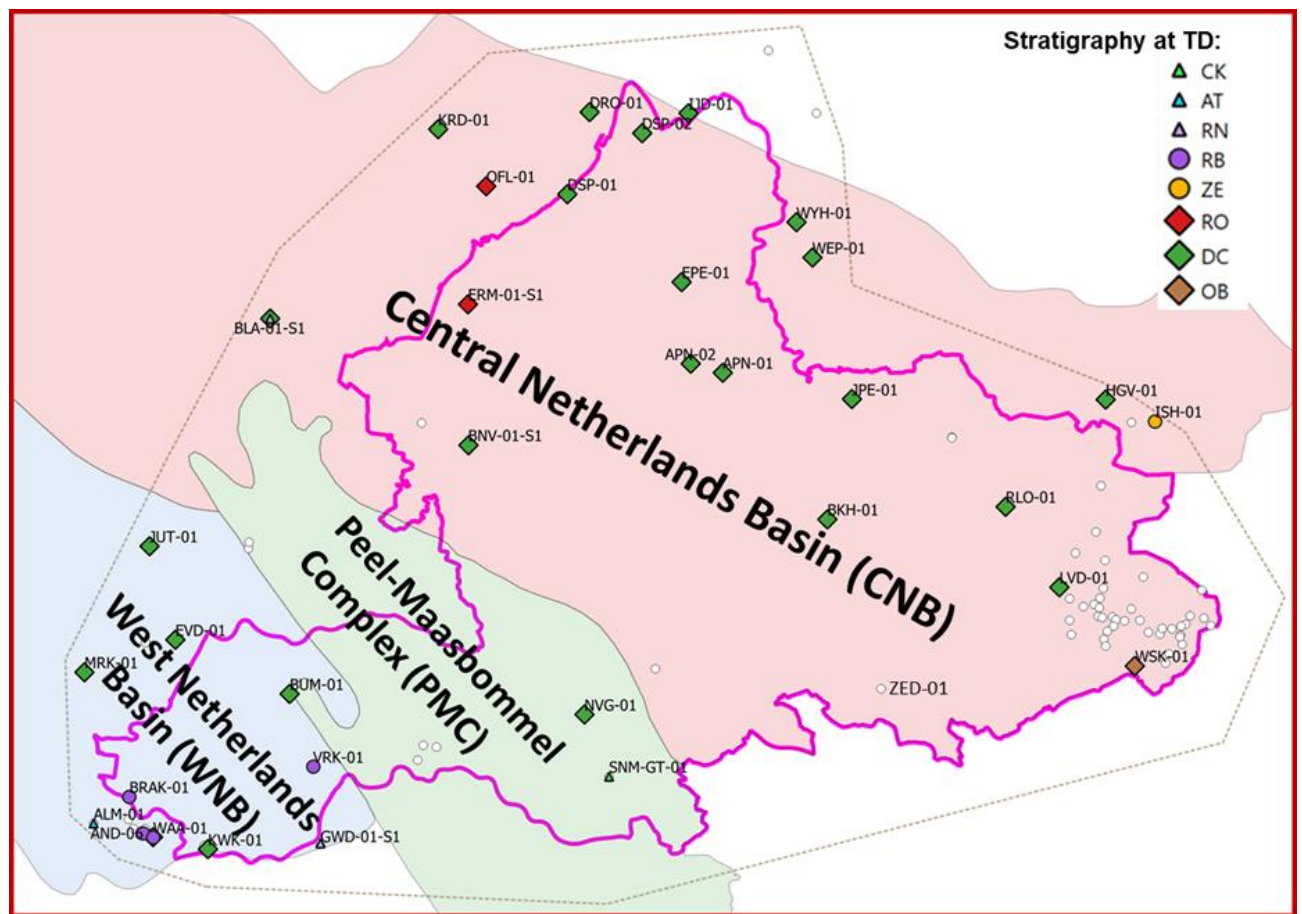
Afbeelding 3.1 Dwarsdoorsnede door de provincie van zuidwest naar noordoost (bron: NLOG DGMdiep 4.0). De horizontale rasterlijnen geven diepte aan per 1.000 m. Op de kaartjes linksonder is het traject van deze doorsnede door Gelderland te zien, en de geologische gebieden die de doorsnede doorkruist (afbeelding 2.2).



### Belangrijke geologische gebieden in Gelderland

Door al deze bewegingen langs breuken kan de provincie in drie geologische gebieden worden ingedeeld: het Peel-Maasbommel Complex (PMC), het West-Nederland Bekken (WNB) en het Centraal-Nederland Bekken (CNB) worden ingedeeld (weergegeven in afbeeldingen 3.1 en 3.2). Deze drie provincies hebben ieder hun eigen karakteristieken. Zo wordt het PMC gekarakteriseerd door de aanwezigheid van Krijtkalk (Chalk in afbeelding 3.1) en Onder Krijt (L. Cret in afbeelding 3.1). Het WNB wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van dikke pakketten Jura (Jurassic in afbeelding 3.1) en een diep Rotliegend waar deze op andere locaties minder diep is. Het CNB is uniek door de afwezigheid van Onder Krijt, een groot deel van de Jura, en een ondieper Rotliegend.

Afbeelding 3.2 De drie geologische gebieden in Gelderland. Deze kaart geeft ook een overzicht van de boorgegevens die zijn gebruikt in dit onderzoek. Stratigraphy at TD geeft aan welke laag aan de onderkant van een boring is geïdentificeerd<sup>1</sup>.



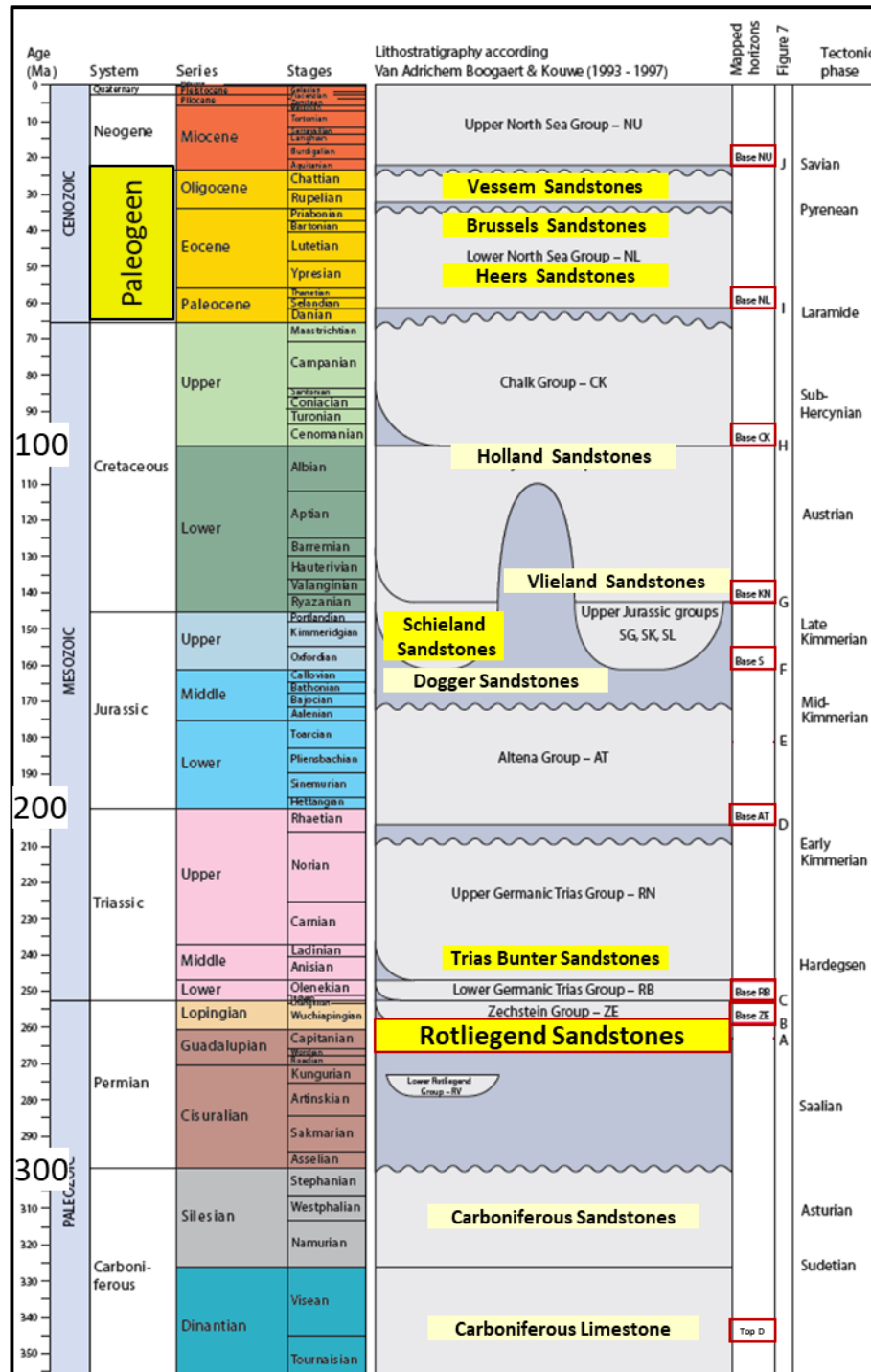
### 3.2 Geschiedte aardlagen

Om na te gaan welke aardlagen geschikt zijn voor onttrekking van aardwarmte is het noodzakelijk om nogmaals te duiken in de 350 miljoen jarige geologische geschiedenis van Gelderland. Gedurende deze periode zijn diverse aardlagen afgezet met een totale dikte van minstens 7.000 m (zie de diepteschaal in afbeelding 3.1). De samenstelling van deze aardlagen varieert van kleiig tot zandig. Er is ook sprake van kalklagen. Zoals uitgelegd in hoofdstuk 2 kijken wij voor geothermische toepassingen vooral naar zandige lagen.

<sup>1</sup> CK: Krijtkalk (Chalk in afbeelding 3.1), AT: Altena (komt niet veel voor in Gelderland), RN en RB: Trias (Triassic in afbeelding 3.1), ZE: Zechstein, RO: Rotliegend, DC en OB: Carboon (Carboniferous in afbeelding 3.1).

Afbeelding 3.3 toont de geologische tijdschaal met daarin aangegeven de lagen die eventueel geschikt zijn als bron voor geothermische toepassing. Dit zijn vooral zanden met als uitzondering de kalken van het diepe Dinantiën. Deze lagen zijn onderzocht met behulp van boorgegevens. De gasindustrie en de kolen- en zoutindustrie hebben in het verleden veel putten geboord, en op basis van deze boringen relevante gegevens verzameld. Een groot aantal van deze putgegevens is gebruikt in dit onderzoek om de kwaliteit van de reservoirs te evalueren (afbeelding 3.2).

Afbeelding 3.3 Versimpelde stratigrafische kolom voor Nederland. Aangegeven zijn de geïnterpreteerde seismische horizonnen (rood kader) en de mogelijke geothermische reservoirs (gele arcering) (gebaseerd op Kombrink, 2012).



### 3.3 Kansrijke reservoirs

De mogelijke reservoirs uit afbeelding 3.3 zijn nader bekeken. Allereerst is het van belang om de verspreiding van het reservoir in Gelderland te onderzoeken: dit geeft waar in Gelderland gebruik kan worden gemaakt van warmte uit een bepaald reservoir. Ten tweede zijn de reservoir eigenschappen bepaald aan de hand van de werkwijze beschreven in paragraaf 2.3.

#### Verspreiding reservoir

Onderstaande conclusies konden worden getrokken met betrekking tot de verspreiding van mogelijke reservoirs in afbeelding 3.3:

- de beste aardlaag in het **Carboon**, de Tubbergen Formatie, komt enkel voor ten oosten van Apeldoorn;
- het **Rotliegend** (bruine laag in afbeelding 3.1) komt in een groot deel van Gelderland voor. Alleen op het PMC is het Rotliegend afwezig door erosie, en op een kleiner gebied ten noordoosten hiervan. Het Rotliegend heeft dus een grote verspreiding over de provincie. In afbeelding 3.1 is ook te zien hoe het Rotliegend in diepte kan verschillen. In het zuidwesten ligt het Rotliegend vaak op meer dan 3.000 m diepte, terwijl in het oosten de diepte schommelt tussen de 1.000 m tot 2.500 m;
- ook de verschillende aardlagen in het **Trias** hebben zijn wijd verspreid in Gelderland, bijna zo groot als het Rotliegend;
- uit de doorsnede van afbeelding 3.1 blijkt dat het **Schieland** (lichtblauwe laag aan de linkerkant van profiel) alleen in het zuidwesten van Gelderland, in de Betuwe, voorkomt. In de rest van Gelderland is deze laag er niet en heeft dus geen potentieel, behalve in een klein stukje in het CNB. In dit gebied ontbreken echter putgegevens en is de reservoir kwaliteit zeer waarschijnlijk niet gunstig;
- voor de ondiepe aardlagen van het **Paleogeen of Tertiair** (L. Noordzee en deel van de U. Noordzee in afbeelding 3.1, Heers, Brussel en Vessem in afbeelding 3.3) zijn grote verschillen in de verspreiding door de manier waarop het gesteente is afgezet. De verspreiding van deze reservoirs is zichtbaar gemaakt in bijlage II.

#### Begravingsdiepte van het reservoir

Op de dieptekaarten die gemaakt zijn voor elk reservoir kan het voorkomen van het reservoir worden bekeken: de diepte worden afgelezen aan de hand van de contouren en kleuren op de kaart (bijlage I voor **Rotliegend**, bijlage II voor de aardlagen van het **Paleogeen**, bijlage IV voor het **Dinantiën**). Als ondergrens voor de vermogens kaarten is een reservoir temperatuur gekozen van 50 °C.

#### Gesteente-eigenschappen van het reservoir

Onderstaande conclusies konden worden getrokken met betrekking tot doorlaatbaarheid van mogelijke reservoirs in afbeelding 3.3;

- vanwege de gas exploratie en productie is bekend dat het **Rotliegend** vaak een goede doorlaatbaarheid heeft, tenzij het dieper begraven heeft gelegen dan 2.500 m. Uit voorliggend onderzoek blijkt dat het Rotliegend op veel plekken zeer diep heeft gelegen, vooral in het WNB en het CNB. In het uiterste noordoosten van Gelderland en rond het Peel-Maasbommel Hoog heeft deze formatie, ook door de geologische geschiedenis heen, minder diep gelegen. Dit zijn de gebieden waar wij een betere doorlaatbaarheid kunnen verwachten;
- andere reservoirs, en dan met name de Tubbergen zandsteen (**Carboon**), en de Volprieausen en Rot Formaties (**Trias**) hebben een zeer slechte reservoir kwaliteit. Deze drie reservoirs hebben daarom vooralsnog geen geothermisch potentieel in de Mid Case;
- met betrekking tot het **Schieland** is beperkte informatie beschikbaar, want er zijn in het gebied waar deze laag voorkomt weinig putten door dit reservoir geboord. Voor de reservoir kwaliteit zijn gegevens gebruikt van modellen uit het westen van Nederland. Daardoor zit er een grote onzekerheid op voorspellingen van de reservoir kwaliteit van het Schieland;
- reservoirs van het **Paleogeen** hebben over het algemeen een goede doorlaatbaarheid. Vooral in het noordwesten bij de rand van het Veluwe meer kunnen hier zeer interessante vermogens verwacht worden (ThermoGIS, High Case), zie bijlage II.



### Dikte van het reservoir

De laatste belangrijke variabele voor de reservoirkwaliteit is de dikte van het reservoir. De dikte kan sterk variëren. Het Rotliegend is bijvoorbeeld dik in het noorden van Gelderland (> 100 m) maar wordt dunner naar het zuiden tot slechts 3 m<sup>1</sup>. Daarentegen hebben de reservoirs in het Trias een vrij uniforme dikte. De minimale dikte voor geothermische toepassing ligt rond de 30 m. Wordt het reservoir dunner dan zal het vermogen afnemen en wordt de levensduur van een doublet beperkt.

### 3.3.1 Conclusies

De uitgevoerde geologische analyses met behulp van de seismische data en putgegevens hebben tot onderstaande conclusies geleid. Alleen de geschikte reservoirs zijn meegenomen in de verdere geothermische berekeningen:

- uit de evaluatie van alle mogelijke reservoirs in Gelderland blijkt dat het **Rotliegend** de beste reservoirkwaliteit heeft. Het Rotliegend komt in grote delen van Gelderland in voldoende dikte voor, en is goed te interpoleren tussen de putten. Door diepe begraving in het verleden van delen van het Rotliegend, valt de doorlaatbaarheid in het CNB en het WNB tegen. Het is vooral het gebied aan de flanken van het PMC waar betere reservoirkwaliteit wordt verwacht<sup>2</sup>. Het ondiepere voorkomen rond het PMC en de mindere dikte naar het zuiden toe beperken echter het vermogen;
- de reservoirs in het **Trias** en het **Carboon** hebben een slechte doorlaatbaarheid. Omdat in het PMC een relatief goede reservoirkwaliteit is gevonden voor het Rotliegend, kan eenzelfde aanname worden gemaakt voor verbetering van de kwaliteit van de Trias reservoirs. Dit in verband met de gelijkwaardige begravingsgeschiedenis. Daarom is er in de Trias High Case een rand van betere doorlaatbaarheid gemodelleerd rond het PMC om deze kans op vermogen aan te geven;
- het **Schieland** komt voor langs een dunne rand aan de uiterste westelijke grens van de Betuwe. Het is niet duidelijk aan te geven in hoeverre het Schieland hier een goed reservoir is, omdat er weinig putgegevens beschikbaar zijn. Hier zijn aannames gedaan. Ook in het CNB is Schieland gekarteerd. Daarom wordt dit noordelijke voorkomen niet meegenomen in de potentiekaarten;
- er is een mogelijkheid dat de Vlieland Formatie (**Krijt**) gunstige reservoir eigenschappen heeft in Gelderland, omdat er in een beperkt gebied aan de noordoostelijke kant in het PMC een verdikking te zien is op seismische data. Dit gebied is echter door geen enkele put aangeboord, waardoor momenteel geen uitspraken kunnen worden gedaan over de haalbaarheid van geothermie uit deze laag;
- het **Paleogeen** heeft een aantal geschikte zandlagen waaruit water gewonnen kan worden. De temperatuur is over het algemeen lager dan 50 °C. Er zullen bij deze lage temperaturen dus warmtepompen nodig zijn om de geproduceerde warmte geschikt te maken voor warmtevoorziening aan bestaande bouw. In het noordwesten van Gelderland worden aan de basis van het Paleogeen grotere dieptes bereikt van meer dan 1.000 m, waardoor de temperatuur kan oplopen tot boven 50 °C;
- in dit onderzoek is een seismische interpretatie gemaakt van de top **Dinantiën** door een tie<sup>3</sup> te maken in de Winterswijk-01 put, de enige put waar deze kalken op grote diepte zijn aangeboord. De interpretatie is opgelijnd met eerder werk van EBN en VITO. De seismische interpretatie is zeer onzeker en de dieptekaart heeft een grote foutmarge. In bijlage IV is een dieptekaart opgenomen van de top van het Dinantiën. Hieruit blijkt dat de kalken mogelijk relatief ondiep liggen in bijvoorbeeld de Achterhoek of in het Peel Maasbommel Hoog, waardoor het daar aantrekkelijk kan zijn om daar het Dinantiën aan te boren. Gezien de grote onzekerheid raden wij aan om hier een speciale studie naar te verrichten. Er is in deze studie geen interpretatie gemaakt van de reservoirkwaliteit van het Dinantiën maar uit de SCAN-studie van EBN kan gesteld worden dat er geen natuurlijke porositeit en doorlaatbaarheid wordt

---

<sup>1</sup> Gegevens uit de Winterswijk-01 put.

<sup>2</sup> Gegevens uit de Nijmegen-01 put. De reden dat de Nijmegen-01 put (gemarkeerd in de figuren) zoveel beter is dan in de andere 20+ bestudeerde putten is de geologische locatie van de put. Nijmegen-01 is de enige put die het Rotliegend heeft aangeboord in het PMC (groen gebied afbeelding 1). Dit gebied heeft een andere geologische begravingshistorie dan het West-Netherlands Bekken en het Central-Netherlands Bekken. EBN zal een SCAN put boren rond Zeist in het PMC om zo de verwachting voor betere reservoir kwaliteit te bevestigen.

<sup>3</sup> Koppeling tussen data uit een boorput, en seismische data.

verwacht in het Dinantiën en dat het gesteente dus verbreukt en/of gekarstificeerd<sup>1</sup> moet zijn om water te kunnen produceren. Dit is niet te interpreteren op de huidige seismische data en er zijn geen directe aanwijzingen gevonden voor de vorming van carbonaatplatformen: een vereiste voor een doorlaatbaar reservoir in kalken.

---

<sup>1</sup> Het vormen van holtes in kalken door reactie met zuren in grondwater of regenwater.

## WARMTEVRAAG IN GELDERLAND

### 4.1 Waarom de warmtevraag nog een keer in kaart brengen?

Bij de vraag in hoeverre geothermie kansen biedt voor de warmtetransitie is het zaak om naast het warmteaanbod tevens te kijken naar de warmtevraag. Hierbij ligt de focus op het in beeld brengen van locaties waar veel warmtevraag, en veel warmte-aanbod *technisch* leiden tot kansen voor geothermie. Het is aan de initiatiefnemers van een project om vervolgens ook aan te tonen dat een project financieel gunstiger is dan de alternatieven.

Om de technische kansen voor geothermie in beeld te brengen zijn er bepaalde voorwaarden waaraan de inschatting van de warmtevraag moet voldoen:

- 1 bestaande vraaganalyses die reeds door gemeentes worden gebruikt, moet zoveel mogelijk terugkomen in de inschatting van de warmtevraag in dit project. Dit om verwarring te voorkomen in situaties waar reeds plannen zijn gemaakt aan de hand van deze eerste vraaganalyses;
- 2 de eenheid van de warmtevraag moet overeenkomen met de weergave van het warmte-aanbod;
- 3 de weergave van de warmtevraag moet zinvol zijn gezien de technische randvoorwaarden van geothermie. Als geothermie bijvoorbeeld afhangt van de warmtevraag in grote gebieden, heeft het geen zin om als weergave te kiezen voor gebouw-specifieke data.

Er is een herziening van bestaande vraaganalyses nodig om tot een weergave van de warmtevraag te komen die volledig aansluit bij bovenstaande voorwaarden.

#### Gebruik van bestaande warmtevraag-analyses

Om te voldoen aan de eerste randvoorwaarde is met de provincie Gelderland gekeken naar de bruikbaarheid van bestaande projecties van de Gelderse warmtevraag:

- in een eerdere geothermische studie: WARM, zijn de kansen voor geothermie in Nederland ingeschat op basis van het aanbod, de vraag en een vergelijking met het financieel meest haalbare alternatief. Vanwege dit financiële aspect is in WARM gekozen om gebruik te maken van model-output van Vesta MAIS: een ruimtelijk energiemodel ontwikkeld door het Planbureau voor de Leefomgeving dat is bedoeld om op buurtniveau het meest kosteneffectieve energiesysteem door te rekenen. De input voor Vesta MAIS is de totale warmtevraag op buurtniveau op verschillende temperatuurniveaus voor ruimteverwarming. WARM is niet als basis voor dit onderzoek gebruikt omdat het berekenen van de potentie op buurtniveau geen rekening houdt met het feit dat de (financiële) voordelen van geothermie toenemen bij een schaalvergroting. Warmtesystemen op geothermie zijn al snel groter dan buurten. Door op buurtbasis een score te geven aan de inzetbaarheid van geothermie worden kansen op grotere schaalniveaus over het hoofd gezien. De WARM-data komt niet overeen met het derde uitgangspunt voor het gebruik van warmtevraagdata;
- in de Regionale Structuur Warmte van Gelderland is op gebouwniveau voor woningen, utiliteiten en kassen een inschatting gemaakt van de jaarlijkse warmtevraag in 2019, met een doorkijk naar 2030. Deze data is om de volgende redenen gebruikt voor het in beeld brengen van de technische kansen voor geothermie:
  - de Regionale Structuur Warmte is reeds beschikbaar voor gemeentes, en het gebruik van deze informatie hier zorgt voor consistentie in informatiegebruik in Gelderland;

- de berekeningen zijn gedaan in MJ/jaar. Dit is een format dat makkelijk samen te brengen is met de berekeningen voor het warmte-aanbod;
- de gebouwen zijn gelabeld naar temperatuurniveau: hoge temperatuur, midden temperatuur en lage temperatuur, dit komt overeen met de variatie in temperaturen binnen geothermie: van lage tot hoge temperatuur aardlagen;
- de dataset is fijnmaziger dan de WARM-dataset en kan daardoor makkelijker bewerkt worden voor de doeleinden van dit onderzoek.

Voor dit onderzoek is de data uit de Regionale Structuur aangevuld met de hoge temperatuur warmtevraag van 104 industriële warmtevragers.<sup>1</sup>

## 4.2 Wanneer is de warmtevraag geschikt voor geothermie?

### Strategie voor het verwerken van de warmtevraag

De aangevulde data uit de Regionale Structuur Warmte bevat de warmtevraag en de locatie van elk gebouw in Gelderland in 2019 en 2030, op basis van verwachte isolatiemaatregelen. Om de kansen voor geothermie te identificeren moet worden gekeken naar gebieden waar de warmtevraag een hoge dichtheid heeft. Voor dit onderzoek hebben wij hier de warmtevraag in 2019 als basis aangehouden, omdat de warmtevraag in 2019 is gebaseerd op verifieerbare data en de warmtevraag voor 2030 een functie betreft van de vraag uit 2019. Gebieden met verhoogde warmtevraag in 2019 komen dus overeen met gebieden met verhoogde warmtevraag in 2030:

Wij hebben de aangevulde data uit de Regionale Structuur verwerkt in drie stappen (afbeelding 4.1):

- 1 wij hebben warmtedichtheid kaarten gemaakt voor de warmtevraag op lage-, midden- en hoge temperatuur. Hierbij gelden de volgende temperatuurcategorieën:
  - lage temperatuur: 35-50 °C;
  - midden temperatuur: 50-70 °C;
  - hoge temperatuur: 70-90 °C.
 Warmtedichtheid kaarten zijn rasters waarbij de celgrootte één hectare is, en iedere cel een waarde heeft die overeenkomt met de optelsom van de warmtevraag van alle onderliggende gebouwen. Hoe hoger de waarde van een cel, hoe hoger de warmtedichtheid;
- 2 omdat warmtesystemen op basis van geothermie doorgaans omvangrijker zijn dan één hectare, was het zaak om clusters van cellen te vinden waar een verhoogde warmtedichtheid is, en waar dus veel warmte kan worden afgezet zonder dat hier veel leidingwerk nodig is. Met behulp van GIS-algoritmes konden deze clusters per temperatuurniveau worden geïdentificeerd. Het is belangrijk voor gemeentes om in acht te nemen dat de clusters die zijn geïdentificeerd niet de enige locaties zijn waar geothermie kansrijk is. Het doel van de clusters is om de aandacht te geven aan gebieden met verhoogde warmtevraag waar geothermie waarschijnlijk interessant is. Het staat de betrokken gemeentes vrij om op basis van de aanbodkaarten zelf een analyse te maken en na te gaan in hoeverre geothermie een kansrijke optie is. Ook staat het de gebruiker vrij om gebieden ander te clusteren als dat voor de realisatie beter uitkomt;
- 3 door het warmteaanbod onder deze clusters op te tellen kan worden vergeleken wat op jaarbasis het vraag en aanbod is in deze clusters, en in hoeverre de warmtevraag met geothermie is in te vullen. In hoofdstuk 5 wordt kort toegelicht hoe deze matching tot stand is gekomen.

Afbeelding 4.1 Schematische aanpak voor het verwerken van warmtevraag data in Gelderland.



<sup>1</sup> In afbeelding 5.7 worden de namen van een groot aantal industriële partijen in de kaart weergegeven.

### Geschiktheid van de warmtevraag

Om clusters te identificeren zijn aannames nodig over wanneer de warmtevraag wel geschikt is voor een warmtesysteem met geothermie, en wanneer niet. Allereerst is relevant hoe hoog de warmtedichtheid is: hoe hoger de warmtedichtheid in een gebied, hoe groter de kans dat het in aanmerking komt voor een cluster. Maar voor het tekenen van clusters zijn enkele andere uitgangspunten aan de orde:

- **het totaal aantal mogelijke clusters** is per temperatuurniveau ingeschat op basis van het verwachte aantal hoge-, midden- en lage temperatuur warmtenetten in Gelderland. Dit is bepaald op basis van de grootte van Gelderland, en het aantal warmtenetten in andere delen van Nederland;
- **de geografische verdeling van de clusters** is zo bepaald dat een provincie dekkend beeld ontstaat. De aantallen clusters voor de tien gemeentes met de grootste bevolkingen is kunstmatig vastgezet en hoger dan het aantal clusters in de omringende gemeentes;
- **de omvang van de clusters** is begrensd op basis van de grootte van bestaande warmtenetten in Nederland. Hierbij is voor lage temperatuur warmteclusters gekozen voor een lagere minimale omvang dan voor midden- en hoge temperatuur clusters;
- **de vorm van de clusters** is cirkelvormig. Dit maakt de vraag-aanbod kaarten beter leesbaar, en voorkomt dat door een hoog detailniveau in de vraag-aanbod kaarten de indruk wordt gewekt dat de clusterindeling definitief is.

### 4.3 Resultaten en conclusies voor Gelderland

Afbeelding 4.2 laat per temperatuurniveau de resultaten zien van de warmtevraagbewerking. De warmtedichtheid kaarten en clusters die op basis hiervan zijn gemaakt zijn beiden zichtbaar.<sup>1</sup> Voordat de resultaten verder worden besproken zijn twee zaken van belang:

- de warmtedichtheid kaarten zijn gebaseerd op data uit de Regionale Structuur Warmte, Gelderland en komen overheen met informatie die voorheen beschikbaar was voor gemeentes, met uitzondering van de gegevens van de procesindustrie, welke voor dit onderzoek verzameld en toegevoegd is. Deze nieuwe data zorgt voor minimale veranderingen in de dataset. Alleen in geval van het hoge temperatuurraster zijn een beperkte hoeveelheid aan cellen (maximaal 100) beïnvloed;
- de warmteclusters zijn gebaseerd op aannames (zie voorgaande paragraaf), welke nieuw zijn voor deze studie.

Gemeentes of andere belanghebbende partijen kunnen de warmtedichtheid kaarten of clusters gebruiken in vervolgonderzoeken. De warmtevraag-gegevens zijn hierbij consistent met die uit eerdere onderzoeken.

#### Resultaten en conclusies

In afbeelding 3.2 is een beeld van de warmtevraag in Gelderland gemaakt. De belangrijkste conclusies die uit deze kaartbeelden kunnen worden getrokken zijn als volgt:

- de warmtevraag toont patronen, waarbij er sprake is van een verhoogde dichtheid in stedelijke centra, gemiddelde tot lage dichtheid aan stadsranden en in dorpen, en weinig tot geen warmtevraag in rurale gebieden;
- de lage temperatuur warmtevraag concentreert zich in de nieuwbouwwijken aan stadsranden, en buiten steden. In stedelijke kernen domineert midden en hoge temperatuur warmte;
- industrie levert geen zichtbare bijdrage aan de hoge temperatuur kaart, omdat deze zich doorgaans in geïsoleerd gebieden bevindt, en de hoeveelheid industrie in Gelderland wegvalt tegen het grote aantal woningen en utiliteitsgebouwen;
- enkele gebieden waar een verhoogde dichtheid van de warmtevraag waarneembaar is (i.e. in de Betuwe, Achterhoek, en de regio rond Renkum) vallen niet onder een van de clusters. Dit betekent dat deze gebieden niet tot de meest kansrijke gebieden horen wat betreft de warmtedichtheid. Echter sluit dit geothermieprojecten in deze gebieden niet uit.

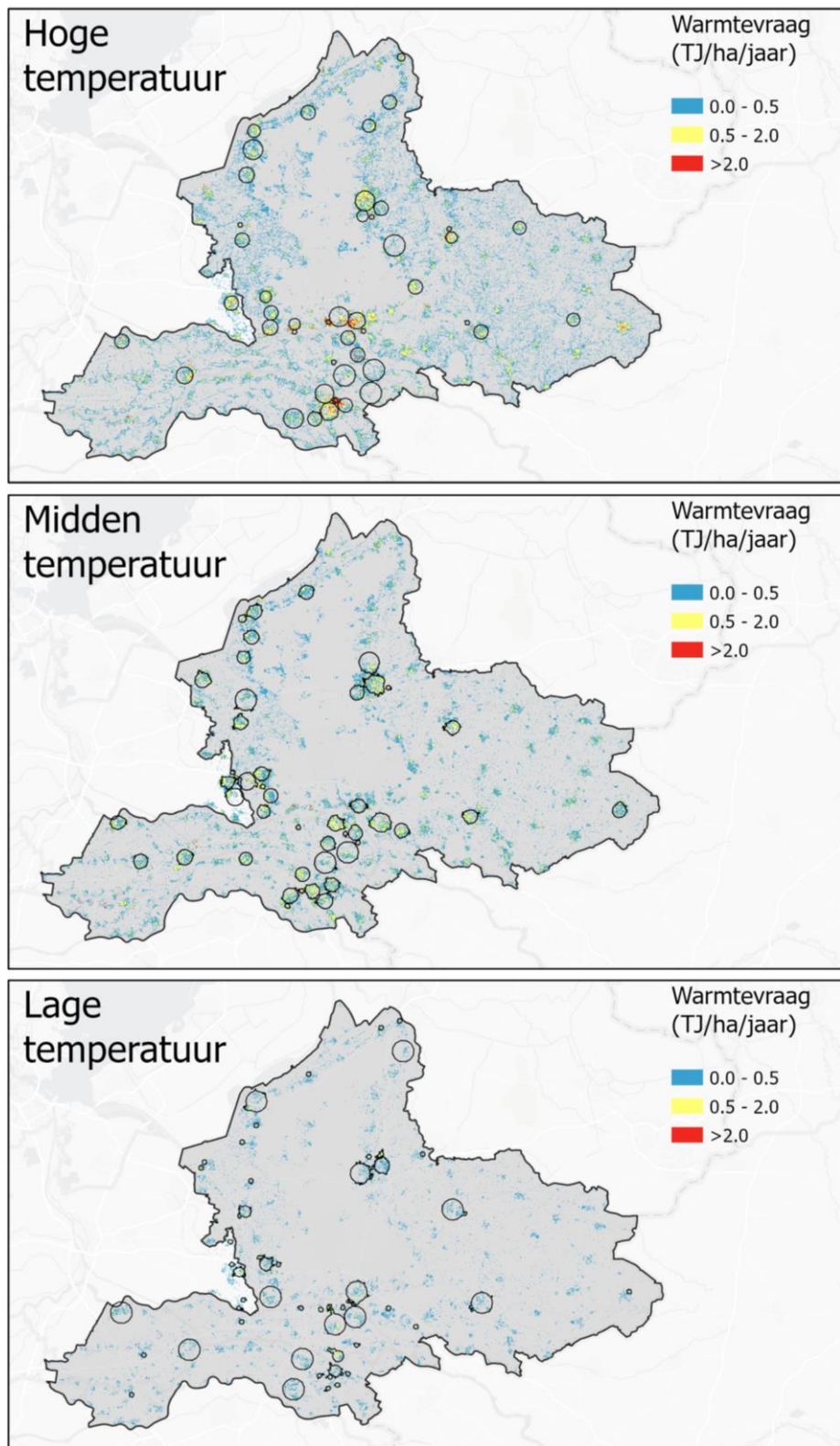
De achterliggende gegevens in afbeelding 4.2 zijn beschikbaar gemaakt voor gemeentes en andere belanghebbende partijen, zodat de data kan worden bestudeerd op een meer lokaal niveau. Ook kunnen

---

<sup>1</sup> De warmtevraag van de industrie is zichtbaar in een aparte weergave in afbeelding 5.7.

met de achterliggende gegevens nieuwe visualisaties worden gemaakt zoals samenvoegingen van de midden- en hoge temperatuur warmtevraag.

Afbeelding 4.2 Weergave van de warmtedichtheid in Gelderland, in Terajoule per hectare per jaar, inclusief warmtevraagclusters.





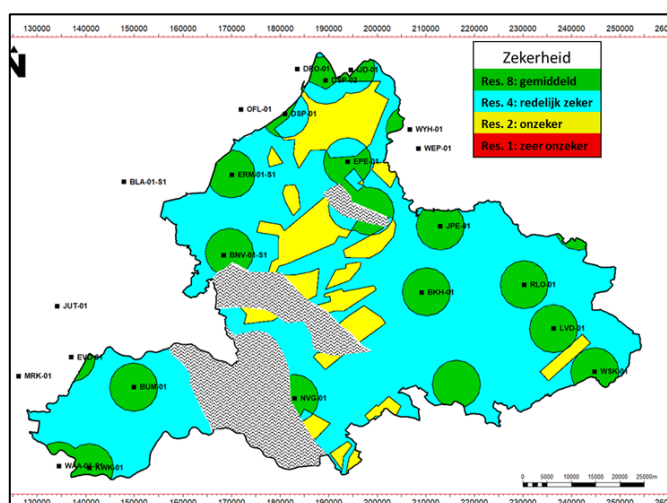
## POTENTIE VAN GEOTHERMIE IN GELDERLAND

### 5.1 Potentie uit de ondergrond

Uit het onderzoek is gebleken dat er op dit moment slechts vier reservoirs zijn die geothermisch interessant zijn: het Rotliegend, de Schieland, de Trias reservoirs, en de Paleogene Formaties. De kalken van het Dinantiën worden hier buiten beschouwing gelaten omdat er te weinig gegevens over bekend zijn. Wel is er een dieptekaart gemaakt die een inschatting geeft waar het Dinantiën aanbeoord zou kunnen worden. Het Paleogeen heeft potentiële reservoirs, maar hier zijn de temperaturen erg laag, tussen 20-55 °C, en zullen er in veel gevallen warmtepompen moeten worden gebruikt. Door de lagere temperaturen zijn vermogensberekeningen minder bruikbaar. Daarom zijn voor de reservoirs in het Paleogeen diepte, temperatuur en vermogenskaarten toegevoegd uit ThermoGIS (bijlage II).

De belangrijkste input voor de vermogensberekeningen bestaat uit drie variabelen: de temperatuur, dikte van het reservoir, en doorlaatbaarheid (permeabiliteit) van het reservoir.<sup>1</sup> De kaarten voor deze variabelen zijn voor het Rotliegend te vinden in bijlage I. De berekening van het geothermisch vermogen volgt dezelfde benadering als in DoubletCalc, waarbij van belang is dat er een aantal zaken versimpeld zijn zodat de kaarten op regionale schaal gemaakt kunnen worden en de resultaten met elkaar kunnen worden vergeleken.<sup>2</sup> Hierdoor zit er een grote onzekerheidsmarge op de resultaten en zal altijd detail onderzoek nodig zijn voor het plannen van een geothermie project. Om de resultaten met elkaar te kunnen vergelijken zijn ook een aantal aannames gemaakt ten opzichte van DoubletCalc die verder in bijlage III worden beschreven.

Afbeelding 5.1 Zekerheid van de resultaten van dit onderzoek in Gelderland



<sup>1</sup> Naast deze variabelen zijn ook de N/G-factor, saliniteit, en gegevens over het putontwerp van belang. Hiervoor zijn zo veel mogelijk standaardwaarden gebruikt. Exacte aannames staan beschreven in de technische rapportage en in bijlage III.

<sup>2</sup> Zo wordt een uniform putontwerp aangenomen op alle locaties van de berekening in Gelderland.

### Onzekerheden in de geothermische potentie

De geologische onzekerheden zijn groot, vooral wat betreft de doorlaatbaarheid van de reservoirs. Doordat de data niet overal in Gelderland evenveel dekking heeft zijn er gebieden waar de onzekerheid klein is, en waar de onzekerheid groot is. Dit is weergegeven in afbeelding 5.1. Om dit inzichtelijk te maken zijn voor twee inputvariabelen: doorlaatbaarheid en temperatuur een Mid Case, een Low Case en een High Case gemaakt. De dikte van het reservoir heeft een kleinere onzekerheid (vooral wat betreft het Rotliegend) zodat van de diktekaart alleen een Mid Case is gemaakt. Uit de Low, Mid en High Cases zijn vervolgens Low, Mid en High Case vermogenskaarten gemaakt.

## 5.1.1 Geothermische potentiekaarten

### Rotliegend

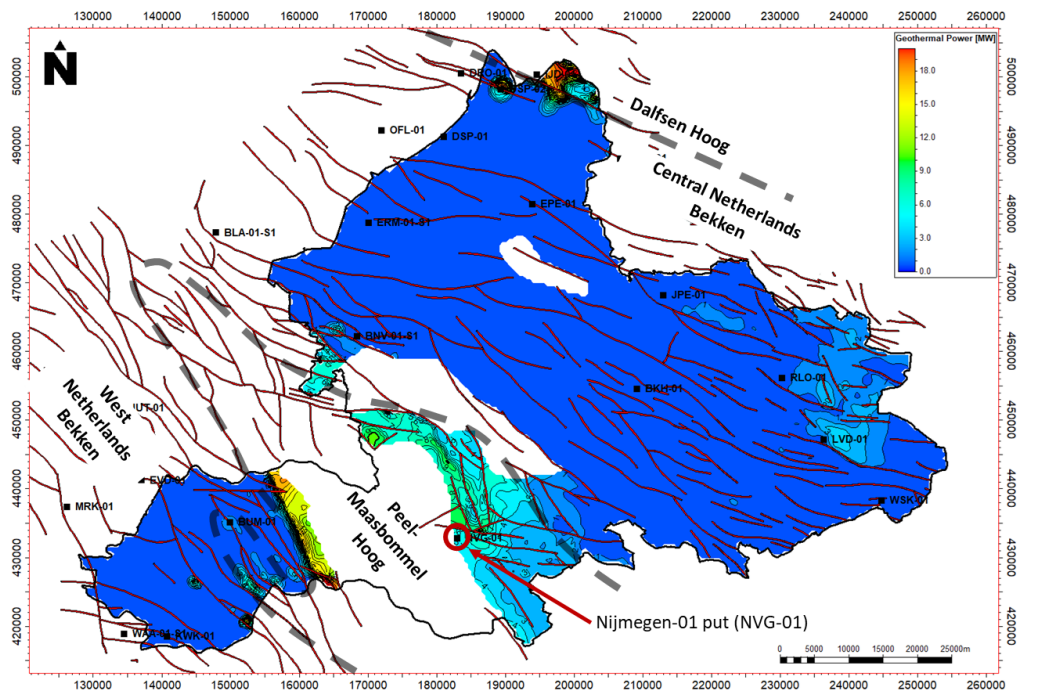
De belangrijkste vermogenskaart is die van het Rotliegend (afbeelding 5.1). Deze kaart geeft aan dat de hoogste potentie voor diepe geothermie gevonden kan worden rond het PMC.<sup>1</sup> Over het Rotliegend doen wij daarnaast de volgende observaties:

- aan de oostkant van het PMC zien wij dat de potentie beter is dan in de omliggende gebieden. Doordat het Rotliegend hier ondieper ligt, tussen de 1.000 m en 1.200 m (afbeelding 5.3), is de temperatuur hier lager: tussen de 45 tot 65 °C (afbeelding 5.4). Desalniettemin kunnen er goede vermogens worden gegenereerd van 5 tot 12 MW in de Mid Case, en tot wel 15 MW in de High Case (afbeelding 5.2). Hierbij is het noordelijke deel beter doordat het Rotliegend daar dikker wordt;
- aan de westelijke kant van het PMC wordt een betere reservoirkwaliteit in het Rotliegend verwacht dan aan de oostkant, ook al is het oppervlakte waar deze potentie kan worden behaald laag. De verwachting is dat hier hoger vermogens kunnen worden gehaald dan aan de oostkant van het PMC door de grotere diepte (1.800 m-2.200 m) en daardoor hogere temperatuur (60-80 °C);
- voor de rest van Gelderland is er weinig tot geen potentie wat betreft het Rotliegend. De vermogenskaart kleurt donkerblauw in zowel de Low als de High cases. Alleen in het uiterste noordoosten van Gelderland, rond Hattem, zijn weer hogere vermogens mogelijk. De geologische structuur op de rand van het bekken met het hoog is complex en er zal daar een gedegen structurele evaluatie moeten worden gemaakt voor geothermieplanning. In het zuidoosten, in de Achterhoek, ligt een gebied met wat hogere vermogens (4 MW tot 6 MW in de High Case), die lagere temperaturen van 40-50 °C kunnen leveren.

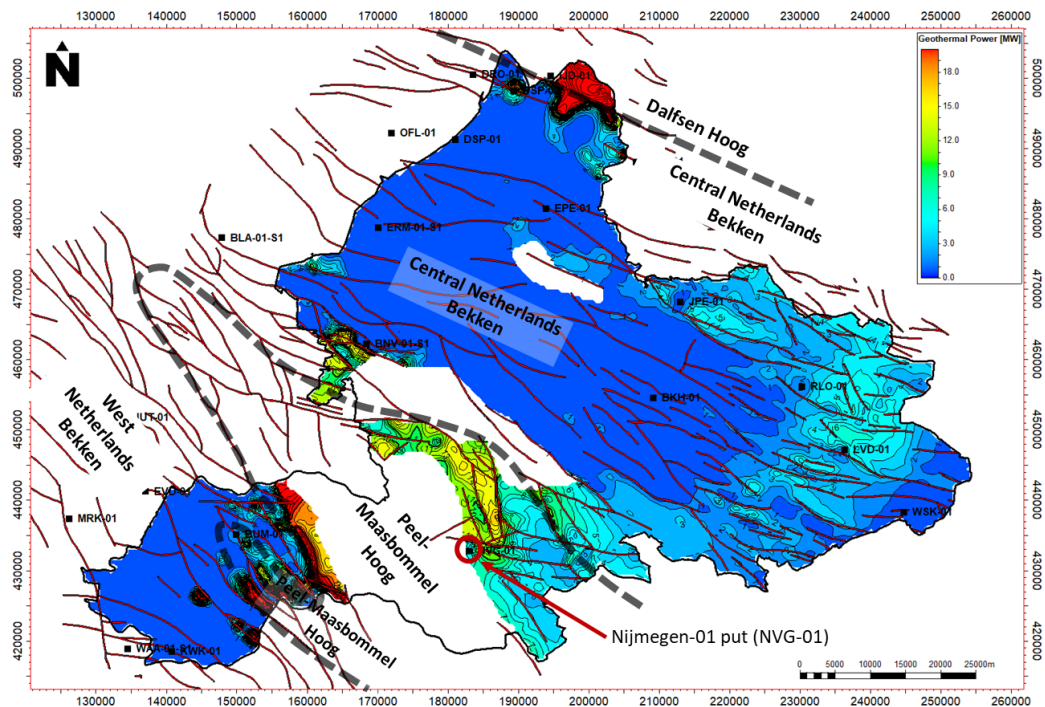
---

<sup>1</sup> Deze verwachting is gebaseerd op de gegevens zoals gevonden in de Nijmegen-01 put en het voor dit onderzoek ontwikkelde geologische begrotingsmodel.

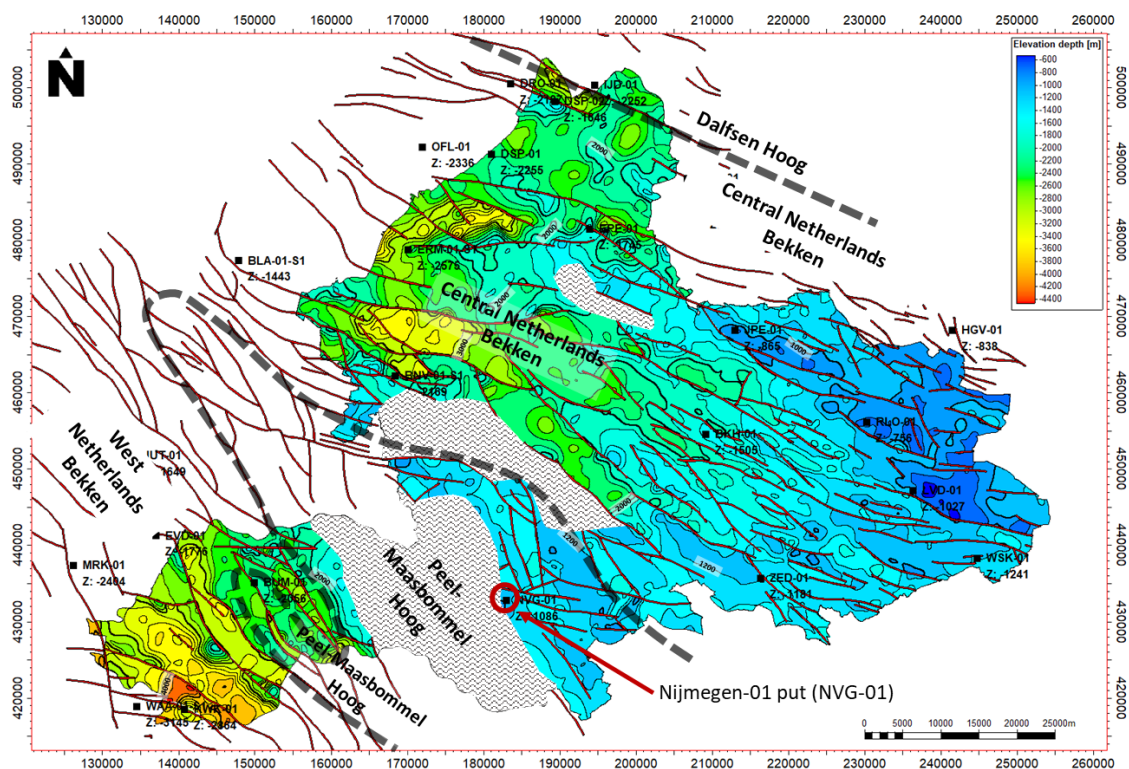
Afbeelding 5.1 De vermogenskaart van het Rotliegend. Lage vermogens zijn donker blauw. Lichtblauw en groen betekenen hogere vermogens. De hogere vermogens liggen in het PMC, en in het noorden op de grens van Gelderland op het Dalfsen Hoog



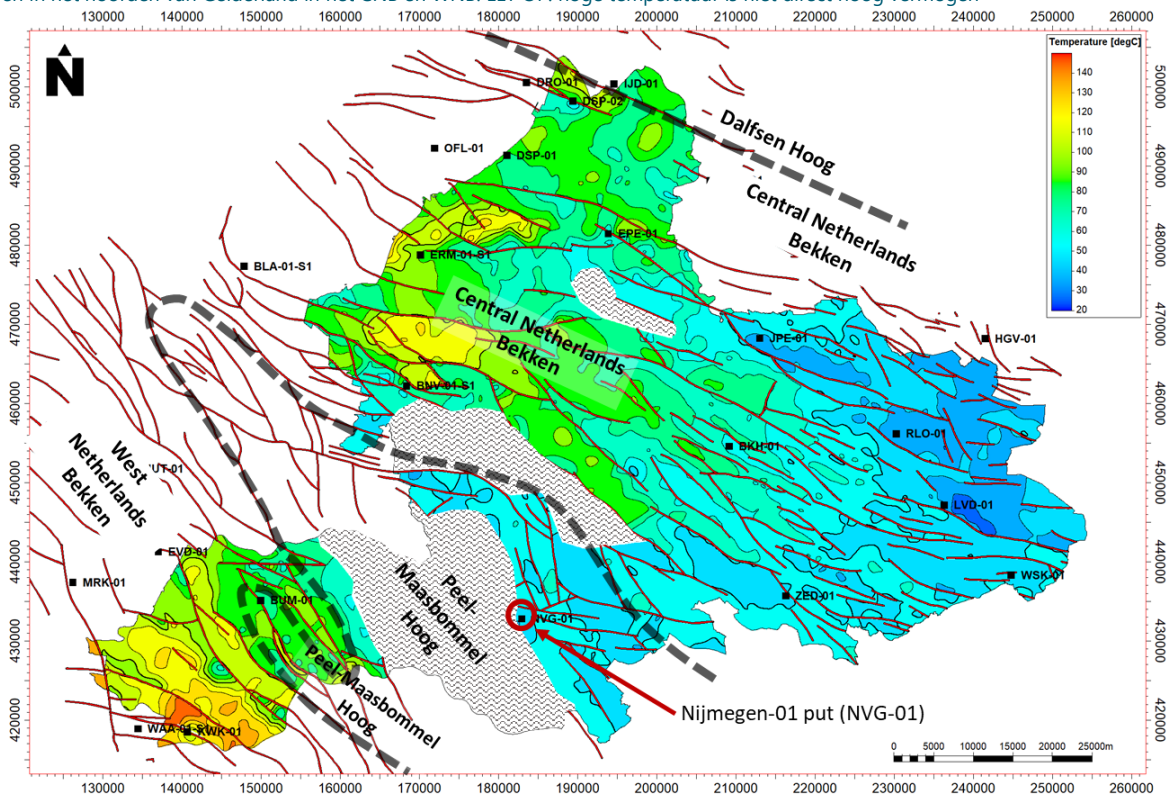
Afbeelding 5.2 De High Case vermogens kaart van het Rotliegend. Lage vermogens zijn donker blauw. Lichtblauw en groen betekenen hogere vermogens. De hogere vermogens liggen in het PMC, in het noorden op de grens van Gelderland op het Dalfsen Hoog, en in het zuiden van Gelderland. Hier wordt het Rotliegend wel dunner



Abbeelding 5.3 De diepte kaart van de top Rotliedend, contour interval 200 m. In het noordwesten van Gelderland ligt het Rotliedend dieper dan in het zuidoosten. In de gearceerde vlekken is het Rotliedend afwezig (geërodeerd)



Abbeelding 5.4 De temperatuurkaart van het Rotliedend toont hoge temperaturen van 100 °C en meer in het westen (de Betuwe) en in het noorden van Gelderland in het CNB en WNB. LET OP: hoge temperatuur is niet direct hoog vermogen





### Overige reservoirs

De overige reservoirs hebben een lagere potentie dan het Rotliegend en zijn op slechts een aantal locaties echt interessant. Om die reden zijn de kaarten niet in de tekst opgenomen maar in te zien in bijlages II, V en in de technische rapportage. De belangrijkste observaties uit de potentiekaarten voor de overige reservoirs zijn als volgt:

- de **Trias** reservoirs zijn wat betreft geothermische vermogens teleurstellend. Ze zijn deze van een dermate slechte kwaliteit dat er geen significant geothermisch vermogen uit geleverd kan worden. Mogelijk kunnen er rond het PMC betere vermogens worden behaald omdat dit voor het Rotliegend ook het geval is, maar dit is niet zeker. Daarom is enkel in de High Case meegenomen dat in het PMC-gebied een beter Trias aanwezig is, wat tot een wat hoger vermogen leidt van 2-6 MW (bijlage V);
- het **Schieland** reservoir is enkel in het westelijke randje van de Betuwe aanwezig en levert een vermogen op van 5 MW in de Mid Case tot 10 MW in de High Case;
- het **Paleogeen** bestaat uit drie reservoirs die vooral interessant zijn in het noordwesten van Gelderland, aan de rand van het Veluwemeer doordat het Paleogeen hier dik is en de basis een behoorlijke diepte bereikt tot wel 1.400 m (bijlage II). De jongste Vessum zanden die hier een goede reservoir kwaliteit hebben bereiken een diepte van rond de 1.000 m, waardoor het reservoir een temperatuur kan leveren van 40 à 50 °C (ThermoGIS). Bij deze omstandigheden geeft ThermoGIS een vermogen van 0.3 MW in de Mid Case tot wel 10 MW in de High Case. Deze reservoirs liggen onder Ermelo, Putten, Harderwijk en Nijkerk.  
De Paleogeen zanden van de Brussel en Heers zijn hier van mindere kwaliteit en leveren hier geen vermogen volgens ThermoGIS in de Mid Case. De Brussel Zanden kunnen eventueel beter ontwikkeld zijn en in de High Case toch ook een vermogen leveren van 10 MW bij een temperatuur van 45-55 °C.

## 5.2 Vraag-aanbod combinatie (kansenkaarten)

Om de warmtevraag met het aanbod te kunnen vergelijken moeten wij weten hoeveel geothermische installaties er warmte kunnen leveren per cluster, en hoeveel warmte deze installaties per jaar zouden kunnen leveren.

Afbeelding 5.5 Schematische weergaven van het vergelijken van vraag en aanbod



### Verwerking van de vermogenskaarten

Om de informatie uit de vermogenskaarten te gebruiken zijn drie handelingen uitgevoerd, schematisch weergegeven in afbeelding 5.5:

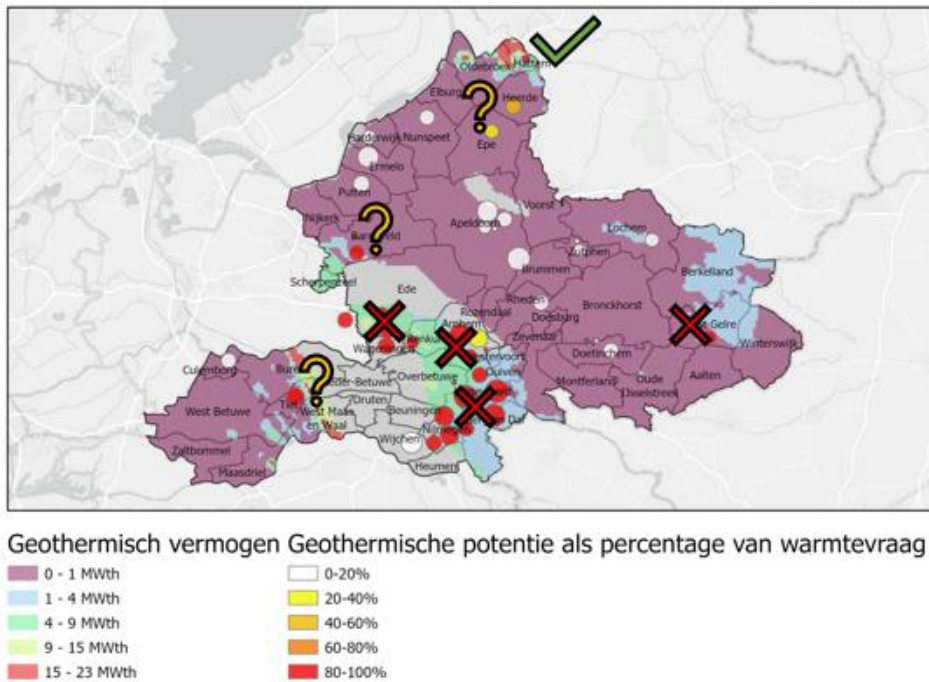
- 1 **jaarlijkse potentie:** in deze stap is de vermogenskaart (in MW of MJ/s) omgezet naar een potentiekaart (in TJ/jaar). De jaarlijkse potentie hangt af van het bronvermogen en het aantal vollasturen dat jaarlijks wordt gedraaid;
- 2 **bronresolutie toepassen:** niet overal op de kaart is het geothermisch vermogen direct inzetbaar in Gelderland. Een doublet heeft immers ruimte nodig, en kan niet direct naar een ander doublet worden geplaatst. Dus moest de jaarlijkse potentiekaart uit stap 1 worden aangepast zodat deze beter laat zien wat het totale vermogen is dat gelijktijdig kan worden ingezet. Om dit te bereiken hebben wij de resolutie van de potentiekaart verlaagd, zodat in een cel nog slechts twee doubletten ruimtelijk inpasbaar zijn. Hierbij is telkens het hoogst haalbare vermogen in de omgeving gebruikt. Dit om over te brengen dat bij het plaatsen van nieuwe doubletten altijd de beste mogelijke opstelling van bronnen

wordt geselecteerd. Het resultaat was een jaarlijkse potentiekaart waarbij het volledige kaartbereik ook daadwerkelijk kan worden benut;

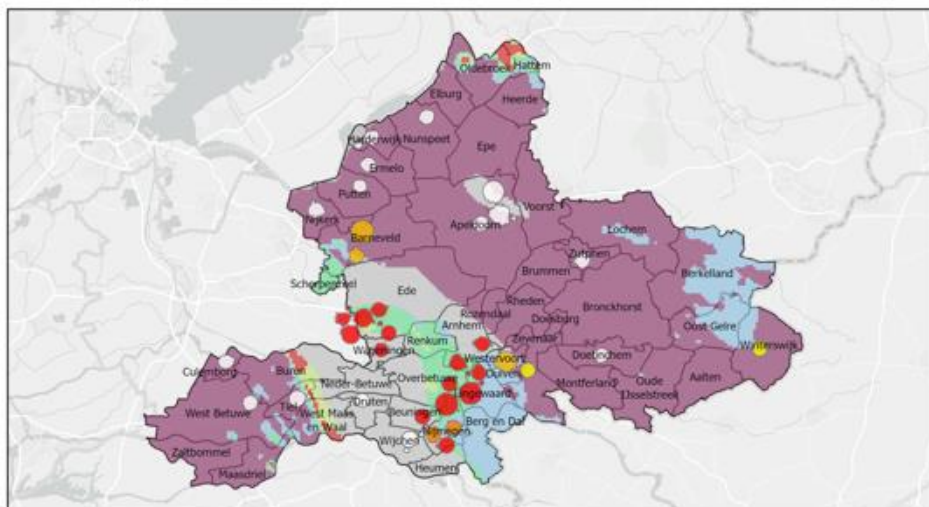
- 3 **potentie in cluster:** elke celwaarde uit de nieuwe potentiekaart stond voor twee doubletten die een bepaalde jaarlijkse warmteproductie hebben. Wanneer een cel overlapt met een van de clusters kan worden aangenomen dat de productie van deze twee doubletten in het cluster kan worden afgezet. Om de jaarlijkse potentie uit een aardlaag per cluster te bepalen zijn dus de productiewaarden van alle met een cluster overlappende cellen uit de nieuwe potentiekaart bij elkaar opgeteld. Het resultaat was een lijst met clusters waar niet alleen de jaarlijkse warmtevraag in TJ bekend was, maar ook de jaarlijks haalbare productie uit een aardlaag in TJ.

Afbeelding 5.6 Invulling van de warmtevraag (in %) in verschillende gebieden in Gelderland waar deze relatief hoog is (cirkels) door middel van diepe geothermie (Rotliegend Formatie, Mid Case). In de grijze gebieden komt het Rotliegend niet voor.

### Rotliegend reservoir en hoge temperatuur warmtevraag



### Rotliegend reservoir en midden temperatuur warmtevraag



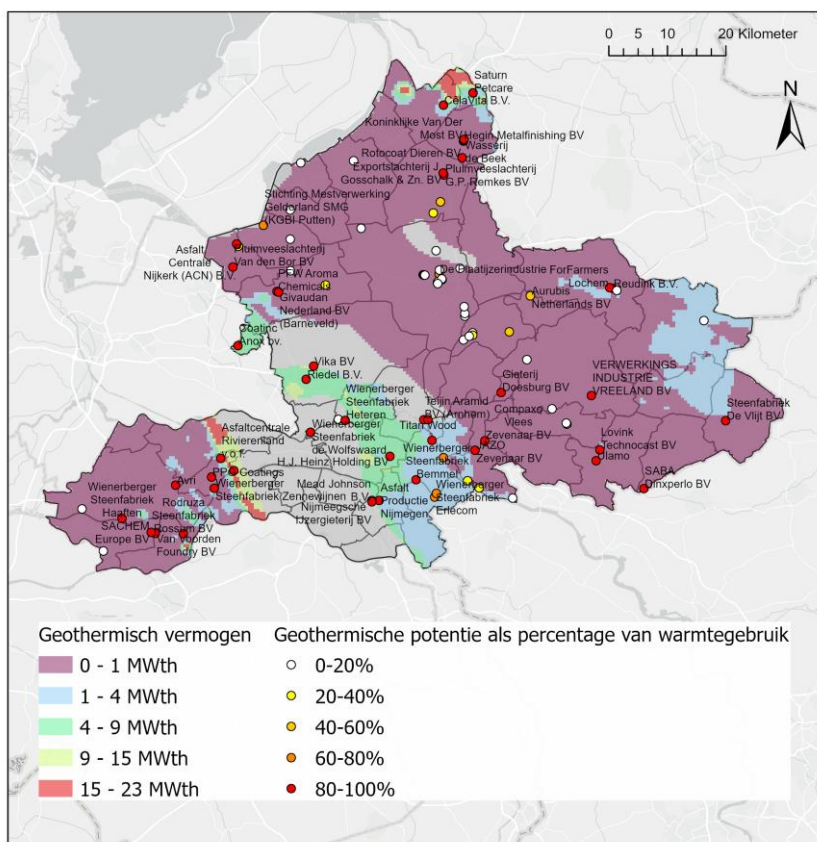


## Resultaten en conclusies

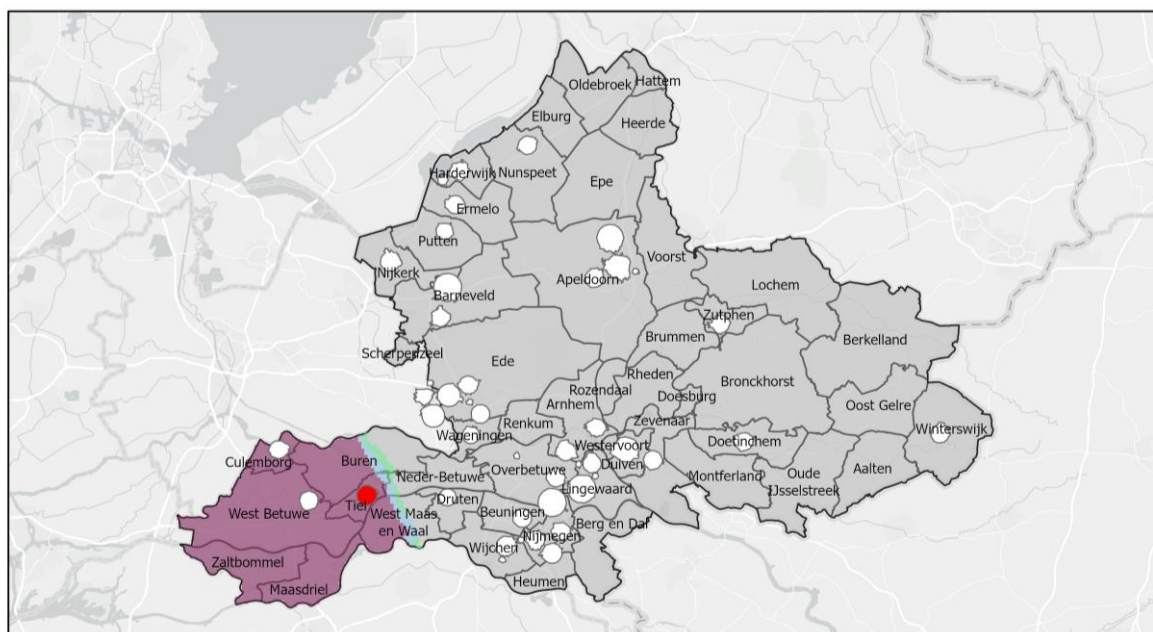
De resultaten van de koppeling tussen warmtevraag en aanbod zijn weergegeven in onderstaande afbeeldingen (inclusief afbeelding 5.3). In de tabellen aan het einde van dit hoofdstuk zijn de resultaten per cluster weergegeven:

- **de Rotliegend Formatie** is met uitzondering van het PMC vrijwel overal in Gelderland te vinden (afbeelding 5.3). De gebieden waar geothermie uit Rotliegend hogere vermogens haalbaar zijn komen overeen met de flanken van het PMC, delen van de Betuwe, de Achterhoek, en de regio rond Hattem:
  - clusters in Arnhem, Renkum, Duiven, Beuningen, delen van Lingewaard, Wageningen, Ede, Nijmegen en Hattem maken voor zowel de hoge als de midden temperatuur warmtevraag ruimschoots aanspraak op diepe geothermie uit de Rotliegend Formatie. Vermogens voor de Mid Case zijn hier tussen de 4-9 MW;
  - in Tiel, Oost Gelre, Heerde, Epe, Barneveld, Tiel, Berg en Dal, delen van Lingewaard, Westervoort, en Winterswijk kan met doubletten met lagere vermogens (0-4 MW in de base case) alsnog een redelijk tot aanzienlijk deel van de warmtevraag worden ingevuld;
  - clusters in Apeldoorn, Zutphen, Doetinchem, Brummen, Wijchen, Druten, West-Betuwe, Culemborg, Putten, Ermelo en Harderwijk komen niet in aanmerking voor geothermie uit de Rotliegend Formatie;
  - in Buren, Lochem, West-Betuwe, West Maas en Waal, Maasdriel, Scherpenzeel, Oldenbroek en Berkelland zijn lokaal verhoogde geothermische potenties geïdentificeerd. In deze gemeenten zijn geen vraagclusters op midden of hoge temperatuur gedefinieerd, maar mogelijk kan hier toch onderzocht worden of geothermie toegepast kan worden;
  - overal in Gelderland, behalve in de regio rond Apeldoorn lijkt diepe geothermie qua vermogen een rol van betekenis spelen in het leveren van warmte voor de procesindustrie (afbeelding 5.7). Echter, door de lage temperaturen van het Rotliegend ligt een koppeling met de industrie niet voor de hand;
  - in de gebieden waar aanzienlijke kansen zijn voor geothermie is de temperatuur van de Rotliegend Formatie op midden temperatuur (circa 60-80 °C, afbeelding 5.4). De kansen voor geothermie als serieuze warmtebron voor het verduurzamen van industriële processen zijn hierdoor in de praktijk minder haalbaar. Wel is het Rotliegend een zeer geschikte warmtebron voor de bestaande bouw en de glastuinbouw op midden temperatuur. Voor de hoge temperatuur clusters is de kans groot dat de temperatuur van de formatie ontoereikend is. Alleen in het gebied rond Hattem lijken de temperaturen van het Rotliegend voldoende voor de hoge temperatuur warmtevraag. Dit is uitgedrukt aan de hand van vinkjes, vraagtekens, en kruisjes in afbeelding 5.3);
  - in de gebieden waar de kansen voor geothermie uit de Rotliegend Formatie aanzienlijk zijn, zijn er mogelijkheden voor cascadering naar lage temperatuur systemen, voornamelijk in de as tussen Arnhem en Nijmegen (zie de overlap tussen lage en midden temperatuur clusters in afbeelding 4.2).

Afbeelding 5.7 Kansen voor diepe geothermie voor het verduurzamen van de procesindustrie. De percentages geven aan welk deel van de warmtevraag van elke industriële locatie technisch gezien met diepe geothermie kan worden ingevuld. Hierbij is geen rekening gehouden met eventuele verschillen tussen temperatuur van processen en de temperatuur van de geothermische bron.

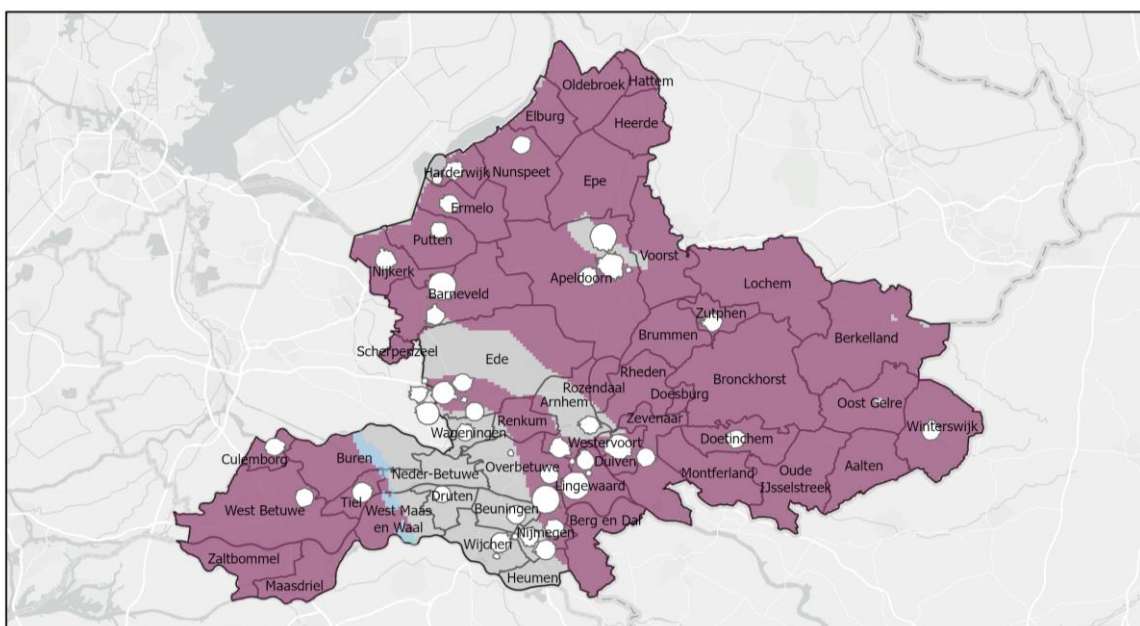


Afbeelding 5.8 Invulling van de warmtevraag (in %) in verschillende gebieden in Gelderland waar deze relatief hoog is (cirkels) door middel van diepe geothermie (Röt reservoir, Trias, High Case). In de grijze gebieden komt het Röt reservoir niet voor. Rode cirkels = warmtevraag kan worden geleverd, witte cirkels = warmtevraag kan niet worden geleverd.



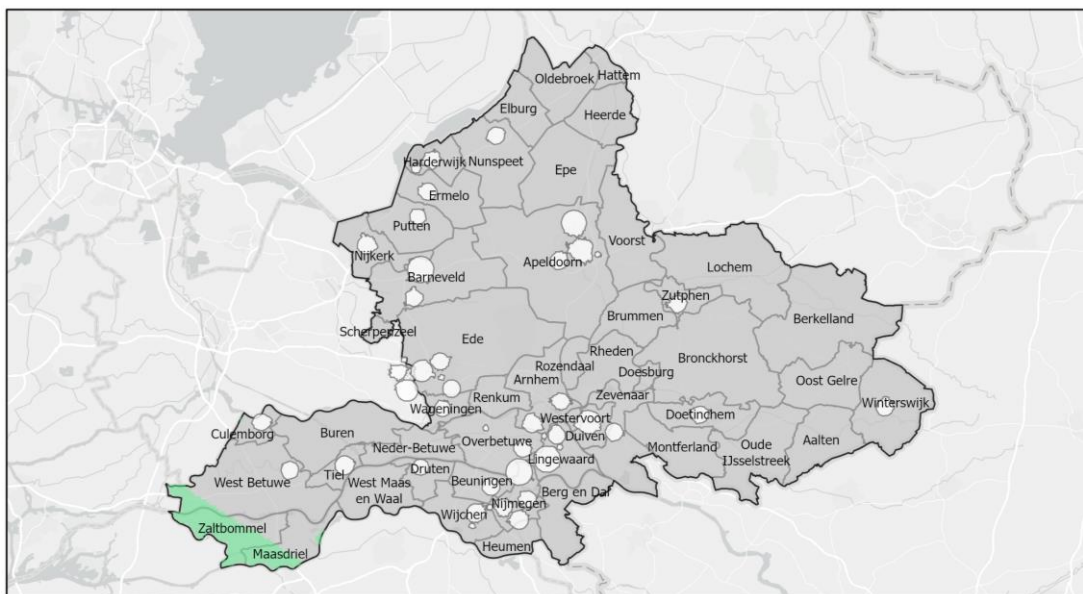
- **de Trias Formaties** bestaan in Gelderland uit twee geothermische aquifers. Beiden produceren warmte op midden temperatuur, tot ongeveer 70 °C. Het gebruik van deze reservoirs voor de procesindustrie kan worden uitgesloten. Wel kunnen de reservoirs voor midden temperatuur warmte in de gebouwde omgeving en de glastuinbouw worden ingezet:
  - de Röt Formatie kan alleen in de Betuwe worden gevonden. Geothermische vermogens zijn zelfs in de High Case overal laag, maximaal 1 MW, met uitzondering van de oostelijke rand van de formatie. Kansen voor een warmtesysteem op midden temperatuur zijn er in Tiel;
  - de Onder Volpriehausen heeft ruwweg dezelfde geografische distributie in Gelderland als de Rotliegend Formatie. Geothermische vermogens zijn zelfs in de High Case overal laag, maximaal 1 MW, met uitzondering van de rand van het Peel-Maasbommel Hoog. Kansen voor een warmtesysteem op midden temperatuur zijn er in Ede, Overbetuwe en Tiel;

Afbeelding 5.9 Invulling van de warmtevraag in Gelderland (in %) in gebieden waar de warmtevraag relatief hoog is (cirkels) door middel van diepe geothermie (Onder Volpriehausen Formatie, Trias, High Case). Rode cirkels = warmtevraag kan worden geleverd, witte cirkels = warmtevraag kan niet worden geleverd.



- **de Schieland Formatie** bevindt zich in het uiteinde van de Betuwe. Significante vermogens kunnen worden behaald (tot wel 10 MW in de Betuwe) in de High Case. Hier is echter geen midden temperatuur warmtevraagcluster. Er ligt wel een kassengebied (Bommelerwaard) dat van deze geothermiebron gebruik zou kunnen maken. Ook in de regio van Barneveld komt deze formatie voor, maar de verwachting is dat het reservoir hier zodanig slecht is ontwikkeld dat er geen kansen zijn voor geothermie (afbeelding 5.10).

Afbeelding 5.10 Invulling van de warmtevraag in Gelderland door middel van diepe geothermie (Schieland Formatie, Jura)<sup>1</sup>. Rode cirkels = warmtevraag kan worden geleverd, witte cirkels = warmtevraag kan niet worden geleverd.



- **de lagen uit het Paleogeen** die geschikt zijn als aquifer zijn de Formaties van Heers, Brussel en Vessem (afbeeldingen 5.11 en 5.12). Alle drie deze lagen komen voornamelijk voor in het noorden van Gelderland en in de Achterhoek. Het temperatuurniveau van deze lagen ligt tussen de 15 en 55 °C, afhankelijk van de locatie. Dat betekent dat ook voor lage temperatuur warmtesystemen een warmtepomp nodig. Echter, in het noordwesten van Gelderland worden temperaturen bereikt van boven 50 °C wat voldoende kan zijn voor lage temperatuur warmtesystemen, en mogelijk ook voor midden temperatuur systemen. Omdat de aannames hiervoor situatieafhankelijk zijn, hebben wij voor de lagen uit het Paleogeen geen vermogenskaarten berekend. Wel zijn er aan de hand van de ThermoGIS kaarten aan de hand van de dikte, vermogen en temperatuurkaarten polygonen getrokken die aangeven waar het Paleogeen mogelijk interessant is voor geothermie. Deze gebieden zijn weer gekoppeld aan de lage (en midden) temperatuur warmtevraag, en hieruit kunnen enkele conclusies getrokken worden over de mogelijkheden voor ondiepe geothermie (weergegeven in afbeelding 4.11):
  - de Formatie van Heers kan mogelijk als lage temperatuur bron of als HTO<sup>2</sup> worden ingezet in Voorst, Epe, Apeldoorn, Brummen en Zutphen;
  - de Formatie van Brussel kan mogelijk als lage temperatuur bron of als HTO worden ingezet in Zutphen, Brummen, en Voorst, en in mindere mate in Apeldoorn, Barneveld en de gemeentes ten noorden hiervan;
  - de Formatie van Vessem kan als lage temperatuur bron worden ingezet in Lochem, Berkelland, Bronckhorst, Doetinchem, Zutphen, Harderwijk, Nunspeet, Ermelo, Putten en Nijkerk. Omdat hier de diepte aanzienlijk is (meer dan 1.000 m) kan ook een gedeelte van de midden temperatuur vraag worden opgevangen;
  - ook in de Betuwe liggen er kansen voor geothermie uit het diepere Paleogeen. De High Case vermogenskaarten van ThermoGIS geven hier vermogens aan van 2-8 MW gecombineerd met temperaturen van 40 tot 50 °C. Dit kan interessant zijn voor de gemeentes Tiel, Culemborg, Geldermalsen, Waardenburg en Zaltbommel.

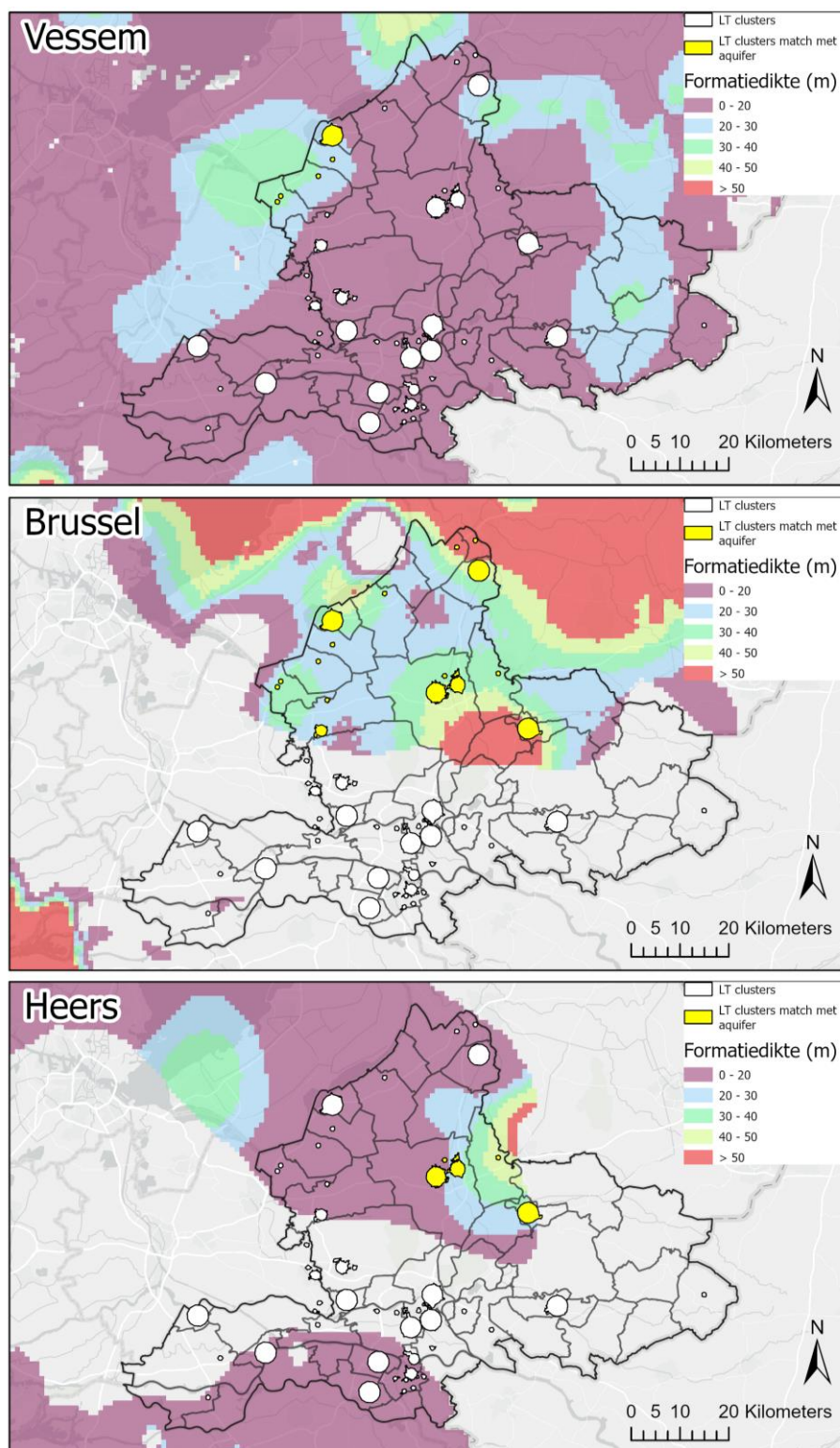
<sup>1</sup> Uit het onderzoek bleek dat een klein fragment van het Schieland zich naast Culemborg bevindt. Dit leidde er in de figuren toe dat een hoog potentie warmtecluster in centrum Culemborg werd gevormd. Door de kleine omvang van het Schieland en de afstand tot Culemborg (circa 3 km) is het niet realistisch om ervan uit te gaan dat dit reservoir ook daadwerkelijk kan worden gebruikt op deze locatie. Om die reden is gekozen, om dit cluster handmatig wit te maken.

<sup>2</sup> Hoge temperatuur opslag: een type geothermie waarbij heet water uit een andere bron ondergronds wordt opgeslagen.

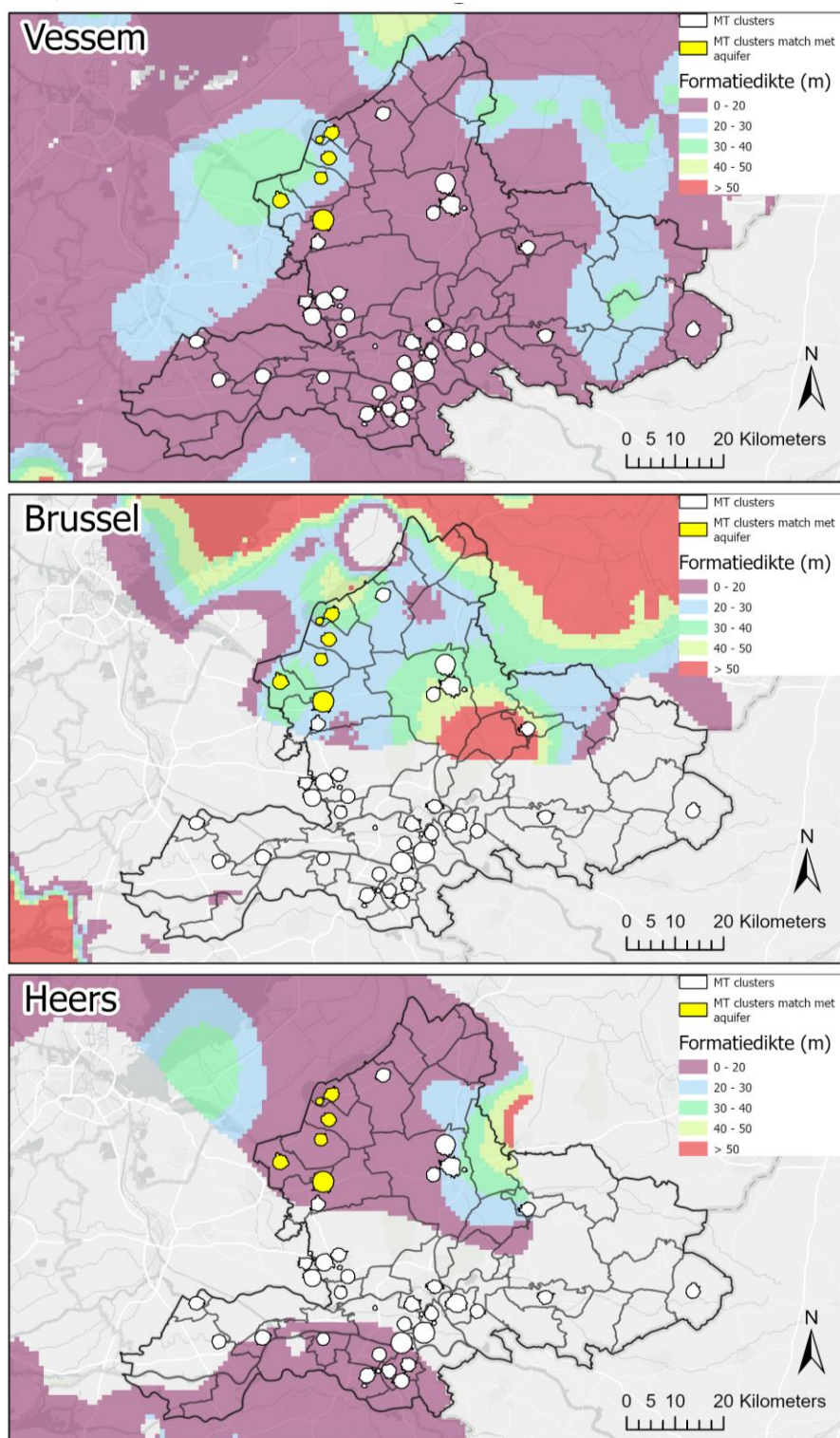


De datasets die als product bij dit rapport worden geleverd bevatten voor de lagen uit het Paleogeen de dikte, porositeit, en permeabiliteitskaarten. Op deze manier kunnen gemeentes en lokale initiatiefnemers de benodigde vermogenskaarten van de lagen uit het Paleogeen in een bepaald projectvoorstel herleiden.

Afbeelding 5.11 Invulling van de lage temperatuur warmtevraag in Gelderland door middel van geothermie (Paleogeen formaties).



Afbeelding 5.12 Invulling van de midden temperatuur warmtevraag in Gelderland door middel van geothermie (Paleogeen formaties).



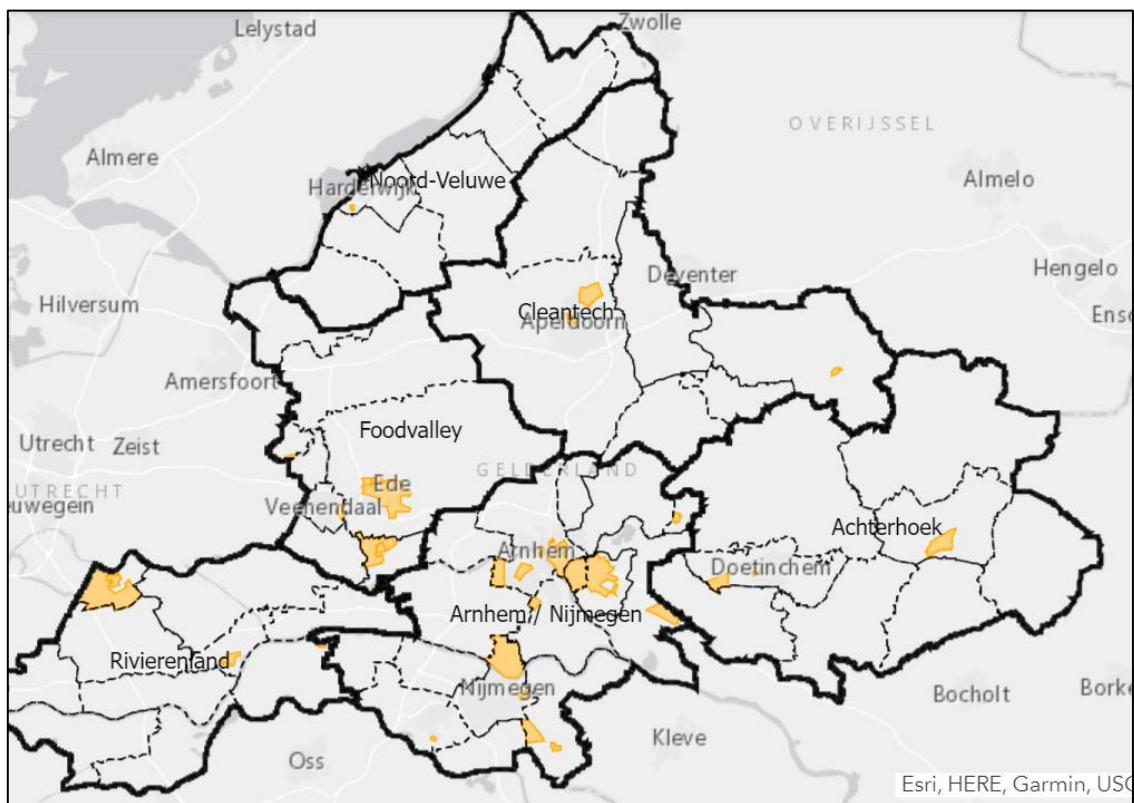


# 6

## KANSEN EN BELEMMERINGEN

In het vorige hoofdstuk hebben wij de kansen voor geothermie beschreven op basis van een technische match tussen vraag en aanbod. In dit hoofdstuk worden enkele omgevingsfactoren besproken die deze kansen in de realiteit positief of negatief kunnen beïnvloeden. Kansen zijn gebeurtenissen of situaties die efficiënte ontwikkeling van geothermie bevorderen. Belemmeringen zijn fysieke of beleidsmatige omstandigheden die een geothermieproject bemoeilijken of zelfs onmogelijk maken. Vooral de belemmeringen hebben grote impact op de uitvoerbaarheid van de kansen voor geothermie in Gelderland. Om die reden zijn de belemmeringen die in dit hoofdstuk worden besproken afgestemd met de begeleidingsgroep.

Afbeelding 6.1 Locaties van bestaande warmtenetten in Gelderland (bron: energieatlas Gelderland)



### 6.1 Kansen

In Gelderland is er een aantal factoren die de kansen voor geothermie vergroten:

- **bestaande warmtenetten:** de aanwezigheid van een warmtenet in een zoekgebied voor geothermie zorgt ervoor dat veel financiële risico's voor de projectontwikkeling worden geëlimineerd. Zo kan er al in een vroeg stadium van de projectontwikkeling warmte-afzet worden gegarandeerd, en hoeven

investeringskosten van warmte-infrastructuur slechts in mindere mate in de businesscase te worden meegenomen. Een warmtenet kan dus een significante boost zijn voor de kansrijkheid van geothermie. In afbeelding 6.1 zijn de bestaande warmtenetten in Gelderland weergegeven. Dit zijn vrijwel allemaal warmtenetten die op midden tot hoge temperatuur opereren en nog geen volledig duurzame bron hebben. Warmte uit de Rotliegend Formatie is hierbij hoofdzakelijk een interessant om deze warmtenetten te verduurzamen. In de gemeentes Arnhem, Nijmegen, Ede en Wageningen zijn er bij uitstek kansen voor het verduurzamen van bestaande warmtenetten uit geothermie;

- **warmtenet-buurtten:** in de Transitievisie Warmte bepaalt elke gemeente hoe en wanneer bepaalde buurten zullen worden verduurzaamd. Afhankelijk van de eigenschappen van een buurt kan hierin worden gekozen voor een all-electric oplossing, een oplossing met duurzaam gas of een warmtenet. Wanneer een buurt als warmtenet-buurt is aangewezen in de Transitievisie Warmte kan dit een ontwikkelaar van een geothermieproject meer zekerheid geven dat er bereidheid is vanuit gemeentes en lokale partijen om zich in te zetten voor het ontwikkelen van warmte-infrastructuur. Deze studie is uitgevoerd op de schaal van een provincie. Wanneer de lokale verdieping wordt gezocht is het van belang dat gekeken wordt in hoeverre de kansen uit geothermie uit deze rapportage aansluiten bij de verdeling in warmtenet-wijken in de gemeentelijke Transitievisies Warmte;
- **bestaande geothermie-initiatieven:** overall in Gelderland waar geothermie-initiatieven al in een verder gevorderd stadium zijn vormt dit een kans. In drie concrete gebieden in Gelderland is reeds een opsporingsvergunning verleend:
  - in Nijmegen onderzoekt Tellus de kansen voor het verduurzamen van het stadswarmtenet, dat nu nog door de afvalenergiecentrale van de ARN van warmte wordt voorzien, met warmte uit ultradiepe geothermie. De beschikbaarheid van SCAN seismische data in 2019 heeft de initiële haalbaarheidsstudies hiervoor in gang gezet. Uit de resultaten van dit onderzoek blijkt dat in Nijmegen warmte uit de Rotliegend Formatie een voorname rol kan spelen in de warmtevoorziening. Deze conclusie versterkt de kansen voor geothermie in Nijmegen en kan worden gebruikt om de lopende plannen van Tellus in Nijmegen te onderbouwen;
  - in Ede is een opsporingsvergunning verleend aan: Tullip Energy Exploration & Development B.V. Uit dit onderzoek blijkt dat in Ede goede vermogens uit het Rotliegend kunnen worden onttrokken;
  - in Renkum werkt Tellus Renkum B.V. samen met Smurfit Kappa, QNQ, en Firan samen aan het project Aardwarmte in de Vallei, dat de kansen voor het winnen van stoom uit ultradiepe geothermie in de regio onderzoekt. Uit dit onderzoek blijkt dat naast ultradiepe geothermie uit de kalken van het Dinantiën, diepe geothermie uit het Rotliegend in Renkum een aanzienlijke potentie heeft. Dit biedt kansen om de bronnenstrategie van het project Aardwarmte in de Vallei te diversifiëren.

## 6.2 Belemmeringen

Belemmeringen kunnen de kansen voor geothermie, zelfs in gebieden waar de technische mogelijkheden voor het koppelen van vraag en aanbod aanzienlijk zijn, significant verkleinen tot zelfs onmogelijk maken. Omdat alle belemmeringen die niet te maken hebben met conflicterend ruimtegebruik<sup>1</sup>, beleidstechnisch van aard zijn, kan niet worden aangenomen dat deze belemmeringen permanent zijn. Om die reden is gekozen om vermogenskaarten te berekenen zonder deze belemmeringen in ogenschouw te nemen. Niet alle belemmeringen hebben evenveel impact op de vermindering van kansen voor geothermie. Met de begeleidingsgroep is afgesteld dat er sprake is van twee groepen belemmeringen: restrictie- en aandachtsgebieden. In restrictiegebieden is geothermie in zijn huidige vorm niet mogelijk. In aandachtsgebieden, kan worden overwogen om geothermie niet toe te staan om omgevingsbelangen te waarborgen. Echter betekent dit niet dat geothermie hier hoe dan ook is uitgesloten:

- onder restrictiegebieden vallen de volgende situaties:
  - **boringvrije zones:** zijn door lokale of regionale overheden in een omgevingsverordening vastgestelde gebieden, waar omwille van omgevingsbelangen zoals het beschermen van de integriteit van drinkwataquifers of het mitigeren van verspreiding van bodemverontreinigingen,

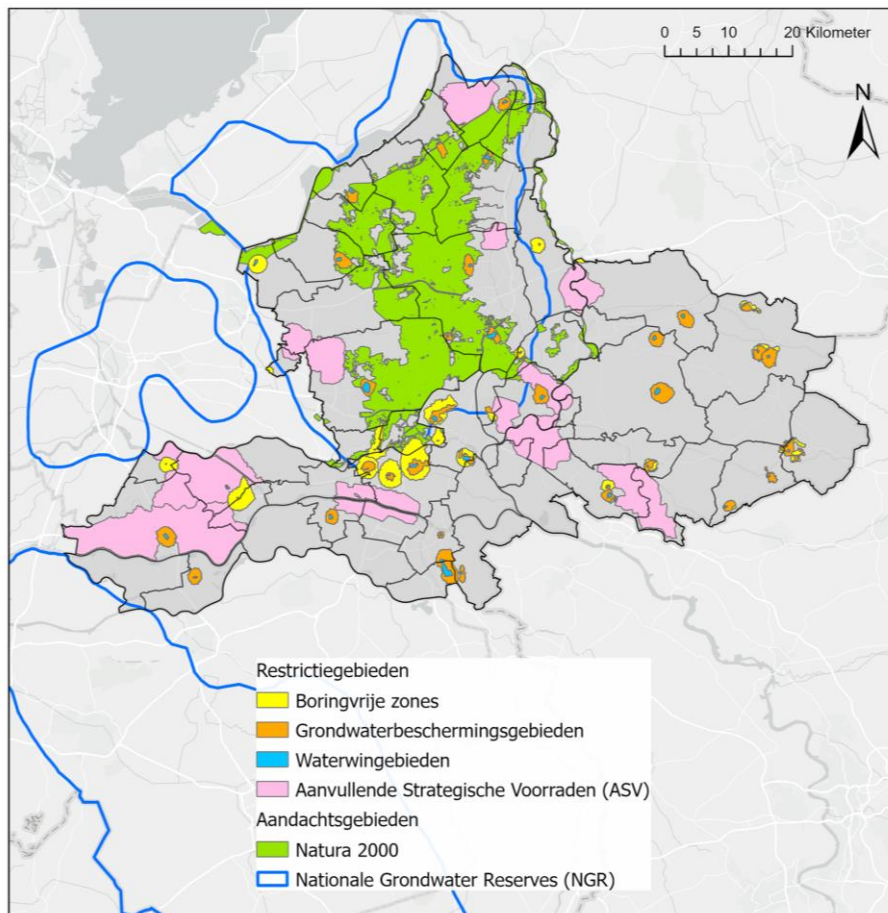
---

<sup>1</sup> Zeker in de diepe ondergrond is er geen sprake van conflicterend ruimtegebruik omdat er nog geen diepe geothermieputten in Gelderland zijn, en er geen sprake is van andere economische activiteiten in dit dieptedomein.

niet zomaar in de grond mag worden geboord. Boringvrije zones beperken zich tot de ondiepe ondergrond (tot maximaal 500 m);

- **grondwaterbeschermingsgebieden:** zijn door de provincie aangewezen gebieden waar geen menging plaats mag vinden van grondwater tussen verschillende watervoerende pakketten om de kwaliteit van drinkwaterreserves te beschermen. In deze gebieden mag doorgaans slechts tot bepaalde dieptes worden geboord om te voorkomen dat cruciale scheidende kleilagen worden geperforeerd;
- **waterwingebieden:** zijn gebieden waar grondwater wordt gewonnen, bijvoorbeeld voor drinkwaterdoeleinden. Het zetten van een boring in deze gebieden kan de prestaties van de waterwinning ten negatieve beïnvloeden. Om die reden mag er in deze gebieden niet worden geboord;
- **algemene strategische voorraden:** zijn gebieden in Nederland die door de provincie worden aangewezen als mogelijke plek voor een drinkwatervoorziening. Dit gaat om voorraden van grond- en oppervlaktewater die ingezet kunnen worden voor de drinkwaterproductie.<sup>1</sup> Het is wenselijk om deze voorraden intact te houden, tenzij geothermie daar grote maatschappelijke baten tegenover zet. Algemene strategische voorraden worden onder andere genoemd in de Nationale Omgevingsvisie (NOVI) en de Structuurvisie Ondergrond (STRONG). Voor deze gebieden geldt nog geen beschermingsregiem. Wel ligt er op dit moment een statenvoorstel in Gelderland waarbij aan de hand van de algemene strategische voorraden nieuwe boringvrije zones worden vastgesteld. Deze boringvrije zones gaan dan na het in gang treden van de Omgevingswet van kracht. Er is echter ook een adaptieve strategie voorzien, welke inhoudt dat er in geval van goed perspectief van geothermie in een concreet geval kan worden afgewogen of er een aanpassing van de grens mogelijk is mits de winbare potenties voor drinkwater niet worden aangetast.

Afbeelding 6.2 Restrictie- en aandachtsgebieden in Gelderland.



<sup>1</sup> Er loopt nu een project bij I&W om deze gebieden opnieuw te begrenzen waarbij er ruimere criteria worden gehanteerd.

- onder aandachtsgebieden vallen de volgende situaties:
  - **nationale grondwaterreserves:** zijn gebieden in de ondergrond met diep gelegen, zeer oude en schone grondwatervoorraden, die eeuwenlang goed bewaard zijn gebleven. Deze voorraden zijn waardevol als natuurlijk kapitaal en kunnen worden ingezet voor de drinkwatervoorziening als ontwikkelingen in de verre toekomst daartoe aanleiding geven. Het is wenselijk om deze voorraden te beschermen, maar als een geothermie-project daar grote maatschappelijke baten tegenover zet kan worden gekozen om te boren in een van deze gebieden;
  - **Natura 2000-gebieden:** zijn gebieden van natuurlijke waarde die een bepaalde mate van bescherming genieten. Bouwvergunningen worden hier in verband met de instandhouding van kwetsbare diersoorten en habitats niet zonder meer goedgekeurd. Het is daardoor relatief complex, maar niet onmogelijk om een geothermieput te boren in een Natura 2000-gebied.

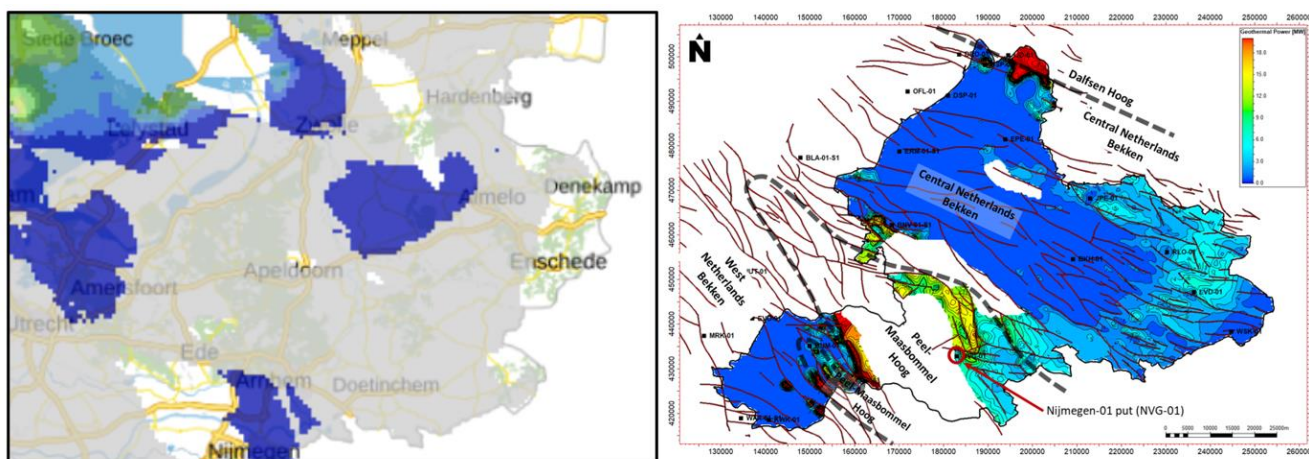
In afbeelding 6.2 zijn de restrictiegebieden en aandachtsgebieden in Gelderland weergegeven. Belangrijke conclusies hieruit zijn als volgt:

- de aanwezigheid van boringvrije zones kan kansen voor geothermie bemoeilijken in Overbetuwe, Tiel, en Arnhem alhoewel de meeste boringvrije zones buiten de gebouwde omgeving liggen;
- aandachtsgebieden omvatten grote delen van de Betuwe en het noorden van Gelderland. Hier moeten geothermieprojecten extra worden onderbouwd voordat deze kunnen worden vergund;
- de restrictiegebieden (boringvrije zones, grondwaterbeschermingsgebieden en waterwingebieden) verspreiden zich in de meeste gevallen niet over een gebieden groter dan 3x3 km. Dit betekent dat de ruimtelijke spreiding van geothermieputten in optimale indeling minder fijn is dan het voorkomen van restrictiegebieden. Omdat restrictiegebieden doorgaans de ondiepe ondergrond betreffen moet het in de meeste situaties mogelijk zijn om, met een gedegen putontwerp, onder een restrictiegebied door te boren. De kansrijkheid hiervan moet per studie op lokaal niveau worden uitgewerkt.

## CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In dit onderzoek zijn veel grijze gebieden die onduidelijk waren in ThermoGIS ingekleurd. Dit is vooral zichtbaar in de nieuwe vermogenskaarten van de Rotliegend Formatie (afbeelding 7.1). De inkleuring heeft plaatsgevonden door het herinterpreteren van bestaande seismische data en testboringen, en het interpreteren van SCAN-data. Hierbij hebben vooral nieuwe wetenschappelijk onderbouwde geologische aannames vooral gezorgd voor het invullen van de grijze vlekken. De resultaten zorgen ervoor dat in veel gemeentes waar de potentie van geothermie eerst onzeker was nu vervolgstappen kunnen worden ingezet. In dit hoofdstuk kijken wij terug naar de uitkomsten van dit onderzoek en vertalen wij deze naar een reeks kernconclusies en aanbevelingen voor vervolgstappen.

Afbeelding 7.1 Geothermisch vermogen van het Rotliegend volgens ThermoGIS v2.1 (links), en dit onderzoek (rechts). In beide kaarten gaat het vermogen van laag naar hoog via de kleuren blauw - groen - geel - rood. Links geeft de grijze kleur aan dat er nog onzekerheden zijn. Wit geeft in beide kaarten de afwezigheid van het Rotliegend aan

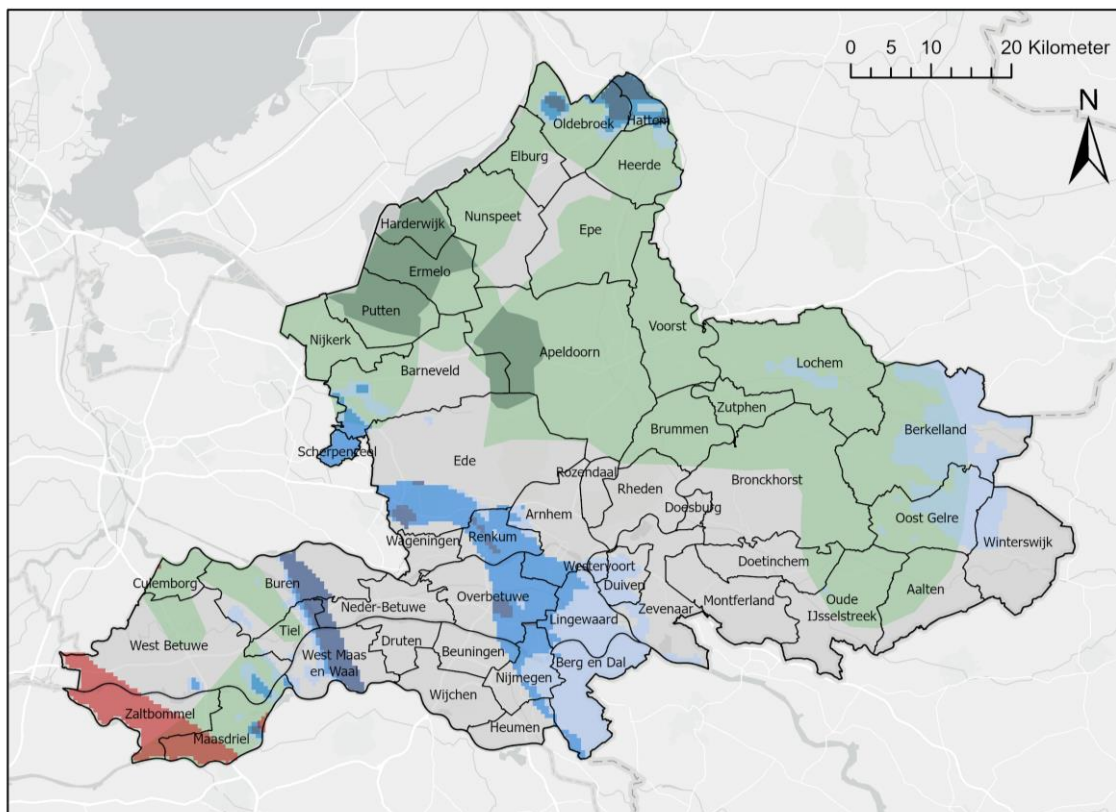


### Uitkomsten per gemeente

In hoofdstuk 5 zijn per reservoir de kansen voor geothermie in beeld gebracht. Om de vervolgstappen op lokaal niveau scherp te hebben is het van belang dat deze resultaten worden gestapeld zodat een totaalbeeld ontstaat van de geothermische potentie. In afbeelding 7.2 is deze stapeling gedaan voor het aanbod uit de ondergrond. In deze afbeelding kan per gemeente worden afgelezen welk type geothermie uit welke aardlaag voor de gemeente relevant kan zijn. In afbeelding 7.3 brengen wij in beeld wat dit aanbod betekent voor de invulling van de lage, midden, en hoge temperatuur warmtevraag. Deze afbeelding laat zien waar in Gelderland de grootste kansen worden voorzien op het gebied van ondiepe en diepe geothermie. Voor elk cluster in afbeelding 7.3 kunnen de resultaten los worden bekeken. Hierbij volgen wij een nummering van de clusters zoals weergegeven in afbeelding 7.4. In tabellen 7.1, 7.2 en 7.3 zijn voor elk clusternummer de resultaten van dit onderzoek weergegeven: de warmtevraag en de kansrijkheid van geothermie.



Afbeelding 7.2 Kansen voor geothermie in Gelderland



### Kansen voor diepe geothermie

Rotliegend reservoir

- Geen kans
- Redelijke kans
- Goede kans
- Zeer goede kans

Schieland reservoir

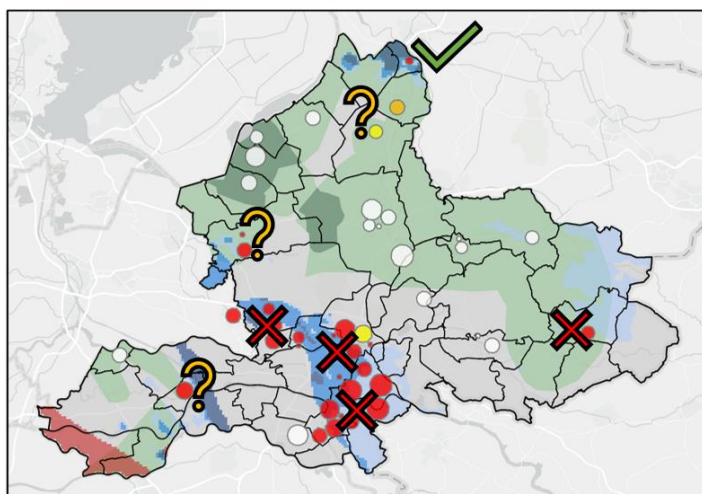
- Geen kans
- Redelijke kans
- Goede kans

### Kansen voor ondiepe geothermie

Tertiair reservoirs

- Geen kans
- Redelijke kans
- Goede kans

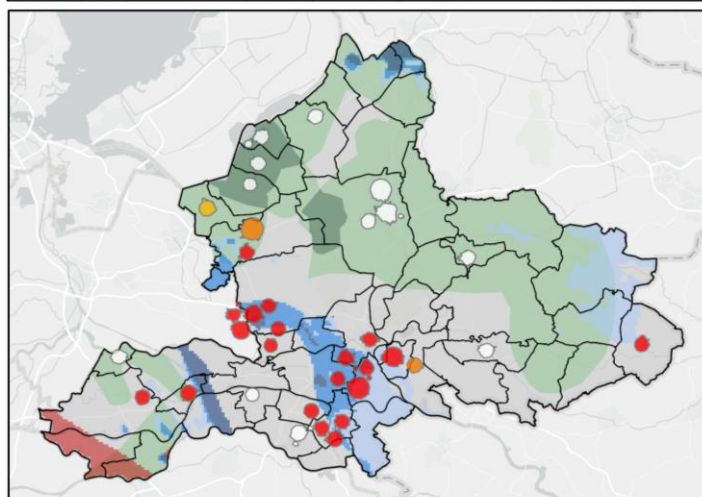
Afbeelding 7.3 Percentage van de hoge (boven), midden (midden), en lage (onder) temperatuur warmtevraag dat met diepe of ondiepe geothermie kan worden geleverd in enkele zones (gekleurde cirkels) waar de warmtevraag relatief hoog is <sup>1,2,3</sup>



### Hoge temperatuur warmtevraag-clusters

Match met diepe geothermie

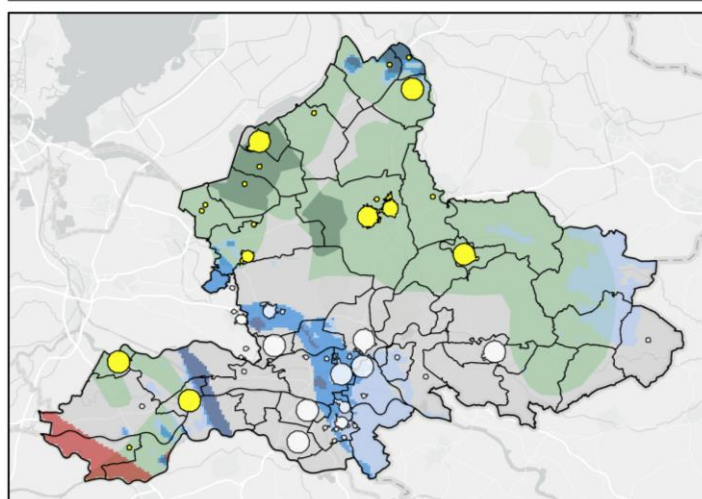
- 0-20%
- 20-40%
- 40-60%
- 60-80%
- 80-100%



### Midden temperatuur warmtevraag-clusters

Match met diepe geothermie

- 0-20%
- 20-40%
- 40-60%
- 60-80%
- 80-100%



### Lage temperatuur warmtevraag-clusters

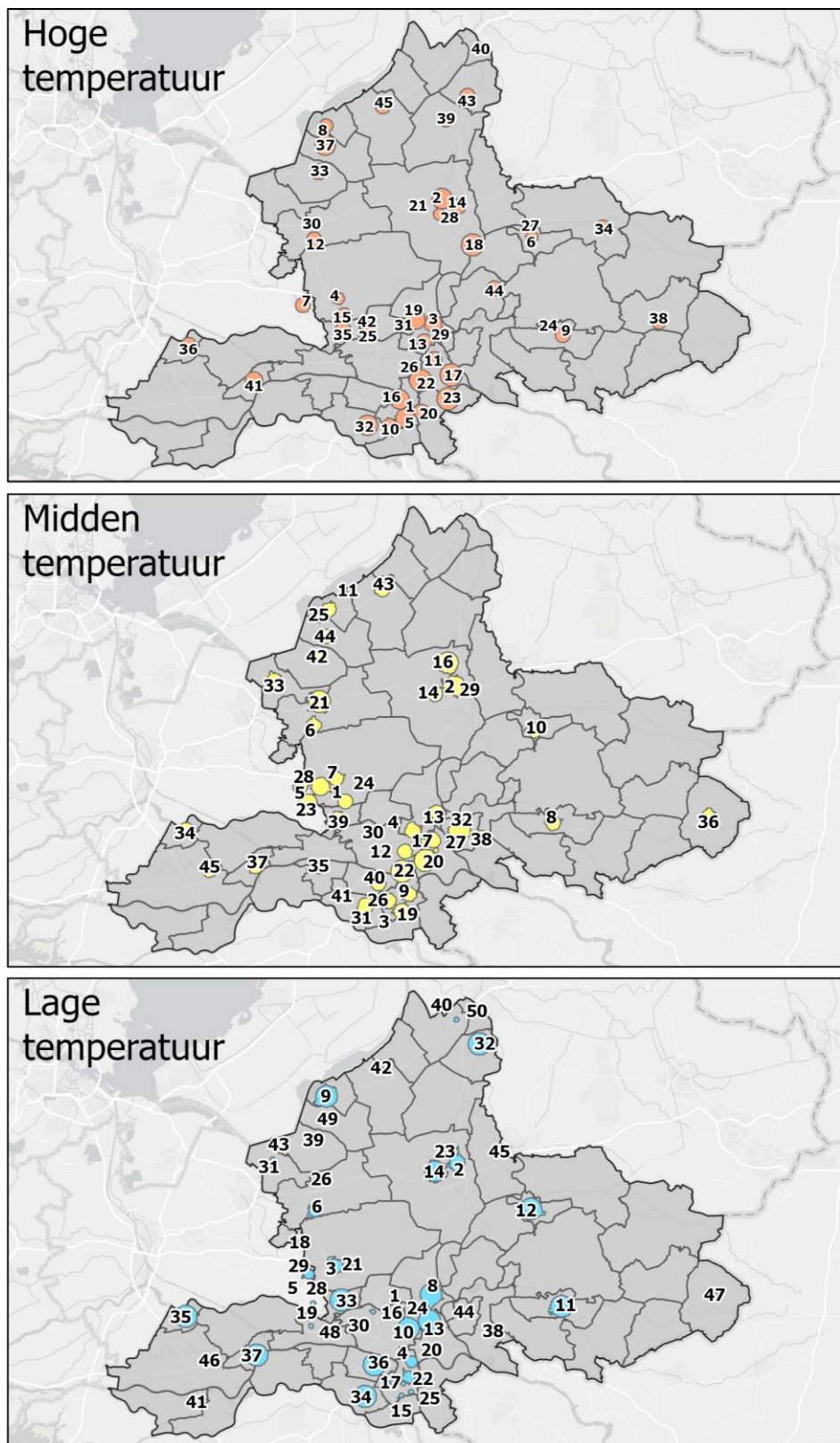
- Geen match met ondiepe geothermie
- Match met ondiepe geothermie

<sup>1</sup> De legenda uit afbeelding 7.2 is relevant voor de achtergrond in deze kaarten.

<sup>2</sup> De cirkels zijn om gebieden heen getrokken met een gemiddeld hoge warmtevraag. Ze komen niet overeen met gemeentes.

<sup>3</sup> De cirkels geven kansen voor geothermie weer, maar dat betekent niet dat geothermie buiten deze cirkels nergens interessant is.

Afbeelding 7.4 Geïsoleerde weergave van de warmtevraagclusters in Gelderland, inclusief numerieke verwijzingen<sup>1</sup>



<sup>1</sup> De nummers verwijzen naar de resultatentabel aan het einde van dit rapport (tabellen 5.1, 5.2 en 5.3).

Tabel 7.1 Hoge temperatuur warmtevraagclusters met totale warmtevraag en geothermische potentie.

| Clusternummer | Gemeente    | Oppervlakte (ha) | Warmtevraag (TJ/jaar) | Geothermische potentie TJ/jaar)<br>Low Case | Geothermische potentie TJ/jaar)<br>Mid Case | Geothermische potentie TJ/jaar)<br>High Case |
|---------------|-------------|------------------|-----------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 1             | Nijmegen    | 69               | 239,3                 | 648,4                                       | 1093,0                                      | 1824,7                                       |
| 2             | Apeldoorn   | 1259             | 876,4                 | 0,2                                         | 1,0                                         | 147,2                                        |
| 3             | Arnhem      | 905              | 886,8                 | 104,0                                       | 319,0                                       | 700,0                                        |
| 4             | Ede         | 430              | 307,6                 | 1082,7                                      | 2311,7                                      | 3336,3                                       |
| 5             | Nijmegen    | 1024             | 890,5                 | 663,9                                       | 1008,3                                      | 1717,6                                       |
| 6             | Zutphen     | 430              | 355,1                 | 0,1                                         | 0,5                                         | 70,1                                         |
| 7             | Veenendaal  | 663              | 469,2                 | 542,2                                       | 956,4                                       | 1440,4                                       |
| 8             | Harderwijk  | 551              | 315,8                 | 0,5                                         | 0,7                                         | 1,1                                          |
| 9             | Doetinchem  | 665              | 1109,8                | 6,5                                         | 50,8                                        | 486,3                                        |
| 10            | Nijmegen    | 667              | 239,7                 | 343,3                                       | 526,0                                       | 898,4                                        |
| 11            | Lingewaard  | 666              | 461,3                 | 349,3                                       | 899,6                                       | 1467,5                                       |
| 12            | Barneveld   | 663              | 159,0                 | 18,2                                        | 256,9                                       | 2246,3                                       |
| 13            | Arnhem      | 661              | 246,1                 | 552,3                                       | 1355,2                                      | 2305,3                                       |
| 14            | Apeldoorn   | 666              | 157,4                 | 0,2                                         | 0,6                                         | 107,8                                        |
| 15            | Ede         | 663              | 164,8                 | 690,9                                       | 1330,5                                      | 2063,0                                       |
| 16            | Nijmegen    | 1148             | 534,1                 | 1235,3                                      | 1894,7                                      | 3001,8                                       |
| 17            | Lingewaard  | 1504             | 492,3                 | 346,1                                       | 1011,3                                      | 2443,1                                       |
| 18            | Apeldoorn   | 1495             | 419,1                 | 0,2                                         | 0,5                                         | 51,8                                         |
| 19            | Arnhem      | 1259             | 472,6                 | 149,3                                       | 573,4                                       | 1583,1                                       |
| 20            | Nijmegen    | 666              | 451,4                 | 312,2                                       | 907,0                                       | 1486,7                                       |
| 21            | Apeldoorn   | 427              | 138,6                 | 0,2                                         | 0,6                                         | 46,5                                         |
| 22            | Lingewaard  | 1503             | 205,3                 | 611,0                                       | 2330,8                                      | 3701,1                                       |
| 23            | Berg en Dal | 1497             | 659,5                 | 367,8                                       | 1213,0                                      | 2340,0                                       |
| 24            | Doetinchem  | 68               | 188,8                 | 0,2                                         | 3,4                                         | 107,8                                        |
| 25            | Overbetuwe  | 70               | 177,7                 | 211,1                                       | 501,7                                       | 762,1                                        |
| 26            | Overbetuwe  | 69               | 141,9                 | 173,4                                       | 947,4                                       | 1664,3                                       |
| 27            | Zutphen     | 69               | 109,3                 | 0,0                                         | 0,1                                         | 9,5                                          |
| 28            | Apeldoorn   | 70               | 101,4                 | 0,1                                         | 0,1                                         | 31,5                                         |
| 29            | Arnhem      | 71               | 82,4                  | 135,8                                       | 449,0                                       | 1224,4                                       |
| 30            | Barneveld   | 70               | 49,8                  | 7,3                                         | 98,3                                        | 840,7                                        |
| 31            | Renkum      | 69               | 168,6                 | 97,4                                        | 341,7                                       | 866,7                                        |
| 32            | Wijchen     | 1265             | 283,5                 | 0,0                                         | 0,0                                         | 0,0                                          |
| 33            | Putten      | 781              | 243,6                 | 1,0                                         | 1,9                                         | 28,4                                         |
| 34            | Lochem      | 548              | 744,5                 | 30,2                                        | 138,3                                       | 431,4                                        |
| 35            | Wageningen  | 785              | 332,3                 | 309,2                                       | 994,5                                       | 1495,5                                       |
| 36            | Culemborg   | 662              | 209,0                 | 390,4                                       | 390,8                                       | 394,0                                        |
| 37            | Ermelo      | 1266             | 304,8                 | 1,5                                         | 2,6                                         | 17,8                                         |



| Clusternummer | Gemeente   | Oppervlakte (ha) | Warmtevraag (TJ/jaar) | Geothermische potentie TJ/jaar Low Case | Geothermische potentie TJ/jaar Mid Case | Geothermische potentie TJ/jaar High Case |
|---------------|------------|------------------|-----------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|
| 38            | Oost Gelre | 548              | 141,1                 | 137,6                                   | 458,5                                   | 996,0                                    |
| 39            | Epe        | 549              | 138,1                 | 0,5                                     | 38,4                                    | 64,4                                     |
| 40            | Hattem     | 189              | 187,2                 | 2,0                                     | 1154,6                                  | 1715,5                                   |
| 41            | Tiel       | 906              | 347,2                 | 184,8                                   | 2488,1                                  | 4521,6                                   |
| 42            | Renkum     | 425              | 305,9                 | 666,5                                   | 1531,4                                  | 2332,7                                   |
| 43            | Heerde     | 664              | 155,1                 | 3,7                                     | 71,2                                    | 824,5                                    |
| 44            | Rheden     | 669              | 228,1                 | 0,2                                     | 3,0                                     | 140,1                                    |
| 45            | Nunspeet   | 664              | 253,5                 | 0,5                                     | 30,7                                    | 56,8                                     |

Tabel 7.2 Midden temperatuur warmtevraagclusters met totale warmtevraag en geothermische potentie.

| Clusternummer | Gemeente   | Oppervlakte (ha) | Warmtevraag (TJ/jaar) | Geothermische potentie TJ/jaar Low Case | Geothermische potentie TJ/jaar Mid Case | Geothermische potentie TJ/jaar High Case |
|---------------|------------|------------------|-----------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|
| 1             | Ede        | 72               | 75,8                  | 531,1                                   | 1011,8                                  | 1537,6                                   |
| 2             | Apeldoorn  | 1270             | 705,9                 | 0,4                                     | 2,5                                     | 394,3                                    |
| 3             | Nijmegen   | 676              | 366,3                 | 431,4                                   | 527,5                                   | 906,4                                    |
| 4             | Arnhem     | 790              | 434,2                 | 627,5                                   | 1654,2                                  | 2926,5                                   |
| 5             | Veenendaal | 556              | 321,2                 | 542,2                                   | 956,4                                   | 1440,4                                   |
| 6             | Barneveld  | 665              | 276,0                 | 18,2                                    | 256,9                                   | 2246,3                                   |
| 7             | Ede        | 668              | 290,6                 | 1082,7                                  | 2311,7                                  | 3336,3                                   |
| 8             | Doetinchem | 665              | 277,6                 | 3,0                                     | 25,1                                    | 270,5                                    |
| 9             | Nijmegen   | 669              | 326,0                 | 648,4                                   | 1093,0                                  | 1824,7                                   |
| 10            | Zutphen    | 670              | 292,8                 | 0,1                                     | 0,5                                     | 70,1                                     |
| 11            | Harderwijk | 679              | 248,8                 | 1,2                                     | 2,0                                     | 3,5                                      |
| 12            | Overbetuwe | 665              | 185,9                 | 288,5                                   | 1457,8                                  | 2665,6                                   |
| 13            | Arnhem     | 667              | 226,2                 | 136,1                                   | 454,4                                   | 1287,9                                   |
| 14            | Apeldoorn  | 668              | 167,0                 | 0,2                                     | 0,6                                     | 46,5                                     |
| 15            | Lingewaard | 670              | 190,0                 | 453,1                                   | 1216,3                                  | 2132,0                                   |
| 16            | Apeldoorn  | 1384             | 209,2                 | 0,3                                     | 4,2                                     | 660,8                                    |
| 17            | Lingewaard | 69               | 150,4                 | 153,3                                   | 356,0                                   | 548,1                                    |
| 18            | Ede        | 1025             | 206,5                 | 1162,6                                  | 2195,7                                  | 3216,8                                   |
| 19            | Nijmegen   | 783              | 195,6                 | 343,3                                   | 526,0                                   | 898,4                                    |
| 20            | Lingewaard | 1495             | 169,1                 | 266,4                                   | 1205,1                                  | 1838,6                                   |
| 21            | Barneveld  | 1506             | 163,6                 | 8,6                                     | 109,1                                   | 970,8                                    |
| 22            | Nijmegen   | 1505             | 161,9                 | 1591,7                                  | 3376,4                                  | 5459,0                                   |
| 23            | Rhenen     | 1015             | 145,0                 | 151,5                                   | 540,6                                   | 813,1                                    |
| 24            | Ede        | 661              | 123,5                 | 690,9                                   | 1330,5                                  | 2063,0                                   |
| 25            | Harderwijk | 189              | 68,9                  | 0,9                                     | 1,5                                     | 2,3                                      |
| 26            | Nijmegen   | 70               | 52,1                  | 0,0                                     | 0,0                                     | 0,0                                      |



| Clusternummer | Gemeente    | Oppervlakte (ha) | Warmtevraag (TJ/jaar) | Geothermische potentie TJ/jaar) Low Case | Geothermische potentie TJ/jaar) Mid Case | Geothermische potentie TJ/jaar) High Case |
|---------------|-------------|------------------|-----------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 27            | Lingewaard  | 69               | 44,7                  | 83,8                                     | 248,1                                    | 326,2                                     |
| 28            | Veenendaal  | 69               | 40,6                  | 390,6                                    | 415,9                                    | 627,2                                     |
| 29            | Apeldoorn   | 71               | 32,4                  | 0,0                                      | 0,2                                      | 48,0                                      |
| 30            | Overbetuwe  | 70               | 33,0                  | 393,5                                    | 970,3                                    | 1486,3                                    |
| 31            | Wijchen     | 71               | 62,7                  | 0,0                                      | 0,0                                      | 0,0                                       |
| 32            | Duiven      | 1273             | 452,4                 | 152,1                                    | 559,5                                    | 2033,7                                    |
| 33            | Nijkerk     | 791              | 235,0                 | 6,3                                      | 107,6                                    | 1164,0                                    |
| 34            | Culemborg   | 666              | 220,2                 | 390,4                                    | 390,8                                    | 394,0                                     |
| 35            | Druten      | 548              | 148,1                 | 0,0                                      | 0,0                                      | 0,0                                       |
| 36            | Winterswijk | 671              | 224,8                 | 79,0                                     | 271,3                                    | 671,7                                     |
| 37            | Tiel        | 787              | 252,6                 | 184,8                                    | 2488,1                                   | 4521,6                                    |
| 38            | Zevenaar    | 668              | 209,7                 | 28,7                                     | 152,4                                    | 749,4                                     |
| 39            | Wageningen  | 549              | 207,7                 | 103,3                                    | 560,1                                    | 820,4                                     |
| 40            | Beuningen   | 662              | 222,8                 | 570,8                                    | 701,7                                    | 1143,9                                    |
| 41            | Wijchen     | 790              | 265,9                 | 0,0                                      | 0,0                                      | 0,0                                       |
| 42            | Putten      | 545              | 155,3                 | 0,4                                      | 0,8                                      | 13,9                                      |
| 43            | Nunspeet    | 667              | 155,3                 | 0,5                                      | 30,7                                     | 56,8                                      |
| 44            | Ermelo      | 668              | 157,2                 | 1,3                                      | 2,1                                      | 6,2                                       |
| 45            | West Betuwe | 664              | 139,6                 | 5,0                                      | 160,5                                    | 917,7                                     |

Tabel 7.3 Lage temperatuur warmtevraagclusters en aan- of afwezigheid van een potentie uit Paleogeen reservoirs.

| Clusternummer | Gemeente   | Oppervlakte (ha) | Warmtevraag (TJ per jaar) | Match met Tertiair reservoirs |
|---------------|------------|------------------|---------------------------|-------------------------------|
| 1             | Arnhem     | 71               | 58,4                      | Nee                           |
| 2             | Apeldoorn  | 948              | 151,7                     | Ja                            |
| 3             | Ede        | 648              | 128,9                     | Nee                           |
| 4             | Nijmegen   | 507              | 138,2                     | Nee                           |
| 5             | Veenendaal | 355              | 73,5                      | Nee                           |
| 6             | Barneveld  | 508              | 89,4                      | Ja                            |
| 7             | Nijmegen   | 509              | 97,1                      | Nee                           |
| 8             | Arnhem     | 1521             | 151,1                     | Nee                           |
| 9             | Harderwijk | 1506             | 105,1                     | Ja                            |
| 10            | Overbetuwe | 1502             | 104,3                     | Nee                           |
| 11            | Doetinchem | 1502             | 74,5                      | Nee                           |
| 12            | Zutphen    | 1503             | 76,5                      | Ja                            |
| 13            | Lingewaard | 1506             | 66,1                      | Nee                           |
| 14            | Apeldoorn  | 1364             | 60,5                      | Ja                            |
| 15            | Nijmegen   | 70               | 17,0                      | Nee                           |
| 16            | Overbetuwe | 70               | 13,6                      | Nee                           |

| Clusternummer | Gemeente     | Oppervlakte (ha) | Warmtevraag (TJ per jaar) | Match met Tertiair reservoirs |
|---------------|--------------|------------------|---------------------------|-------------------------------|
| 17            | Nijmegen     | 68               | 8,6                       | Nee                           |
| 18            | Renswoude    | 69               | 11,5                      | Nee                           |
| 19            | Rhenen       | 68               | 11,2                      | Nee                           |
| 20            | Lingewaard   | 71               | 10,4                      | Nee                           |
| 21            | Ede          | 70               | 9,2                       | Nee                           |
| 22            | Nijmegen     | 71               | 8,5                       | Nee                           |
| 23            | Apeldoorn    | 71               | 8,3                       | Ja                            |
| 24            | Arnhem       | 70               | 7,9                       | Nee                           |
| 25            | Nijmegen     | 71               | 8,0                       | Nee                           |
| 26            | Barneveld    | 71               | 8,1                       | Ja                            |
| 27            | Nijmegen     | 71               | 7,8                       | Nee                           |
| 28            | Rhenen       | 70               | 7,7                       | Nee                           |
| 29            | Veenendaal   | 69               | 7,6                       | Nee                           |
| 30            | Overbetuwe   | 71               | 7,2                       | Nee                           |
| 31            | Nijkerk      | 71               | 37,1                      | Ja                            |
| 32            | Heerde       | 1496             | 233,3                     | Ja                            |
| 33            | Wageningen   | 1500             | 77,3                      | Nee                           |
| 34            | Wijchen      | 1499             | 69,4                      | Nee                           |
| 35            | Culemborg    | 1499             | 69,0                      | Ja                            |
| 36            | Beuningen    | 1500             | 49,0                      | Nee                           |
| 37            | Tiel         | 1499             | 47,4                      | Ja                            |
| 38            | Zevenaar     | 70               | 16,4                      | Nee                           |
| 39            | Putten       | 71               | 16,5                      | Ja                            |
| 40            | Oldebroek    | 70               | 14,1                      | Ja                            |
| 41            | Zaltbommel   | 69               | 11,9                      | Ja                            |
| 42            | Nunspeet     | 69               | 11,9                      | Ja                            |
| 43            | Nijkerk      | 71               | 11,3                      | Ja                            |
| 44            | Duiven       | 71               | 10,4                      | Nee                           |
| 45            | Voorst       | 69               | 10,3                      | Ja                            |
| 46            | West Betuwe  | 70               | 9,8                       | Nee                           |
| 47            | Winterswijk  | 68               | 10,0                      | Nee                           |
| 48            | Neder-Betuwe | 70               | 10,2                      | Nee                           |
| 49            | Ermelo       | 70               | 7,1                       | Ja                            |
| 50            | Hatterij     | 71               | 9,4                       | Ja                            |

## Conclusies

De belangrijkste conclusies uit dit onderzoek zijn als volgt:

- van de diepe aquifers zijn het Rotliegend, Schieland, Röt, en Onder Volprieausen zandstenen op voorhand aangewezen als kansrijk voor aardwarmte. Uit de analyses is gebleken dat alleen het Rotliegend en het Schieland voldoende potentie hebben om als serieuze bron in een warmtesysteem te worden ingezet;

- het Dinantiën kon deels in kaart worden gebracht, ontoereikende seismische data en de afwezigheid van putten leidde er echter toe dat geen realistische potentie voor ultradiepe geothermie kon worden ingeschat;
- diepe geothermie heeft in Gelderland kansen in de as tussen Arnhem, Renkum, Nijmegen, Lingewaard, en Wageningen. Hier kunnen vermogens van 4-9 MW worden verwacht. De aanwezigheid van warmtenetten in Arnhem, Nijmegen en Ede, en lopende geothermie-initiatieven in Renkum, Ede en Nijmegen maken deze locaties extra interessant, ook al gaan deze lopende initiatieven over ultradiepe geothermie;
- diepe geothermie kan in Gelderland naar verwachting temperaturen bereiken tot 80 °C. Dit maakt het minder geschikt als directe bron van warmte voor de procesindustrie, die vaak hogere temperaturen nodig heeft. Voor de hoge temperatuurclusters in Gelderland, met uitzondering van Hattem, lijkt de temperatuur van het Rotliegend ook onvoldoende om aan de warmtevraag te voldoen;
- het Schieland kan aanzienlijke vermogens opleveren in het Zuidwesten van Gelderland, in de gemeentes Zaltbommel, West-Betuwe, en Maasdriel. Hier is geen aanzienlijke warmtevraag vanuit de gebouwde omgeving, maar deze bron is interessant voor de glastuinbouw. In Zaltbommel zijn inmiddels opsporingsvergunningen verleend. De in dit rapport vastgestelde potentie uit het Schieland zou hier gebruikt kunnen worden om de glastuinbouw van warmte te voorzien;
- de reservoirs in het Paleogeen bieden mogelijkheden voor de lage en deels midden temperatuur warmtevraag in de gebieden langs de Randmeren. In de Betuwe ligt een smalle strook waar deze reservoirs lage temperatuur mogelijkheden bieden voor de gemeenten Tiel, Culemborg, Geldermalsen, Waardenburg en Zaltbommel. In lokale haalbaarheidsstudies moet worden bekeken hoe dit warmtesysteem eruit komt te zien en wat hierin de rol van warmtepompen is;
- in de omgeving van Arnhem kan de aanwezigheid van boringvrije zones en drinkwaterbeschermingsgebieden de ontwikkeling van geothermiedoubletten bemoeilijken.

## Aanbevelingen

Hieruit kunnen de volgende aanbevelingen worden gedaan:

- het project Aardwarmte in de Vallei focust zich nu veelal op warmte uit ultradiepe geothermie tot 120 °C. De aanwezigheid van significante reserves aan midden temperatuur warmte uit de Rotliegend Formatie in deze gebieden doet concluderen dat deze bronnen zeker een rol zouden moeten krijgen in het energiesysteem dat hier worden gepland;
- het warmtenet van Vattenfall in Arnhem, Duiven en omgeving dat nu nog van warmte wordt voorzien door een afvalverwerkingscentrale in Duiven is onderwerp van verduurzamingsplannen. Uit dit onderzoek blijkt dat dit warmtenet van duurzame warmte op midden temperatuur uit diepe geothermie kan worden voorzien, mits doubletten worden geslagen aan de zuidwestelijke kant van Arnhem waar de vermogens uit het Rotliegend hoog zijn;
- het is nu zaak om de Transitievisies Warmte die reeds zijn opgesteld te herijken middels de gegevens uit dit onderzoek;
- gemeentes die al bepaalde gebieden op het oog hadden voor een ontwikkeling met geothermie, kunnen uit deze studie de uitgangspunten halen met betrekking tot de ondergrond om de businesscase projecties rond te krijgen. Hierbij is het belangrijk te vermelden dat bestaande initiatieven in gebieden die niet in een van de clusters vallen niet worden uitgesloten door de resultaten van dit onderzoek;
- gemeentes die wel geïnteresseerd zijn in de kansen voor geothermie maar nog geen concrete gebieden hiervoor hebben aangewezen, kunnen de clusters die in dit rapport worden voorgesteld als uitgangspunt gebruiken voor lokale haalbaarheidsstudies;
- de overlap tussen hoge, midden, en lage temperatuurclusters kan in gebieden van hoge geothermische potentie een reden kunnen zijn om cascaderende warmtesystemen op verschillende temperatuurniveaus te overwegen. De gegevens die bij deze rapportage zijn gevoegd geven gemeentes de tools om deze analyses zelf uit te voeren.



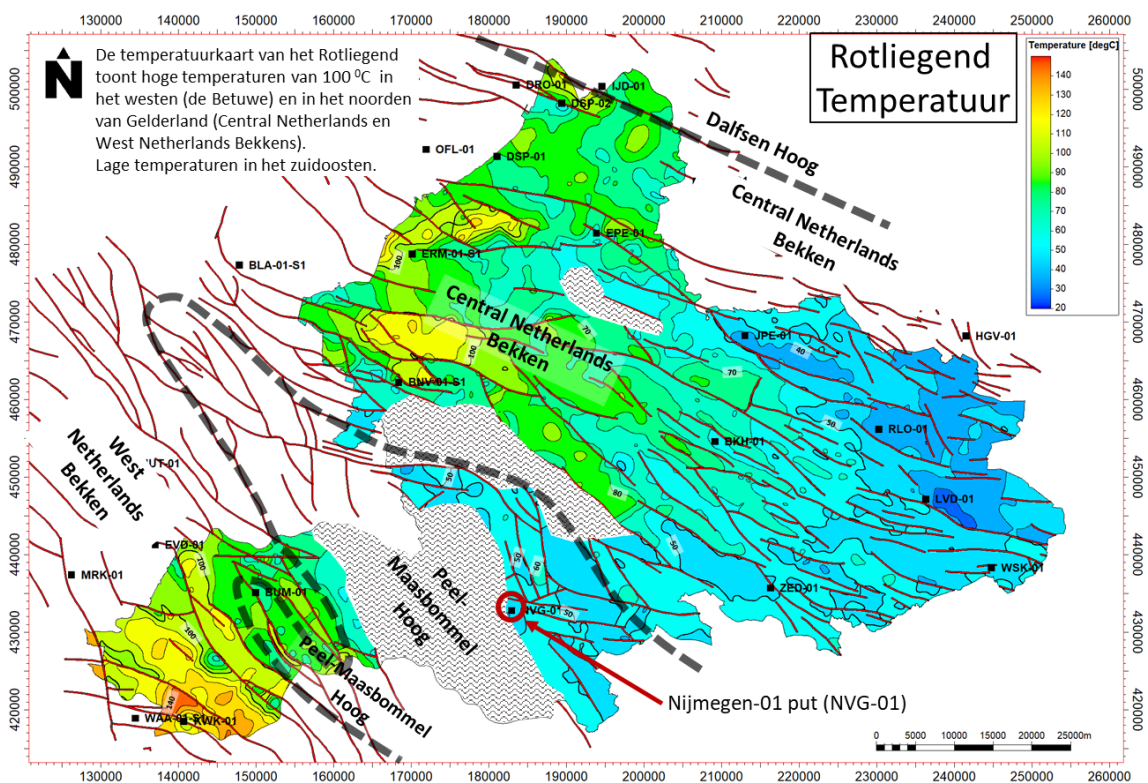
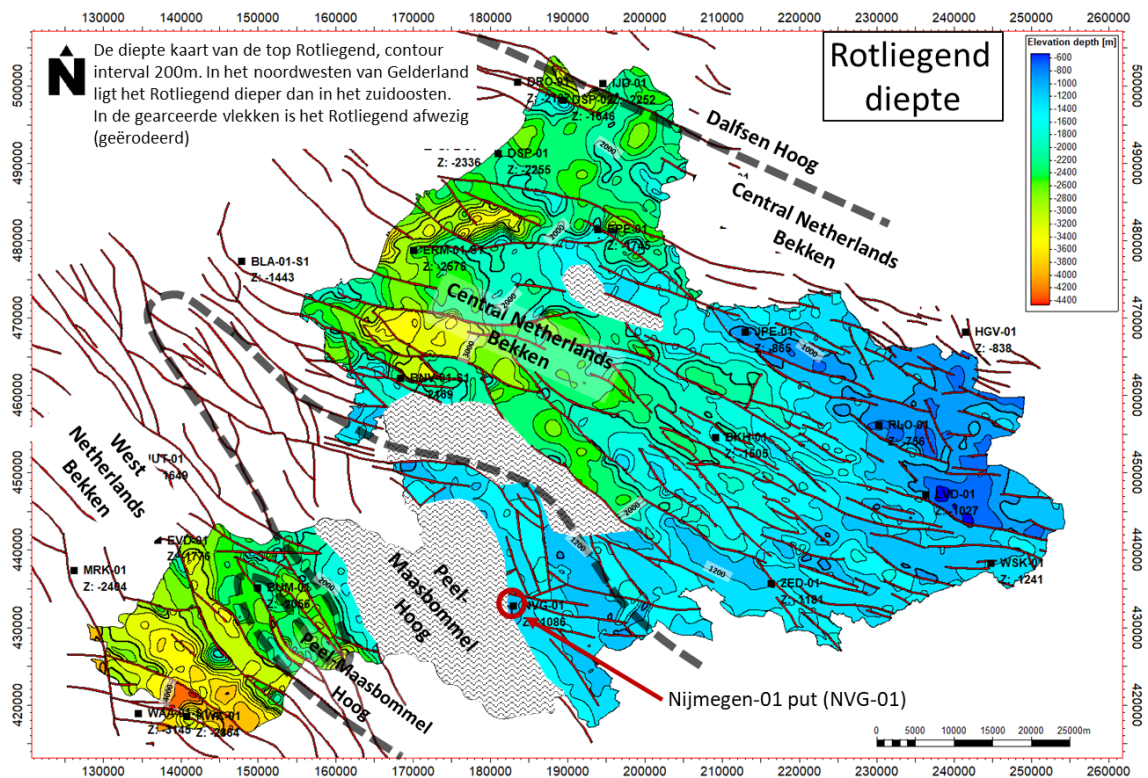
Bijlage(n)







## BIJLAGE: ROTLIEGEND RESERVOIR KAARTEN



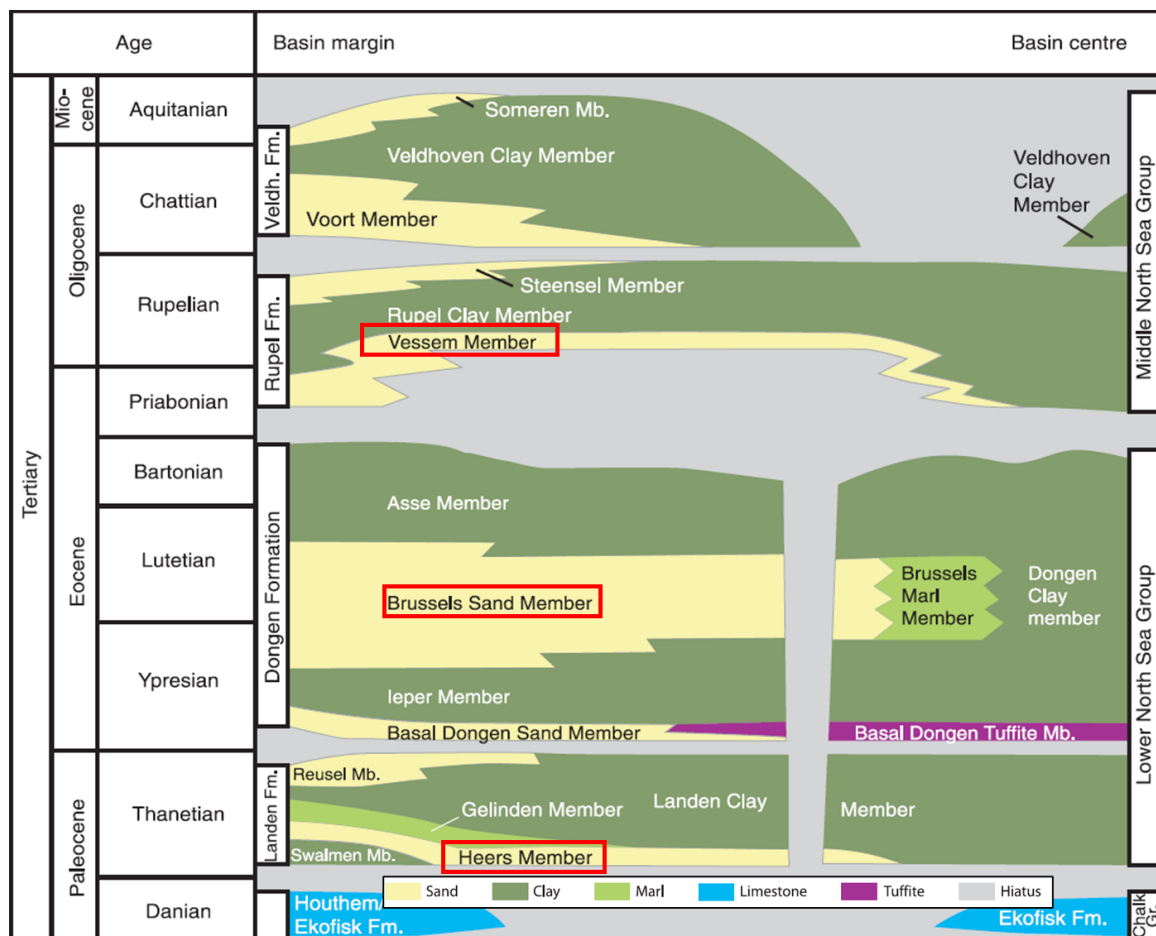




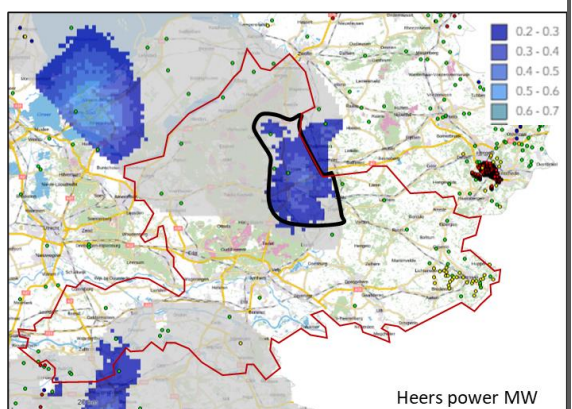
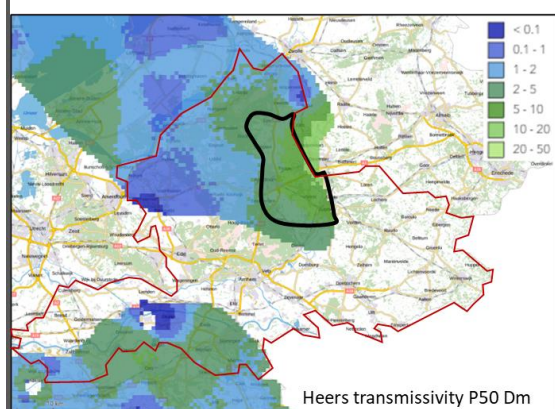
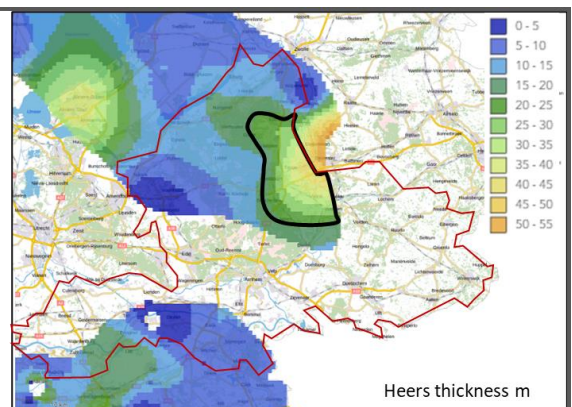
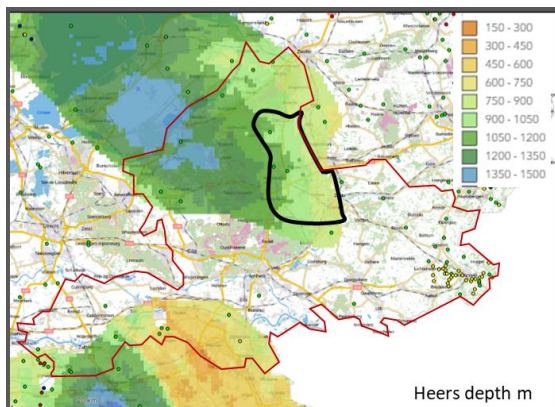
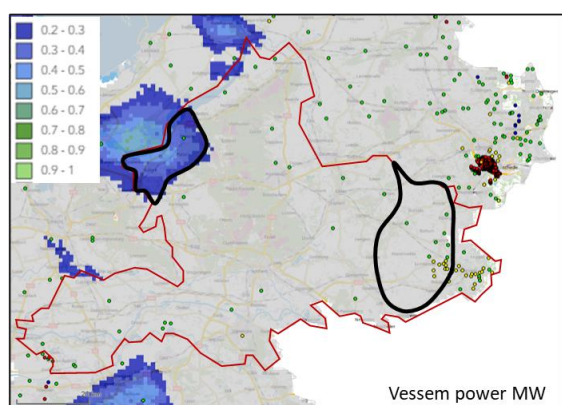
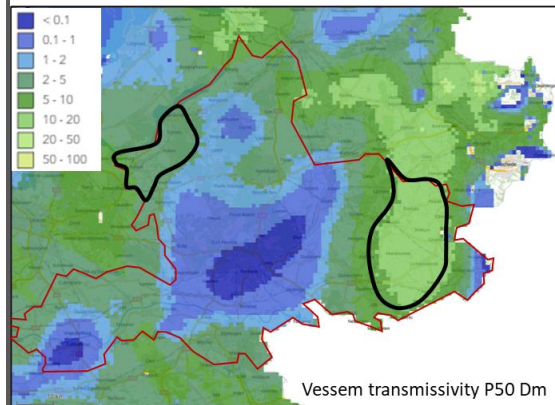
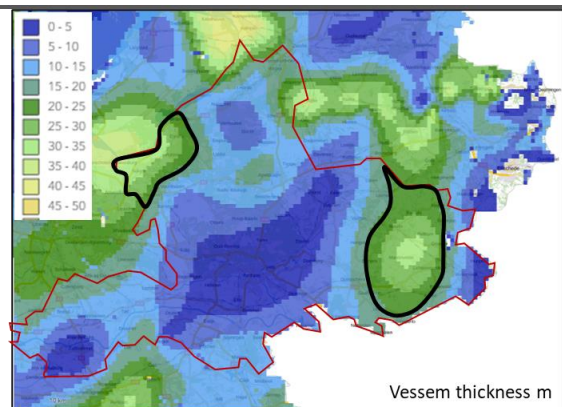
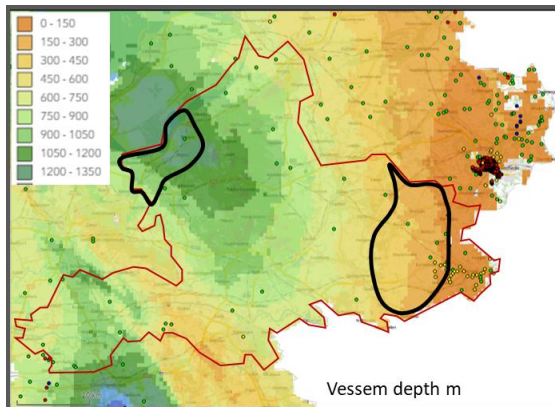
## BIJLAGE: PALEOGEEN (TERTIAIRE) RESERVOIRS (STRATIGRAFIE EN RESERVOIR VERSPREIDING)



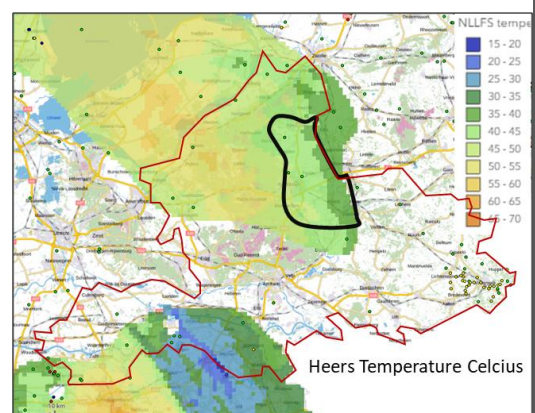
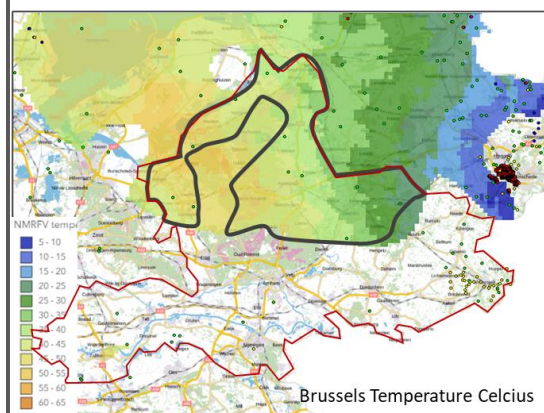
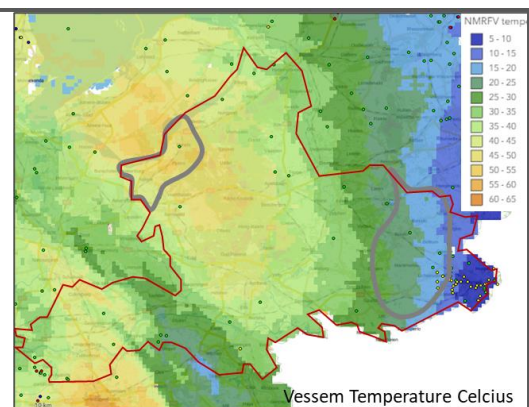
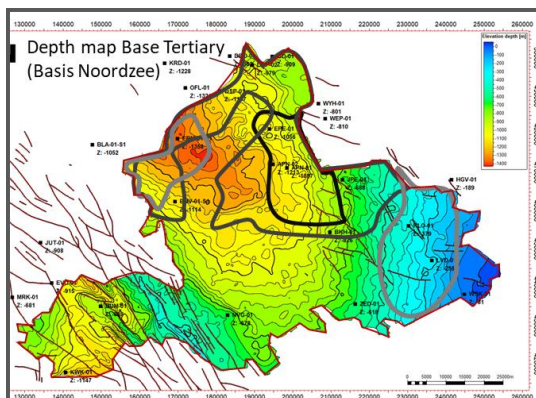
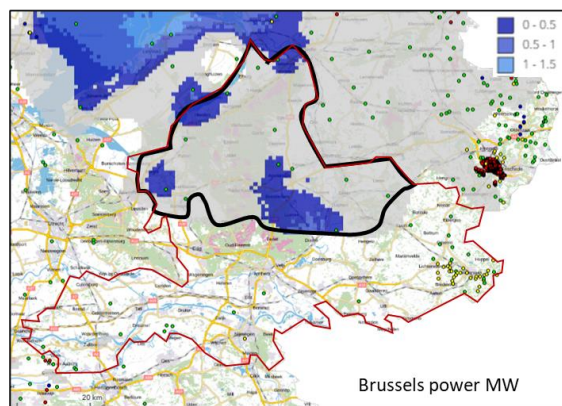
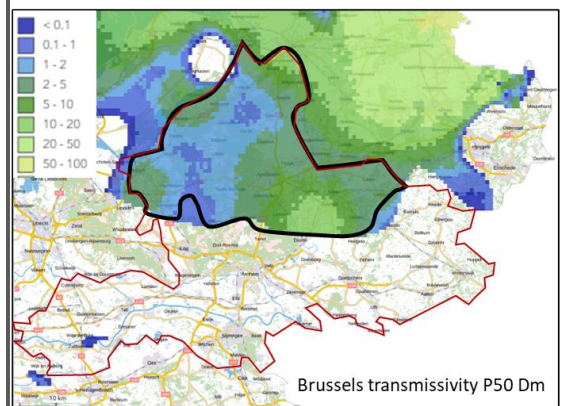
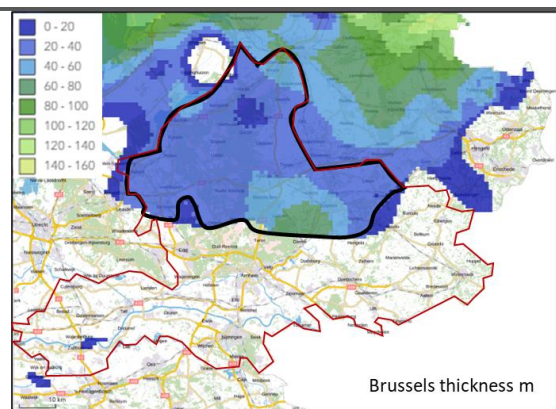
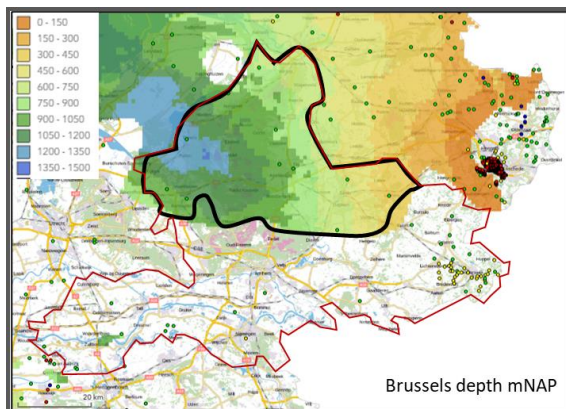
Onderstaande afbeelding toont een stratigrafische kolom van het Tertiair (Noordzee Groep) naar Wong, 2008 en van Adrichem Boogaert & Kouwe, 1997. In Gelderland komen drie mogelijke reservoirs voor, de ondiepe Vesse Member, de Brussel Zand Member en de diepere Heers Member.



In de volgende afbeeldingen wordt voor elk van deze reservoirs een aantal kaarten gegeven die rechtstreeks uit ThermoGIS komen. Met zwart omlijnde gebieden is aangegeven waar het reservoir potentie heeft voor ondiepe geothermie. Hier is de dikte van het reservoir groter dan 20 m. De temperatuur is over het algemeen lager dan 50 °C. Er zullen bij deze lage temperaturen dus warmtepompen nodig zijn om de geproduceerde warmte geschikt te maken voor geothermie/WKO toepassing. Echter, in het noordwesten van Gelderland worden aan de basis van het Tertiair grotere dieptes bereikt van meer dan 1.000 m. Ook de jongste Vesse zanden die hier een goede reservoir kwaliteit hebben bereiken een diepte van rond de 1.000 m, waardoor het reservoir een temperatuur kan leveren van 40 à 50 °C. Bij deze omstandigheden geeft ThermoGIS een vermogen van 0.3 MW in de Mid Case tot wel 10 MW in de High Case. Deze reservoirs liggen onder Ermelo, Putten, Hardenberg en Nijkerk. De Brussel en de Heers zanden van mindere kwaliteit en leveren hier geen vermogen volgens ThermoGIS. De Brussel Zanden kunnen eventueel beter ontwikkeld zijn en in de High Case toch ook een vermogen leveren van 10 MW bij een temperatuur van 45-55 °C.









## BIJLAGE: VERMOGENSBEREKENING AANNAMES EN VEREENVOUDIGINGEN

Onderstaande aannames zijn gebruikt bij het berekenen van de vermogenskaarten in dit onderzoek.

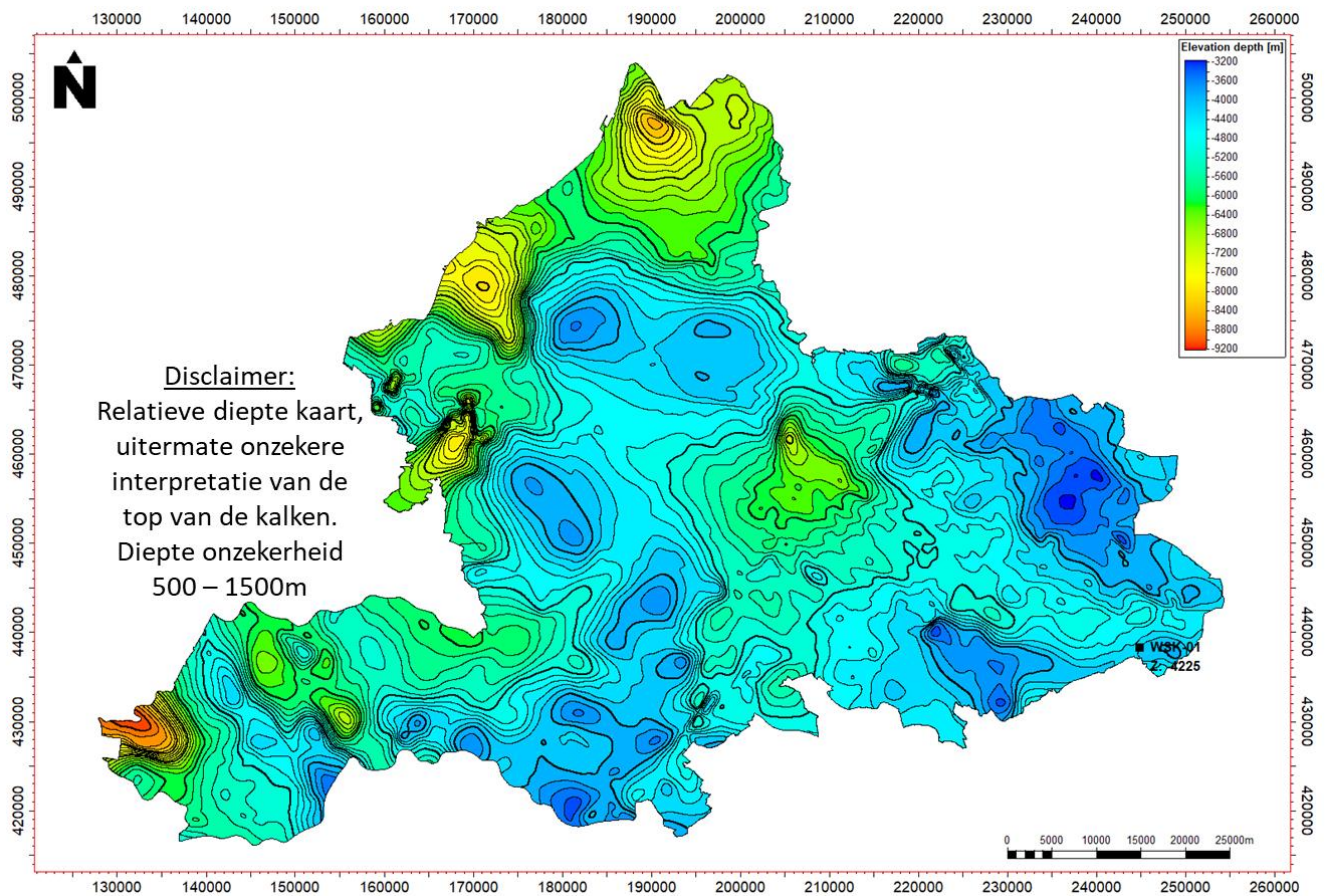
- de retourtemperatuur van het geïnjecteerde water is gezet op 35 °C. Indien de reservoir temperatuur lager is dan 50 °C wordt een lagere retourtemperatuur gekozen zodat de minimum opbrengst 15 °C bedraagt;
- de ontwerpen van de put binnendiameter zijn voor alle locaties gelijk, en de productiestroom is gemaximaliseerd op 500 m<sup>3</sup>/uur;
- de maximale injectiedruk is gebaseerd op de richtlijn van SODM (1.035 bar/m);
- de saliniteit is afhankelijk van diepte (ThermoGIS benadering);
- de druk gradiënt voor berekening van reservoir druk is constant (0.106 bar/m);
- de afstand tussen twee putten is 1.500 m;
- de laagdikte wordt beschouwd als 100 % reservoir (N/G = 1);
- de berekende vermogens zijn gereduceerd met 20 %. Dit is gedaan om de druk en warmteverlies gerelateerde detail berekeningen in DoubletCalc die niet in de powerkaart berekeningen zijn opgenomen te corrigeren om de uitkomsten te kunnen vergelijken met ThermoGIS en DoubletCalc;
- Kh/Kv is constant gehouden op 1.



# IV

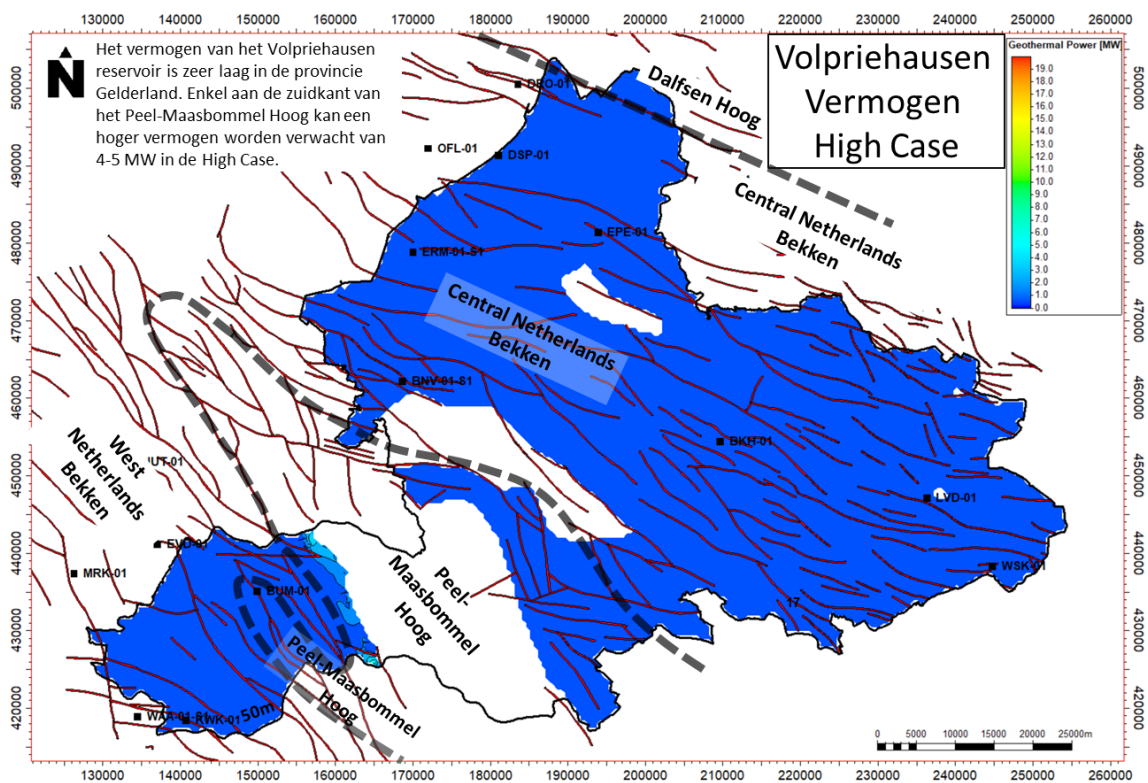
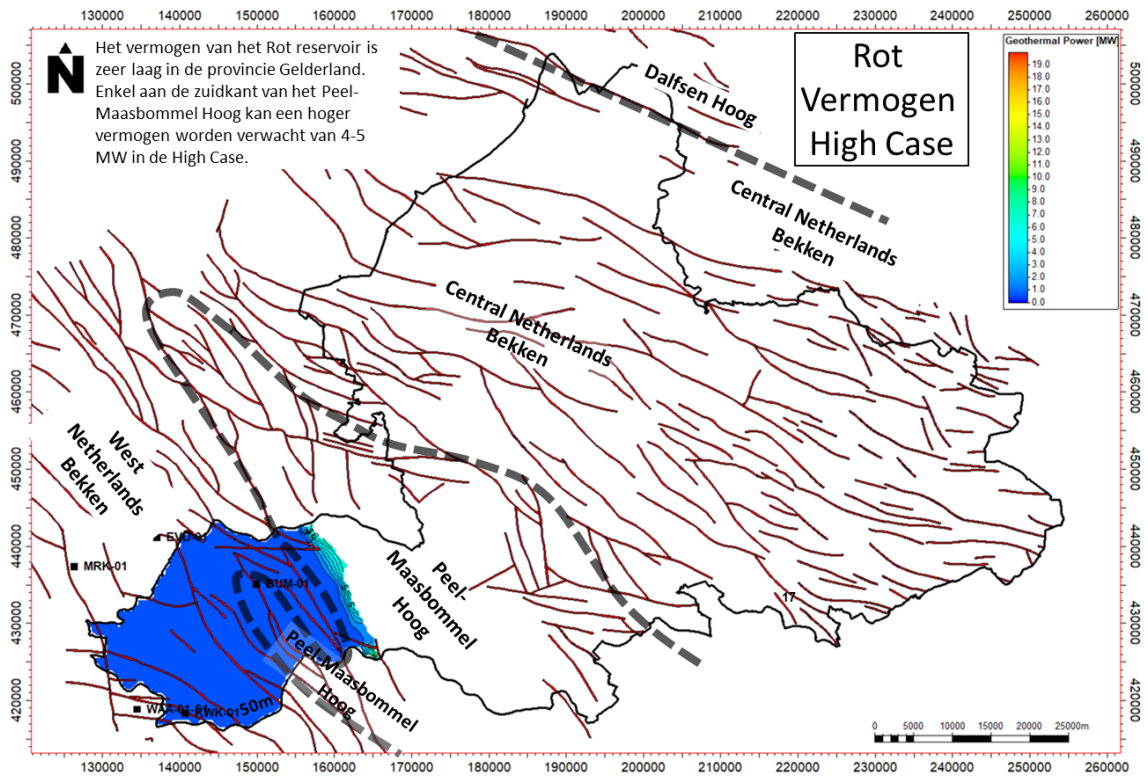
## BIJLAGE: DIEPTEKAART DINANTIËN

De dieptekaart van de top Dinantiën kalken is gebaseerd op een zeer onzekere seismische interpretatie. De kaart moet gezien worden als een relatieve diepte kaart waarop mogelijke dieper Dinantiën van ondieper Dinantiën gescheiden kan worden. Dieptes op de kaart kunnen er gemakkelijk 500 m-1.500 m naast zitten.





## BIJLAGE: HIGH CASE VERMOGENSKAARTEN TRIAS RÖT EN VOLPRIEHAUSEN



# VI

## BIJLAGE: WARMTEVRAAGCLUSTERS MET TOTALE WARMTEVRAAG EN GEOTHERMISCHE POTENTIE UIT DE VERSCHILLENDE RESERVOIRS



Tabel VI.1 Hoge temperatuur warmtevraagclusters

| Cluster nummer | Gemeente    | Oppervlakte (ha) | Warmtevraag (TJ/jaar) | Potentie Rotliegend (TJ/jaar) Low Case | Potentie Rotliegend (TJ/jaar) Mid Case | Potentie Rotliegend (TJ/jaar) High Case |
|----------------|-------------|------------------|-----------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|
| 1              | Nijmegen    | 69               | 239,3                 | 648,4                                  | 1093,0                                 | 1761,4                                  |
| 2              | Apeldoorn   | 1259             | 876,4                 | 0,2                                    | 0,7                                    | 146,3                                   |
| 3              | Arnhem      | 905              | 886,8                 | 104,0                                  | 319,0                                  | 699,8                                   |
| 4              | Ede         | 430              | 307,6                 | 1082,6                                 | 2311,3                                 | 3246,6                                  |
| 5              | Nijmegen    | 1024             | 890,5                 | 663,9                                  | 1008,3                                 | 1616,4                                  |
| 6              | Zutphen     | 430              | 355,1                 | 0,1                                    | 0,5                                    | 69,9                                    |
| 7              | Veenendaal  | 663              | 469,2                 | 542,1                                  | 956,2                                  | 1386,9                                  |
| 8              | Harderwijk  | 551              | 315,8                 | 0,5                                    | 0,7                                    | 1,1                                     |
| 9              | Doetinchem  | 665              | 1109,8                | 6,5                                    | 50,7                                   | 486,2                                   |
| 10             | Nijmegen    | 667              | 239,7                 | 343,3                                  | 526,0                                  | 840,7                                   |
| 11             | Lingewaard  | 666              | 461,3                 | 349,2                                  | 899,6                                  | 1467,4                                  |
| 12             | Barneveld   | 663              | 159,0                 | 18,1                                   | 251,1                                  | 2237,5                                  |
| 13             | Arnhem      | 661              | 246,1                 | 552,3                                  | 1355,2                                 | 2305,2                                  |
| 14             | Apeldoorn   | 666              | 157,4                 | 0,1                                    | 0,3                                    | 106,5                                   |
| 15             | Ede         | 663              | 164,8                 | 690,8                                  | 1330,3                                 | 1957,2                                  |
| 16             | Nijmegen    | 1148             | 534,1                 | 1235,3                                 | 1894,7                                 | 2880,9                                  |
| 17             | Lingewaard  | 1504             | 492,3                 | 346,1                                  | 1011,3                                 | 2443,0                                  |
| 18             | Apeldoorn   | 1495             | 419,1                 | 0,2                                    | 0,3                                    | 50,9                                    |
| 19             | Arnhem      | 1259             | 472,6                 | 149,3                                  | 573,3                                  | 1583,0                                  |
| 20             | Nijmegen    | 666              | 451,4                 | 312,2                                  | 906,9                                  | 1473,3                                  |
| 21             | Apeldoorn   | 427              | 138,6                 | 0,2                                    | 0,3                                    | 45,2                                    |
| 22             | Lingewaard  | 1503             | 205,3                 | 611,0                                  | 2330,8                                 | 3675,2                                  |
| 23             | Berg en Dal | 1497             | 659,5                 | 367,8                                  | 1213,0                                 | 2339,9                                  |
| 24             | Doetinchem  | 68               | 188,8                 | 0,2                                    | 3,4                                    | 107,7                                   |
| 25             | Overbetuwe  | 70               | 177,7                 | 211,0                                  | 501,6                                  | 721,3                                   |
| 26             | Overbetuwe  | 69               | 141,9                 | 173,4                                  | 947,4                                  | 1659,9                                  |
| 27             | Zutphen     | 69               | 109,3                 | 0,0                                    | 0,0                                    | 9,4                                     |
| 28             | Apeldoorn   | 70               | 101,4                 | 0,0                                    | 0,1                                    | 31,1                                    |
| 29             | Arnhem      | 71               | 82,4                  | 135,8                                  | 449,0                                  | 1224,4                                  |
| 30             | Barneveld   | 70               | 49,8                  | 7,3                                    | 94,2                                   | 834,5                                   |
| 31             | Renkum      | 69               | 168,6                 | 97,4                                   | 341,7                                  | 866,6                                   |
| 32             | Wijchen     | 1265             | 283,5                 |                                        |                                        |                                         |
| 33             | Putten      | 781              | 243,6                 | 1,0                                    | 1,9                                    | 28,4                                    |
| 34             | Lochem      | 548              | 744,5                 | 30,2                                   | 138,2                                  | 431,3                                   |
| 35             | Wageningen  | 785              | 332,3                 | 309,1                                  | 994,3                                  | 1432,2                                  |
| 36             | Culemborg   | 662              | 209,0                 | 0,7                                    | 1,1                                    | 3,9                                     |
| 37             | Ermelo      | 1266             | 304,8                 | 1,5                                    | 2,6                                    | 17,8                                    |

| Cluster nummer | Gemeente   | Oppervlakte (ha) | Warmtevraag (TJ/jaar) | Potentie Rotliegend (TJ/jaar) Low Case | Potentie Rotliegend (TJ/jaar) Mid Case | Potentie Rotliegend (TJ/jaar) High Case |
|----------------|------------|------------------|-----------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|
| 38             | Oost Gelre | 548              | 141,1                 | 136,6                                  | 456,4                                  | 991,9                                   |
| 39             | Epe        | 549              | 138,1                 | 0,5                                    | 38,3                                   | 64,3                                    |
| 40             | Hattem     | 189              | 187,2                 | 2,0                                    | 1154,6                                 | 1715,5                                  |
| 41             | Tiel       | 906              | 347,2                 | 182,8                                  | 2480,0                                 | 4272,2                                  |
| 42             | Renkum     | 425              | 305,9                 | 666,4                                  | 1531,3                                 | 2228,0                                  |
| 43             | Heerde     | 664              | 155,1                 | 3,7                                    | 71,2                                   | 824,5                                   |
| 44             | Rheden     | 669              | 228,1                 | 0,2                                    | 2,9                                    | 140,0                                   |
| 45             | Nunspeet   | 664              | 253,5                 | 0,5                                    | 30,7                                   | 56,7                                    |

Tabel VI.2 Midden temperatuur warmtevraagclusters

| Cluster nummer | Gemeente   | Oppervlakte (ha) | Warmtevraag (TJ/jaar) | Potentie Rotliegend (TJ/jaar) Low Case | Potentie Rotliegend (TJ/jaar) Mid Case | Potentie Rotliegend (TJ/jaar) High Case |
|----------------|------------|------------------|-----------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|
| 1              | Ede        | 72               | 75,8                  | 531,0                                  | 1011,6                                 | 1452,4                                  |
| 2              | Apeldoorn  | 1270             | 705,9                 | 0,3                                    | 2,0                                    | 392,3                                   |
| 3              | Nijmegen   | 676              | 366,3                 | 431,4                                  | 527,5                                  | 857,8                                   |
| 4              | Arnhem     | 790              | 434,2                 | 627,4                                  | 1654,2                                 | 2926,1                                  |
| 5              | Veenendaal | 556              | 321,2                 | 542,1                                  | 956,2                                  | 1386,9                                  |
| 6              | Barneveld  | 665              | 276,0                 | 18,1                                   | 251,1                                  | 2237,5                                  |
| 7              | Ede        | 668              | 290,6                 | 1082,6                                 | 2311,3                                 | 3246,6                                  |
| 8              | Doetinchem | 665              | 277,6                 | 3,0                                    | 25,1                                   | 270,4                                   |
| 9              | Nijmegen   | 669              | 326,0                 | 648,4                                  | 1093,0                                 | 1761,4                                  |
| 10             | Zutphen    | 670              | 292,8                 | 0,1                                    | 0,5                                    | 69,9                                    |
| 11             | Harderwijk | 679              | 248,8                 | 1,2                                    | 2,0                                    | 3,5                                     |
| 12             | Overbetuwe | 665              | 185,9                 | 288,5                                  | 1457,7                                 | 2660,9                                  |
| 13             | Arnhem     | 667              | 226,2                 | 136,1                                  | 454,4                                  | 1287,8                                  |
| 14             | Apeldoorn  | 668              | 167,0                 | 0,2                                    | 0,3                                    | 45,2                                    |
| 15             | Lingewaard | 670              | 190,0                 | 453,1                                  | 1216,3                                 | 2132,0                                  |
| 16             | Apeldoorn  | 1384             | 209,2                 | 0,3                                    | 4,0                                    | 659,9                                   |
| 17             | Lingewaard | 69               | 150,4                 | 153,3                                  | 356,0                                  | 548,0                                   |
| 18             | Ede        | 1025             | 206,5                 | 1162,5                                 | 2195,2                                 | 3108,8                                  |
| 19             | Nijmegen   | 783              | 195,6                 | 343,3                                  | 526,0                                  | 840,7                                   |
| 20             | Lingewaard | 1495             | 169,1                 | 266,4                                  | 1205,1                                 | 1838,5                                  |
| 21             | Barneveld  | 1506             | 163,6                 | 8,5                                    | 103,5                                  | 961,8                                   |
| 22             | Nijmegen   | 1505             | 161,9                 | 1591,7                                 | 3376,3                                 | 5313,9                                  |
| 23             | Rhenen     | 1015             | 145,0                 | 151,5                                  | 540,4                                  | 767,2                                   |
| 24             | Ede        | 661              | 123,5                 | 690,8                                  | 1330,3                                 | 1957,2                                  |
| 25             | Harderwijk | 189              | 68,9                  | 0,9                                    | 1,5                                    | 2,3                                     |

| Cluster nummer | Gemeente    | Oppervlakte (ha) | Warmtevraag (TJ/jaar) | Potentie Rotliegend (TJ/jaar) Low Case | Potentie Rotliegend (TJ/jaar) Mid Case | Potentie Rotliegend (TJ/jaar) High Case |
|----------------|-------------|------------------|-----------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|
| 26             | Nijmegen    | 70               | 52,1                  |                                        |                                        |                                         |
| 27             | Lingewaard  | 69               | 44,7                  | 83,8                                   | 248,1                                  | 326,1                                   |
| 28             | Veenendaal  | 69               | 40,6                  | 390,6                                  | 415,7                                  | 619,6                                   |
| 29             | Apeldoorn   | 71               | 32,4                  | 0,0                                    | 0,1                                    | 47,7                                    |
| 30             | Overbetuwe  | 70               | 33,0                  | 393,5                                  | 970,2                                  | 1403,5                                  |
| 31             | Wijchen     | 71               | 62,7                  |                                        |                                        |                                         |
| 32             | Duiven      | 1273             | 452,4                 | 152,1                                  | 559,5                                  | 2033,6                                  |
| 33             | Nijkerk     | 791              | 235,0                 | 6,2                                    | 107,5                                  | 1163,7                                  |
| 34             | Culemborg   | 666              | 220,2                 | 0,7                                    | 1,1                                    | 3,9                                     |
| 35             | Druten      | 548              | 148,1                 |                                        |                                        |                                         |
| 36             | Winterswijk | 671              | 224,8                 | 77,6                                   | 268,4                                  | 666,3                                   |
| 37             | Tiel        | 787              | 252,6                 | 182,8                                  | 2480,0                                 | 4272,2                                  |
| 38             | Zevenaar    | 668              | 209,7                 | 28,7                                   | 152,4                                  | 749,4                                   |
| 39             | Wageningen  | 549              | 207,7                 | 103,3                                  | 560,0                                  | 790,5                                   |
| 40             | Beuningen   | 662              | 222,8                 | 570,8                                  | 701,7                                  | 1094,3                                  |
| 41             | Wijchen     | 790              | 265,9                 |                                        |                                        |                                         |
| 42             | Putten      | 545              | 155,3                 | 0,4                                    | 0,8                                    | 13,9                                    |
| 43             | Nunspeet    | 667              | 155,3                 | 0,5                                    | 30,7                                   | 56,7                                    |
| 44             | Ermelo      | 668              | 157,2                 | 1,3                                    | 2,1                                    | 6,2                                     |
| 45             | West Betuwe | 664              | 139,6                 | 4,8                                    | 142,1                                  | 889,7                                   |

# VII

## BIJLAGE: OPLEGBRIEF VERWERKING FEEDBACK KLANKBORDGROEP

PanTerra en Witteveen+Bos hebben in opdracht van de Provincie Gelderland een potentiëstudie uitgevoerd om de kansen van geothermie in Gelderland in beeld te brengen. De belangrijkste gebruikers van deze studie: lokale overheden zoals gemeentes en Waterschappen, hebben tijdens het onderzoek een adviserende rol gespeeld door middel van een klankbordgroep. In de klankbordgroep zijn eerste prototypes van geothermische kansenkaarten besproken, en is feedback opgehaald, voornamelijk op basis van de communicatiewaarde van de kaarten. In deze brief lichten we kort toe wat de belangrijkste terugkoppeling van de klankbordgroep is geweest, en hoe deze feedback in het eindresultaat is meegenomen.

## 1. Communicatie van de geothermische potentie

**Feedback:** In het algemeen heeft de klankbordgroep geadviseerd om voorzichtig te zijn met kaarten of bewoordingen die verkeerd geïnterpreteerd zouden kunnen worden. Men gaf bijvoorbeeld aan dat het belangrijk is om gebieden met lage potentie voor geothermie niet aan te duiden als “geen geothermie mogelijk”, omdat zo’n uitdrukking een eigen leven kan gaan leiden.

**Actie:** We hebben de bewoordingen aangepast en voor dit publieksrapport gebieden niet te snel ‘uitgesloten’ om te voorkomen dat men concludeert dat er niets mogelijk is. Ook heeft de klankbordgroep geholpen om de kaartweergaven zo duidelijk mogelijk te maken, door feedback te geven op tussenresultaten.

## 2. Inzicht in de totale warmtevraag

**Feedback:** Leden van de klankbordgroep hebben aangegeven graag inzicht te krijgen in de totale grootte en warmtevraag van de warmtevraagclusters die in de studie zijn gehanteerd.

**Actie:** Als reactie hierop hebben we tabellen in de publieksrapportage toegevoegd die deze gegevens weergeven. Voor de hoge en midden temperatuur warmtevraagclusters is ook het warmteaanbod vanuit de verschillende reservoirs aangegeven voor elke cluster. Alleen voor de lage temperatuur warmtevraagclusters is dit niet gedaan, omdat alleen de Tertiair aquifers in aanmerking komen om lage temperatuur warmte te voorzien, en hiervan kon geen vermogen berekend worden.

## 3. Inzicht in de dieptes van geothermische aardlagen

**Feedback:** Vanuit de klankbordgroep was er behoefte om de diepte van de reservoirs ook in kaarten te kunnen zien, omdat de kosten van het boren van een put hiermee samenhangen.

**Actie:** De dieptekaart van het Rotliegend reservoir is bijgevoegd als bijlage, en dieptekaarten van de verschillende reservoirs kunnen in de GIS bestanden die met de studie worden opgeleverd worden gekoppeld aan warmtevraagclusters in Gelderland.

## 4. In één oogopslag inzicht in de geothermische kansen van Gelderland

**Feedback:** De klankbordgroep gaf aan dat losse kaarten met de geothermische potentie van verschillende aardlagen verwarrend kunnen werken voor bestuurders, omdat de afwezigheid van één bepaalde laag ergens de indruk kan wekken dat geothermie daar niet mogelijk is, terwijl daar misschien alsnog andere geschikte aardlagen aanwezig zijn.

**Actie:** We hebben een geaggregeerde kaart gemaakt van alle verschillende reservoirs samen, los van de kaarten per aardlaag die in de rapportage zijn te bekijken. Deze gecombineerde kaart, ook te vinden in de managementsamenvatting, is specifiek gericht op bestuurders en bevat over alle types geothermie uitsluitel van de kansen overal in Gelderland.

## 5. Restricties versus belemmeringen

**Feedback:** In een eerste versie van de kaarten in de rapportage werden restrictiezones voor geothermie meegenomen zoals: algemene strategische voorraden, nationale grondwaterreservoirs, waterwingebieden,



grondwaterbeschermingszones, en Natura2000-gebieden. De klankbordgroep gaf aan dat hier beter een onderverdeling in kan worden gemaakt. Sommige van deze factoren zijn slechts een belemmering, terwijl andere factoren vanwege (Provinciaal) beleid een harde restrictie vormen voor geothermie.

**Actie:** We hebben het advies van de Klankbordgroep overgenomen en bovenstaande gebieden onderverdeeld in restrictiegebieden en aandachtsgebieden.

## 6. (On)zekerheid van de onderzoeksresultaten

**Feedback:** De klankbordgroep gaf aan dat er geen duidelijkheid is gegeven over de zekerheid en bandbreedte van de resultaten. Dit maakt het lastig in de schatten voor gemeentes in hoeverre er extra onderzoek nodig is, en in hoeverre er al geothermieprojecten zouden kunnen worden gerealiseerd.

**Actie:** We hebben een kaart toegevoegd die de (on)zekerheid van de onderzoeksresultaten aangeeft op basis van beschikbare informatie. Deze kaart laat aan de hand van kleuren zien waar betrouwbare data als gevolg van een goede data spreiding aanwezig is en waar vermoedelijk meer data zal moeten worden verkregen om een geothermieproject te realiseren.

## 7. Gebruik van gegevens over de huidige en toekomstige warmtevraag

**Feedback:** Om de kansen voor geothermie te identificeren moet worden gekeken naar gebieden waar de warmtevraag een hoge dichtheid heeft. Voor dit onderzoek hebben wij hier de warmtevraag in 2019 als basis aangehouden. Voor de klankbordgroep was het niet duidelijk waarom we niet ook projecties voor 2030 hebben gebruikt in de studie.

**Actie:** We hebben ervoor gekozen om toch de gegevens van 2019 te blijven gebruiken omdat de warmtevraag in 2019 is gebaseerd op verifieerbare data en de warmtevraag voor 2030 een functie betreft van de vraag uit 2019. Gebieden met verhoogde warmtevraag in 2019 komen dus overeen met gebieden met verhoogde warmtevraag in 2030. Tegelijkertijd kunnen gemeentes zelf makkelijk met de GIS-lagen aan de slag om eigen vervolgonderzoeken te starten waarin voor de gemeente meer specifieke uitgangspunten voor de toekomstige warmtevraag worden gebruikt

