Update lokale potentiestudie geothermie LOAN

Lingewaard, Overbetuwe, Arnhem, Nijmegen



IF Technology **Creating energy**

Datum	22 mei 2026
Referentie	PR11482/JK/20260522
Betreft	Update lokale potentiestudie geothermie LOAN
Behandeld door	Quinten Boersma en Rinde Kooij
Gecontroleerd door	Jasper Kwee en Roel Dirkx
Versienummer	1

OPDRACHTGEVER

Gemeente Arnhem (i.s.m. gemeentes Lingewaard, Overbetuwe en Nijmegen)
M. Visser
Postbus 5465
6802 EL ArnhemT
06-46737477
marion.visser@arnhem.nl

INHOUDSOPGAVE

1 Inleiding 5
1.1 Aanleiding 5
1.2 Behandeling van de onderzoeksvraag 5
2 Vergelijking met de eerdere LOAN-studie 7
2.1 Nieuwe data uit het SCAN programma 7
2.2 Toepassing van nieuwe SCAN-data 7
2.3 Hergebruik van eerdere interpretaties 8
2.4 Effect van Uitloging op reservoirkwaliteit 8
2.5 Extra onzekerheid: Begravinsgeschiedenis 8
3 Vernieuwde geothermiepotentie in de LOAN-gemeenten 10
3.1 Belangrijkste conclusies 10
4 Verdieping op de Formatie van Slochteren 15
4.1 Diepte en Dikte 15
4.2 Temperatuur 15
4.3 Reservoirkwaliteit 16
4.4 Potentiebepaling 19
5 Verdieping op de Hoofd Bontzandsteen Subgroep 21
5.1 Diepte en dikte 21
5.2 Temperatuur 21
5.3 Reservoirkwaliteit 22
5.4 Potentiebepaling 23
6 Verdieping op de Nederweert Zandsteen Formatie 26
6.1 Diepte en Dikte 26
6.2 Temperatuur 26
6.3 Reservoirkwaliteit 27
6.4 Potentiebepaling 28
7 Verdieping op het Z1 Randcarbonaat Laagpakket 31
7.1 Waarom het Z1 Randcarbonaat? 31
7.2 Mogelijke kansgebieden 31
7.3 Indicatieve geothermische potentie 33
8 Locatie specifieke studie 34
8.1 Locatiekeuze 34
8.2 Potentieberekeningen 36
8.3 Kosteninschatting 41
Bijlage 1 44
Resultaten petrofysische interpretatie Formatie van Slochteren 44
Bijlage 2 45
Resultaten petrofysische interpretatie Hoofd Bontzandsteen Subgroep 45
Bijlage 3 46
Resultaten petrofysische interpretatie Nederweert Zandsteen Formatie 46
Bijlage 4 47

Resultaten petrofysische interpretatie Z1
Randcarbonaat 47
Bijlage 5 **48**
Kostprijs en warmtelevering 48
5.1 Varianten 48
5.2 systeemconcept 48
5.3 Kostprijs warmte 50

1 Inleiding

1.1 AANLEIDING

De gemeentes Lingewaard, Overbetuwe, Arnhem en Nijmegen (LOAN) zijn bezig met de energietransitie en als onderdeel hiervan wordt ook de warmtetransitie in kaart gebracht. Hiervoor worden verschillende duurzame bronnen onderzocht.

Een duurzame warmtebron die hier mogelijk aan kan bijdragen is geothermie. Bij geothermie wordt de warmte uit water in de ondergrond 'gewonnen' en direct geleverd aan mogelijke afnemers zoals warmtenetten voor de bebouwde omgeving of glastuinbouwcomplexen. Nadat de warmte is geleverd wordt het afgekoelde water weer terug geïnjecteerd in de ondergrond.

Begin 2024 is door IF Technology een potentiestudie naar geothermie binnen de LOAN-gemeentes uitgevoerd. Sinds deze studie is vanuit het landelijke SCAN programma nieuwe data verzameld om de geothermische potentie van de Nederlandse ondergrond beter in kaart te kunnen brengen. Met het vrijkomen van deze data kan een betere inschatting van de potentie voor geothermie binnen de LOAN-gemeentes gemaakt worden.

In dit rapport is de nieuw beschikbare data vanuit het SCAN programma geïntegreerd met het voorgaande potentieonderzoek om de geothermische potentie binnen de LOAN gemeentes te actualiseren.

1.2 BEHANDELING VAN DE ONDERZOEKSVRAAG

In dit rapport gaan wij in op de vraag: *wat is de lokale potentie voor geothermie binnen de LOAN gemeentes?* Wij presenteren de resultaten van een lokaal verdiepende studie naar vier verschillende reservoirs. Dit onderzoek heeft als doel inzicht te verschaffen in de mate waarin en de voorwaarden waaronder een geothermiesysteem kan dienen als duurzame warmtebron.

Dit rapport vormt een aanvulling op het eerdere uitgevoerde onderzoek naar de geothermische potentie binnen de LOAN gemeentes[1] en beschrijft alleen de nieuwe inzichten en verschillen ten opzichte van dit onderzoek. Ongewijzigde analyses zijn niet opnieuw opgenomen in dit rapport, hiervoor verwijzen wij naar het rapport van het eerder uitgevoerde onderzoek.

Het rapport is als volgt ingedeeld:

- **Hoofdstuk 2** beschrijft de overeenkomsten en verschillen ten opzichte van de eerder uitgevoerde studie naar de geothermiepotentie in de LOAN-gemeenten. Er wordt beschreven welke extra data beschikbaar is gekomen en hoe deze een verbeterde inschatting van de geothermische potentie mogelijk maakt.
- In **hoofdstuk 3** wordt de onderzoeksvraag beantwoord: *wat is de lokale potentie voor geothermie in Lingewaard, Overbetuwe, Arnhem en Nijmegen?* Hier presenteren wij onze belangrijkste conclusies en aanbevelingen met betrekking tot de geothermische potentie van de verschillende reservoirs en hoe dit zich verhoudt tot de voorgaande studie.

[1] Lokale potentiestudie geothermie Lingewaard, Overbetuwe, Arnhem en Nijmegen (IF Technology 2024) PR09981/JK/20240207

- In **hoofdstuk 4, 5, 6, 7** wordt per reservoir een toelichting gegeven hoe de lokale potentie voor geothermie is bepaald en presenteren we stapsgewijs de verschillende werkwijze en resultaten die ten grondslag liggen aan de belangrijkste conclusies en aanbevelingen.
- In **hoofdstuk 8** worden op basis van de resultaten uit hoofdstukken 4 tot en met 7 voor vijf specifieke locaties de potentie en een eerste kosteninschatting voor de realisatie van een geothermiesysteem uitgewerkt.

2 Vergelijking met de eerdere LOAN-studie

2.1 NIEUWE DATA UIT HET SCAN PROGRAMMA

Vanuit het SCAN programma zijn meerdere nieuwe boringen uitgevoerd, waarbij de eigenschappen van mogelijke geothermische reservoirs zijn gemeten. Enkele daarvan zijn relevant voor de LOAN-gemeentes, omdat deze boringen zijn gezet op dezelfde geologische structuur waarop de LOAN-gemeentes liggen. In onderstaande tabel is per reservoir aangegeven welke aanvullende data beschikbaar is gekomen en gebruikt is binnen deze studie.

Tabel 2.1 | Nieuw vrijgekomen data per reservoir.

Reservoir	Nieuwe putten	Metingen
Formatie van Slochteren	EDE-01, BLT-01	temperatuurmetingen, puttest, kerndata en logdata
Hoofd-Bontzandsteen Subgroep	HEE-01, BLT-01	temperatuurmetingen, puttest, kerndata en logdata
Nederweert Zandsteen Formatie	HEE-01	temperatuurmetingen, puttest, kerndata en logdata
Z1 Randcarbonaat Laagpakket	EDE-01, BLT-01	temperatuurmetingen, puttest en logdata

2.2 TOEPASSING VAN NIEUWE SCAN-DATA

In deze sectie is per reservoir kort beschreven welke mogelijkheden de nieuw beschikbare data bieden en op welke manier deze zijn meegenomen in een nieuwe geactualiseerde analyse.

Formatie van Slochteren

Op basis van de nieuwe beschikbare temperatuurmetingen is een nieuwe regionale diepte-temperatuur relatie opgesteld. Daarnaast zijn er een nieuwe porositeit-diepte en porositeit-permeabiliteit relaties opgesteld met behulp van nieuwe interpretaties van EDE-01, BLT-01 en ZED-01. Op basis hiervan zijn de huidige geothermische potentiekaarten geüpdatete.

Trias zanden (Hoofd-Bontzandsteen Subgroep & Nederweert Zandsteen Formatie)

In de voorgaande studie zijn voor de Triaszanden kansenkaarten opgesteld. Vanwege de beperkte beschikbaarheid van representatieve putgegevens uit de directe gegevens konden destijds geen potentiekaarten opgesteld worden. Op basis van de nieuw verkregen data in BLT-01 en HEE-01 is voor de Trias zanden in deze studie wel een potentiekaart opgesteld.

De nieuwe data heeft er ook toe geleid dat de zanden die in de vorige studie nog aan de Onder-Bontzandsteen Subgroep werden toegekend, nu worden geclassificeerd als de Nederweert Zandsteen Formatie. Waar in het eerdere rapport dus wordt verwezen naar de Onder-Bontzandsteen Subgroep, wordt in voorliggende rapportage gesproken van de Nederweert Zandsteen Formatie.

Ook is er basis van temperatuurmetingen in HEE-01 en BLT-01 een regionale diepte-temperatuurrelatie opgesteld.

Zechstein (Z1 Randcarbonaat Laagpakket)
Met de vrijgekomen SCAN-data uit de EDE-01 put blijkt dat er mogelijk kansen zijn voor geothermie binnen het Z1 Randcarbonaat Laagpakket van de Zechstein Groep. Dit reservoir is in de vorige studie niet meegenomen, omdat destijds werd aangenomen dat er geen porositeit binnen het pakket aanwezig was, of dat de porositeit te laag was voor het toepassen van geothermie. Met de vrijgekomen SCAN-data uit EDE-01 blijkt dat het laagpakket poreus is en mogelijk interessant voor geothermie binnen de LOAN-gemeentes. In deze studie is daarom, naast het actualiseren van de eerder onderzochte reservoirs, ook de Zechstein geanalyseerd.

Op basis van seismische gegevens zijn zones geïdentificeerd waar de Zechstein in een vergelijkbare structurele configuratie ligt ten opzichte van de bovenliggende lagen als waargenomen rondom de EDE-01 put. Op basis van deze zones is een kansenkaart opgesteld die aangeeft waar het reservoir mogelijk potentie biedt. Op basis van de reservoireigenschappen in EDE-01 is een grove indicatie gemaakt van de potentie binnen dit gebied.

2.3 HERGEBRUIK VAN EERDERE INTERPRETATIES

Van elk reservoir is in de voorgaande studie een diepte, dikte en breukenkaart opgesteld op basis van een gedetailleerde seismische verdieppingsstudie. Deze kaarten blijven onveranderd en zijn ook in de huidige studie toegepast.

2.4 EFFECT VAN UITLOGING OP RESERVOIRKWALITEIT

In de voorgaande studie werd gesteld dat uitloging een sterke invloed heeft op de reservoirkwaliteit. Echter, uit de analyse van de nieuwe SCAN-boringen en de gebruikte begravingsmodellen (dezelfde als ThermoGIS) blijkt dat deze invloed minimaal is voor de begravingsdieptes waarbinnen de Formatie van Slochteren en de Triaszanden in het projectgebied liggen.

In de eerdere studie was nog weinig SCAN-data beschikbaar. Voor de bepaling van de reservoirkwaliteit op de platformen in het projectgebied kon daarom geen gebruik worden gemaakt van lokale putdata, maar alleen van putdata uit vergelijkbare geologische structuren buiten het projectgebied. Deze analyse liet duidelijke verschillen zien tussen platformen, waar uitloging heeft plaatsgevonden, en bekkens, waar dat niet het geval is. Met de beschikbaarheid van nieuwe SCAN-data uit BLT-01, AMS-01, ASD-01 en EDE-01 kon in deze studie wel een porositeit-diepte-trend worden opgesteld voor de geologische structuren binnen het projectgebied, namelijk het Peel-Maasbommel Complex en het Centraal Nederlands Bekken. Daaruit blijkt dat uitloging pas op grotere diepten een significant effect heeft op de reservoirkwaliteit. Omdat de beoogde reservoirs in het projectgebied ondieper liggen, is het effect van uitloging daar niet significant.

2.5 EXTRA ONZEKERHEID: BEGRAVINSGESCHIEDENIS

Uit de nieuwe modellen blijkt dat de porositeit, en in het verlengde daarvan de doorlatendheid, sterk afhankelijk is van de maximale begravingsdiepte. De maximale begravingsdiepte geeft de diepste ligging van het reservoir aan waarop het ooit heeft gelegen en kan worden bepaald op basis van de huidige diepte en de zogeheten begravingsanomalie. Om de maximale begravingsdiepte in

te schatten hebben wij het begravingsanomaliemodel gebruikt dat ook in ThermoGIS wordt toegepast (Nelskamp & Verweij, 2012[2]; Veldkamp et al., 2022[3]). In de voorgaande studie naar geothermie in de LOAN gemeentes is gebruikt gemaakt van hetzelfde model. Dit model bevat echter een grote mate van onzekerheid (± 300 m). Gezien de relatief ondiepe ligging van de reservoirs kan deze onzekerheid een significant effect hebben op de uiteindelijke reservoirkwaliteit. De effecten van de onzekerheid in de begravingsanomalie zijn daarom meegenomen in de uiteindelijke potentieberekeningen. Dit is in de eerdere studie niet gebeurd.

Voor elk reservoir zijn drie scenario's doorgerekend:

- De **base case**: hierin is de begravingsanomalie direct overgenomen uit het begravingsmodel van Nelskamp en Verweij (2012)
- De **high case**: hierin wordt aangenomen dat de begravingsanomalie in het model een overschatting is. Er wordt aangenomen dat er 300 meter minder begraving is geweest. De maximale begravingsdiepte van het reservoir wordt hierdoor lager en de reservoireigenschappen beter.
- De **low case**: hierin wordt aangenomen dat de begravingsanomalie in het model een onderschatting is. Er wordt aangenomen dat er 300 meter extra begraving is geweest. De maximale begravingsdiepte van het reservoir wordt hierdoor hoger en de reservoireigenschappen slechter.

Welk begravingsmodel gebruik je?
In dit rapport is gekozen voor hetzelfde begravingsmodel als in ThermoGIS (Nelskamp & Verweij, 2012; Veldkamp et al., 2022), omdat dit model goed aansluit bij de beschikbare putgegevens in de regio. Tegelijkertijd zijn er voor dit gebied ook andere begravingsmodellen beschikbaar, zoals het model gebruikt in de Provinciale potentiestudie Gelderland (Panterra, 2026) en het IGI 2023-model van EBN. De keuze voor een ander model kan leiden tot andere uitkomsten in de potentiekaarten. Er lopen daarom nog gesprekken met EBN en TNO over welk model het meest representatief is voor de LOAN-regio. Zonder aanvullende putgegevens blijft het echter lastig om die keuze met voldoende zekerheid te onderbouwen.

[2] Nelskamp, S., & Verweij, J. M. (2012). Using basin modelling for geothermal energy exploration in the Netherlands—An example from the West Netherlands Basin and Roer Valley Graben (034.24607/034.20566; p. 113). TNO.

[3] Veldkamp, J. G., van Unen, M., Vrijlandt, M., & Van Wees, J. D. (2022). Aquifer characterization of a marginal part of the Slochteren Formation. Warming UP.

3 Vernieuwde geothermiepotentie in de LOAN-gemeenten

In dit hoofdstuk wordt er een samenvatting met de belangrijkste conclusies over de potentie voor geothermie in de gemeentes Lingewaard, Overbetuwe, Arnhem en Nijmegen gepresenteerd, inclusief de bijbehorende risico's, onzekerheden en belemmeringen. Er is in deze studie gekeken naar vier verschillende geothermische reservoirs: de Formatie van Slochteren, de Hoofd-Bontzandsteen, de Nederweert Zandsteen Formatie en de Zechstein. Ook is er voor een vijftal mogelijke projectlocaties een inschattingen gemaakt van de te verwachten vermogens en kosten.

In het voorliggend hoofdstuk zetten we eerst de belangrijkste conclusies en vervolgstappen uiteen. Vervolgens beschrijven we per onderwerp de belangrijkste resultaten, en hoe deze resultaten zich verhouden tot de voorgaande studie uit 2024.

3.1 BELANGRIJKSTE CONCLUSIES

3.1.1 Belangrijkste conclusies uit de analyse van de reservoirs

In deze sectie zijn de belangrijkste conclusies per reservoir beschreven en samengevat in Tabel 3.1. Uit de studie blijkt dat de kansen voor de Hoofd-Bontzandsteen, de Nederweert Zandsteen en de Zechstein vooralsnog beperkt zijn. In grote delen van het studiegebied lijkt warmtewinning uit deze reservoirs niet haalbaar. Voor de Formatie van Slochteren zijn daarentegen wel kansen aanwezig, met name in Nijmegen en Overbetuwe. Ook in Arnhem en Lingewaard kan dit reservoir potentie hebben, maar die is sterk afhankelijk van de maximale begravingsdiepte. Juist op dat punt bestaat nog aanzienlijke onzekerheid.

Formatie van Slochteren

In de voorgaande studie werd aangenomen dat uitloging een belangrijke invloed had op de reservoirkwaliteit van de Formatie van Slochteren. Op basis van de nieuwe data blijkt die invloed binnen het projectgebied echter beperkt. Daardoor is voor Overbetuwe en Nijmegen in deze studie een hogere potentie berekend dan in de voorgaande studie. Waar de vermogens eerder werden ingeschat op 2 tot 9 MWt, liggen ze nu grofweg tussen 2 en 12 MWt.

Voor Arnhem en Lingewaard is de potentie van de Formatie van Slochteren sterk afhankelijk van de maximale begravingsdiepte. In de base- en low case is de potentie te laag voor toepassing van geothermie (0–2 MWt). In de high case neemt de potentie duidelijk toe. In Lingewaard ligt deze dan grofweg tussen 2 en 5 MWt. In Arnhem varieert de potentie in dat scenario van ongeveer 2 tot 8 MWt, met een zone rond Meinerswijk waar deze kan oplopen tot 14 MWt. Omdat de maximale begravingsdiepte echter nog erg onzeker is, blijft ook onduidelijk hoe aannemelijk dit gunstige scenario is.

Hoofd-Bontzandsteen Subgroep
In de voorgaande studie werd verondersteld dat langs het Peel-Maasbommel Complex mogelijk goede kansen voor geothermie aanwezig waren in de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep. Daarbij bestond echter aanzienlijke onzekerheid over de mate van uitloging en het effect daarvan op de reservoirkwaliteit. Destijds werd de permeabiliteit ingeschat op 100 tot 1000 mD. Uit de nieuw beschikbare data blijkt nu dat de permeabiliteit aan de onderkant van die bandbreedte ligt, namelijk circa 50 tot 150 mD. Daarnaast blijkt dat uitloging binnen het projectgebied geen significant effect heeft op de reservoirkwaliteit. Daardoor komt de potentie van de Hoofd-Bontzandsteen uit op slechts 0 tot 1,5 MWt, wat te laag is voor de ontwikkeling van een geothermieproject.

Nederweert Zandsteen Formatie
In de voorgaande studie werden drie kansgebieden aangewezen voor de Nederweert Zandsteen Formatie. Uit de huidige studie blijkt echter dat alleen het gebied rond Nijmegen en Oosterhout nog als kansrijk kan worden beschouwd. De berekende potentie ligt daar tussen 0 en 6 MWt.

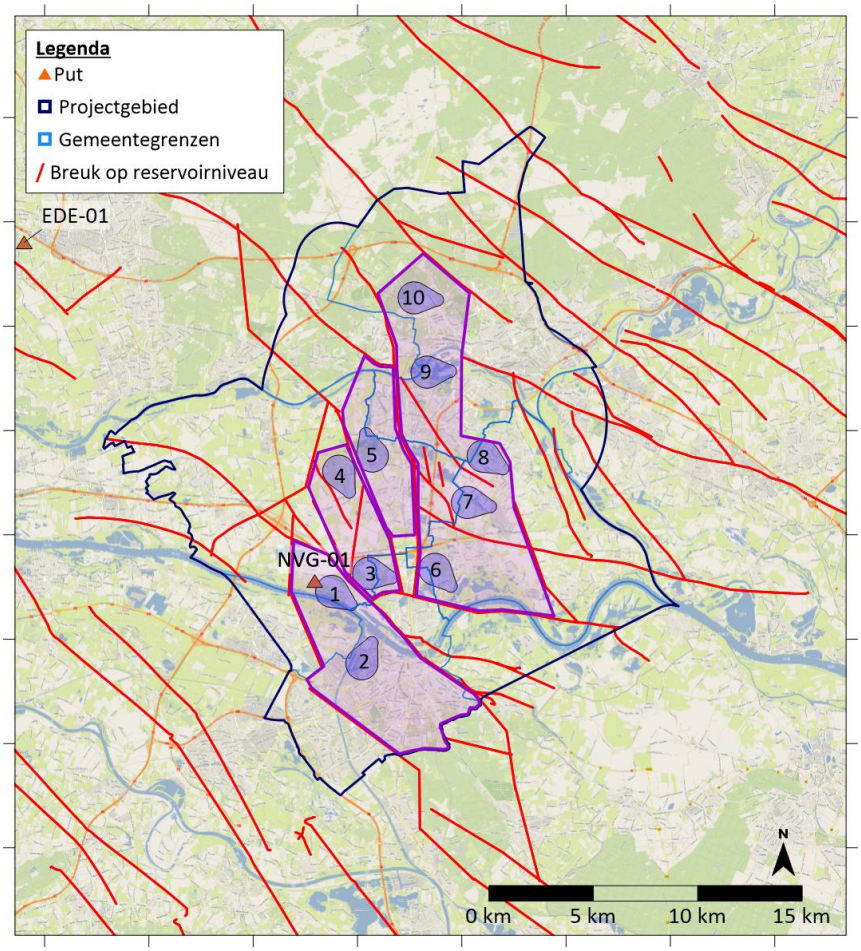
Zechstein (Z1 Randcarbonaat Laagpakket)
Er zijn twee kansgebieden geïdentificeerd waar mogelijk karstvorming in de Zechstein heeft plaatsgevonden, wat kan hebben geleid tot extra porositeit in deze afzettingen. Een indicatieve potentieberekening laat zien dat de potentie in deze gebieden maximaal 1,5 MWt bedraagt. Dat is onvoldoende voor een zelfstandig geothermieproject in de Zechstein. Mogelijk kan dit reservoir wel in combinatie met een ander reservoir worden benut.

Gemeente	Formatie van Slochteren	Hoofd-Bontzandsteen Subgroep en Nederweert Zandsteen Formatie (Trias)	Zechstein (Z1 Randcarbonaat Laagpakket)
Lingewaard	De potentie van de Formatie van Slochteren is in de base- en low case te laag voor geothermie (0-2 MWt) m.u.v. een klein gebied in het westen met potentie tussen 2-5 MWt. In de high case neemt de potentie toe tot grofweg 2-5 MWt. Omdat de maximale begravingsdiepte onzeker is, blijft ook de haalbaarheid van dit gunstige scenario onzeker.	De potentie van de Hoofd-Bontzandsteen is te laag voor geothermie (0-1,5 MWt). De potentie van de Nederweert Zandsteen is in Lingewaard vooralsnog beperkt en overwegend te laag voor geothermie. Een klein gebied met potentie tussen 1 - 3 MWt is aanwezig in het westen. Er is relatief veel onzekerheid over de reservoireigenschappen.	Geen relevant kansgebied geïdentificeerd.
Overbetuwe	De berekende potentie ligt grofweg tussen 2 en 12 MWt. Ten opzichte van de voorgaande studie is de potentie hoger ingeschat, doordat uitloging binnen het projectgebied minder invloed blijkt te hebben dan eerder werd aangenomen. Vanwege de aanwezigheid van de NVG-01 put is de onzekerheid in de reservoireigenschappen relatief laag.	De potentie van de Hoofd-Bontzandsteen is te laag voor geothermie (0-1,5 MWt). Potentie van de Nederweert Zandsteen ligt tussen 1 - 5 MWt. De hoogste potenties worden gevonden rondom de NVG-01 put. De onzekerheid in potentie neemt sterk toe verder van de NVG-01 put af.	Mogelijk kansgebied aanwezig, maar de indicatieve potentie is met maximaal circa 1,5 MWt te laag voor een zelfstandig project.
Arnhem	De potentie van de Formatie van Slochteren is in de base- en low case te laag voor geothermie (0-2 MWt). In het westen is een klein gebied aanwezig rondom Meinerswijk met potentie tussen 2 - 4 MWt. In de high case neemt de potentie toe tot ongeveer 2-8 MWt, met een zone rond Meinerswijk waar deze kan oplopen tot 14 MWt. Omdat de maximale begravingsdiepte onzeker is, blijft ook de haalbaarheid van dit gunstige scenario onzeker.	De potentie van de Hoofd-Bontzandsteen is te laag voor geothermie (0-1,5 MWt). Voor Arnhem is de potentie van de Nederweert Zandsteen vooralsnog te laag voor geothermie (<1 MWt).	Geen relevant kansgebied geïdentificeerd.
Nijmegen	De berekende potentie ligt grofweg tussen 2 en 12 MWt. Ten opzichte van de voorgaande studie is de potentie hoger ingeschat, doordat uitloging binnen het projectgebied minder invloed blijkt te hebben dan eerder werd aangenomen. Vanwege de aanwezigheid van de NVG-01 put is de onzekerheid in de reservoireigenschappen relatief laag.	De Hoofd-Bontzandsteen is in Nijmegen grotendeels afwezig. Potentie van de Nederweert Zandsteen ligt tussen 2 - 4 MWt. De hoogte potenties worden gevonden dichtbij de NVG-01 put. De onzekerheid in potentie neemt sterk toe verder van de NVG-01 put af.	Mogelijk kansgebied aanwezig, maar de indicatieve potentie is met maximaal circa 1,5 MWt te laag voor een zelfstandig project.

Tabel 3.1 |Belangrijkste conclusies voor de onderzochte reservoirs per gemeente.

3.1.2 Belangrijkste resultaten van de locatie specifieke studie (hoofdstuk 8)

Zoals hierboven beschreven, biedt de Formatie van Slochteren binnen het projectgebied de beste kansen voor geothermie. In overleg met de LOAN-gemeenten is daarom gekozen om voor vijf specifieke locaties een geothermiesysteem in deze formatie nader uit te werken, inclusief een vermogensberekening en een eerste kosteninschatting. In Figuur 3.1 zijn deze vijf locaties weergegeven als locatie 1 tot en met 5.



Figuur 3.1 | Mogelijke locaties voor een locatie specifieke studie. Met nummer 1 tot en met 5 zijn de vijf locaties aangegeven die verder zijn uitgewerkt.

Vermogensinschatting

Locatie 1 heeft de hoogste potentie, maar de laagste productietemperatuur. Locatie 5 heeft juist de laagste potentie, maar de hoogste productietemperatuur. De verschillen in potentie ontstaan voornamelijk door het verschil in het maximaal haalbare debiet dat kan worden onttrokken bij elke locatie. Dit is bijvoorbeeld voor locatie 1 (afgerond 363 m^3/uur) een stuk hoger dan voor locatie 5 (afgerond 116 m^3/uur).

Tabel 3.2 geeft de vermogensinschatting van een geothermiedoublet voor de vijf geselecteerde locaties. Omdat de productietemperatuur onvoldoende is voor directe levering aan een warmtenet van 70 °C, is in het doorgerekende concept een warmtepomp opgenomen. Daarom is naast het doubletvermogen ook het vermogen weergegeven dat na de warmtepomp aan het warmtenet kan worden geleverd.

Locatie 1 heeft de hoogste potentie, maar de laagste productietemperatuur. Locatie 5 heeft juist de laagste potentie, maar de hoogste productietemperatuur. De verschillen in potentie ontstaan voornamelijk door het verschil in het maximaal haalbare debiet dat kan worden onttrokken bij elke locatie. Dit is bijvoorbeeld voor locatie 1 (afgerond 363 m^3/uur) een stuk hoger dan voor locatie 5 (afgerond 116 m^3/uur).

Tabel 3.2 | Eigenschappen van de 5 specifieke locaties. Alle waardes zijn voor P50.

	Vermogen doublet (MW)	Vermogen na warmtepomp gebouwde omgeving (MW)	Diepte (TVDm)	Productietemperatuur (°C)
Locatie 1: Naast NVG put	13,6	18,2	1.150	49,5
Locatie 2: Nijmegen West	8,6	11,3	1.220	51,8
Locatie 3: Oosterhout	8,1	10,6	1.260	53,2
Locatie 4: Elst platform	10,9	14,3	1.250	52,9
Locatie 5: Elst Graben	5,7	7,1	1.500	61,4

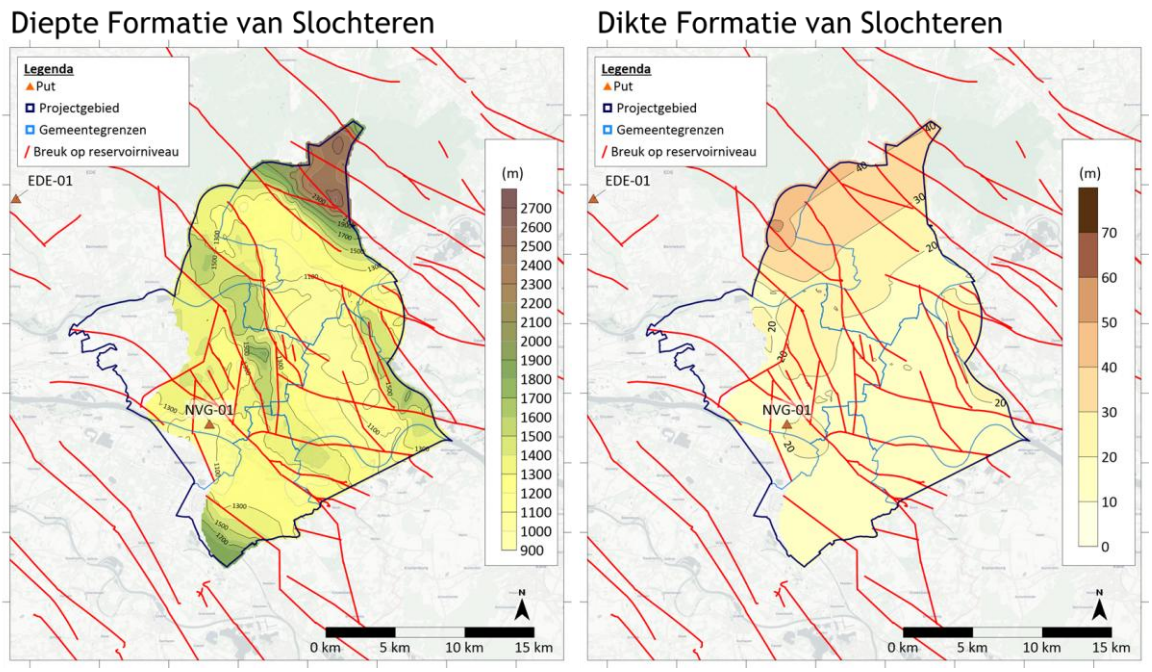
Kosteninschatting

Voor de 5 geselecteerde locaties is een inschatting gemaakt van de kostprijs warmte. Hiermee is het mogelijk om een eerste vergelijk te maken tussen de verschillende locaties op financiële aspecten. Uit het financiële vergelijk volgt dat de locatie met de hoogste potentie (locatie 1) de laagste kostprijs heeft (0,1339 €/kWh voor de gebouwde omgeving en 0,0781 €/kWh voor glastuinbouw). Andersom geldt dat de locatie met de laagste potentie (locatie 5) de hoogste kostprijs heeft (0,2069 €/kWh voor de gebouwde omgeving en 0,1200 €/kWh voor glastuinbouw). In deze analyse is nog geen rekening gehouden met kosten voor transportleidingen naar warmtenetten of glastuinbouw. Indien deze kosten wel worden meegenomen stijgen de kostprijzen voor warmte.

4 Verdieping op de Formatie van Slochteren

4.1 DIEPTE EN DIKTE

De diepte en diktekaart van de Formatie van Slochteren zijn verkregen via seismische interpretatie en zijn overgenomen uit de eerdere studie naar geothermie in de LOAN gemeentes (zie sectie 2.3).



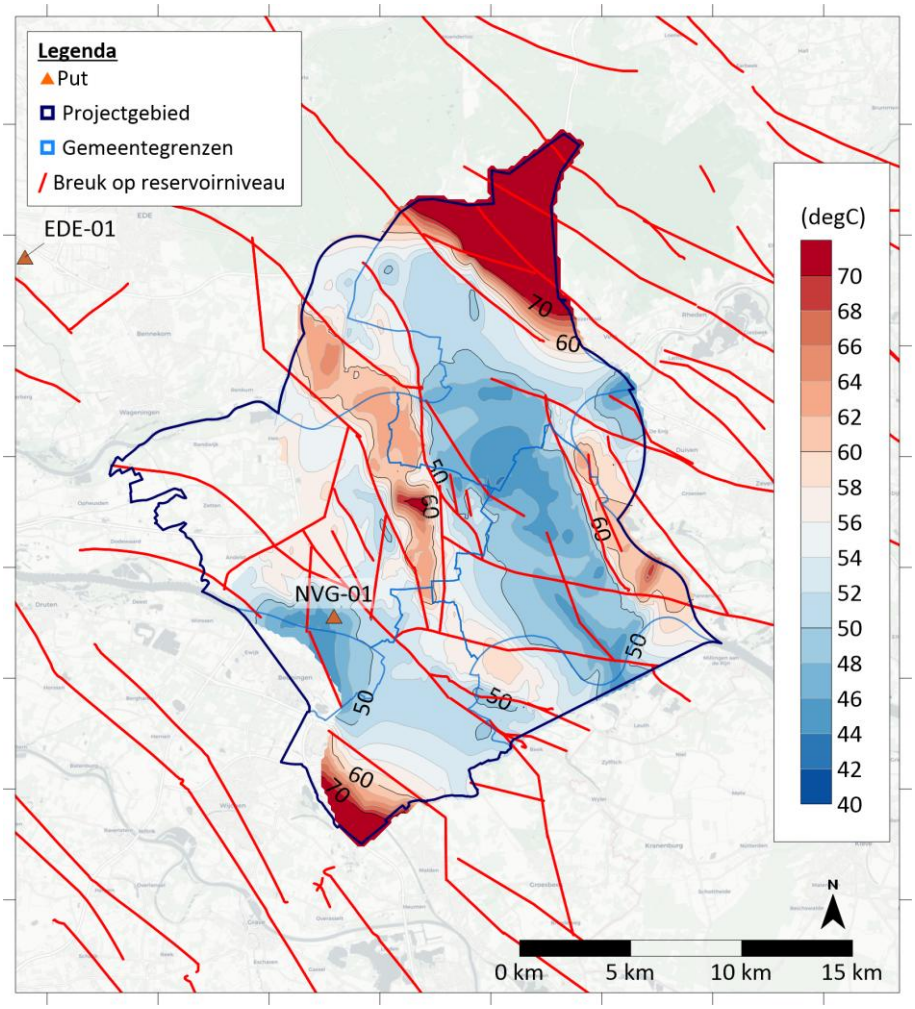
Figuur 4.1 | Links) diepte van de Formatie van Slochteren. Rechts) dikte van de Formatie van Slochteren.

4.2 TEMPERATUUR

Op basis van temperatuurmetingen van de Formatie van Slochteren in de SCAN-boringen AMS-01, BLT-01 en EDE-01 is een regionale diepte vs. temperatuur relatie opgesteld:

$$T\ (°C) = 10\ (°C) + 0{,}034\ (°C/m) * \text{diepte}\ (m)$$

Met behulp van deze temperatuurgradiënt en een gemiddelde oppervlaktetemperatuur van 10 °C is de verkregen dieptekaart omgerekend naar een temperatuurkaart (Figuur 4.2). Hoe warmer, hoe meer een locatie geschikt is voor geothermie. Uit de kaart is af te leiden dat het noordelijkste gedeelte van de gemeente Arnhem het warmst is. In de rest van het projectgebied verschilt de temperatuur sterk per breukblok, en varieert tussen de 40 à 50 °C op de plateaus en 55 à 70 °C in de dieper gelegen breukblokken. Dit is een direct gevolg van de diepteligging van het reservoir. Per gemeente is de temperatuur dus sterk afhankelijk van de lokale geologie.



Figuur 4.2 | Temperatuur van de Formatie van Slochteren.

4.3 RESERVOIRKWALITEIT

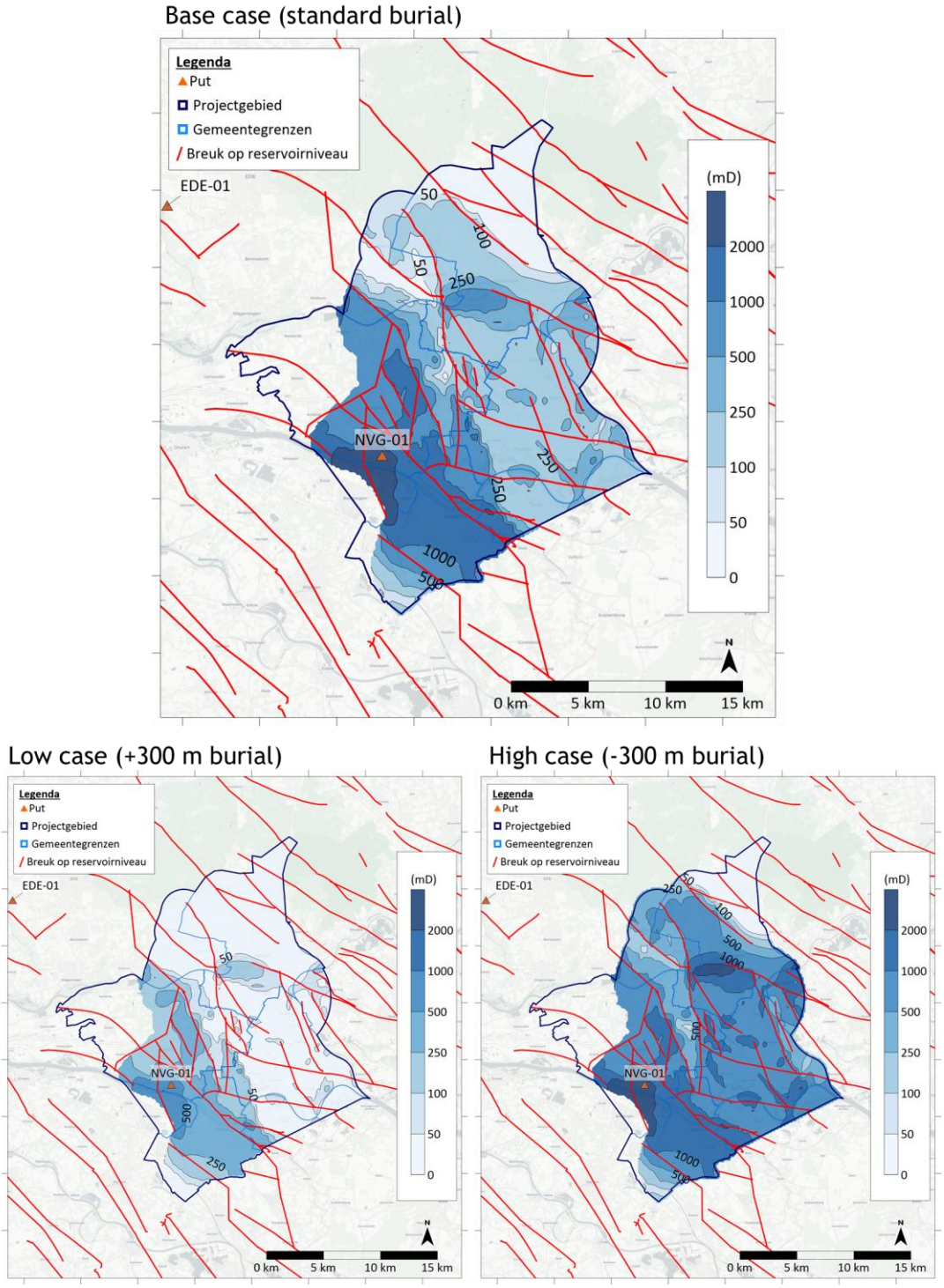
Effecten van uitloging en begravingsgeschiedenis
In de voorgaande studie werd gesteld dat uitloging een sterke invloed heeft op de reservoirkwaliteit van de Formatie van Slochteren. Met de nieuw vrijgekomen data zijn nieuwe porositeit-diepte trends opgesteld. Hieruit blijkt dat uitloging pas een significant effect op porositeit begint te hebben op begravingsdieptes groter dan 1700 m. In ondieper gelegen delen lijken de effecten van uitloging op reservoirkwaliteit minimaal. Gezien het feit dat de Formatie van Slochteren in het projectgebied veelal ondieper dan 1700 meter ligt zijn de mogelijke effecten van uitloging dus verwaarloosbaar.

Aangezien er in de voorgaande studie onzekerheid bestond over welke gebieden mogelijk waren uitgeloogd, leidde dit tot aanvullende onzekerheid in de reservoirkwaliteit. Deze onzekerheid is in de huidige studie grotendeels weggenomen doordat uitloging slechts een minimale invloed heeft op de reservoirkwaliteit. Daartegenover staat dat er in delen van het studiegebied een grote mate van

onzekerheid is met betrekking tot de maximale begravingsdiepte van het reservoir. Deze maximale begravingsdiepte blijkt in de huidige studie grotendeels bepalend te zijn voor de reservoirkwaliteit. Om het effect van de onzekerheid van de maximale begravingsgeschiedenis op de potentie inzichtelijk te maken is ervoor gekozen om naast het meest waarschijnlijke scenario (base case) ook een gunstige begravingsanomalie (high case) en een ongunstige begravingsanomalie (low case) door te rekenen. De uitkomsten laten grote verschillen in potentie tussen de scenario's zien.

Doorlatendheid
De doorlatendheid van de Formatie van Slochteren is sterk afhankelijk van de maximale begravingsdiepte (Figuur 4.3). n de base case is in het zuidwesten van het projectgebied de maximale begravingsdiepte relatief laag (max 1400 m) waardoor doorlatendheden zeer hoog zijn (veelal boven de 1000 mD). Verder richting het noordwesten wordt de begravingsanomalie steeds hoger waardoor de maximale begravingsdiepte toeneemt. Hierdoor blijven doorlatendheden in dit gebied achter ten opzichte van het zuidwesten van het gebied (veelal tussen de 100 – 500 mD). In het uiterste noorden van het projectgebied ligt de Formatie van Slochteren te diep voor de toepassing van geothermie.

In de low case en high case doorlatendheidskaarten worden de effecten van de onzekerheden in de begravingsanomaliekaart sterk zichtbaar (Figuur 4.3). Zo ligt de doorlatendheid in het low case model in het zuidwesten van het projectgebied veelal tussen 250 en 750 mD. Dit low case scenario is voor dit gebied echter zeer onwaarschijnlijk. Voor het high case model verandert er in dit gebied niks. Nog grotere verschillen zijn zichtbaar in het centrale deel van het projectgebied (Elst Graben en Huissen-Arnhem Platform) waarbij de doorlatendheden kunnen afnemen tot minder dan 50 mD en oplopen tot meer dan 2000 mD. Op basis van de huidige inzichten is het moeilijk vast te stellen welk van de scenario's het meest waarschijnlijk is.



Figuur 4.3 | Boven) Base case doorlatendheid van de Formatie van Slochteren (begravingsanomalie + 0 m). Links onder) Low case doorlatendheid van de Formatie van Slochteren (begravingsanomalie + 300 m). Rechtsonder) High case doorlatendheid van de Formatie van Slochteren (begravingsanomalie - 300 m).

4.4 POTENTIEBEPALING

De geothermische potentie is berekend op basis van de eerdergenoemde temperatuur-, dikte- en doorlatendheidkaarten en een set randvoorwaarden (Tabel 4.1). De geothermische potentie van de Formatie van Slochteren is weergegeven in Figuur 4.4. Voor deze berekening is onderstaande formule gebruikt:

$$Pt\ [\mathrm{MWth}] = Q\ \left[\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{uur}}\right] * dT\ [^{\circ}\mathrm{C}] * Cw\ [\mathrm{MJ}/(\mathrm{m}^3{}^{\circ}\mathrm{C})]/3600$$

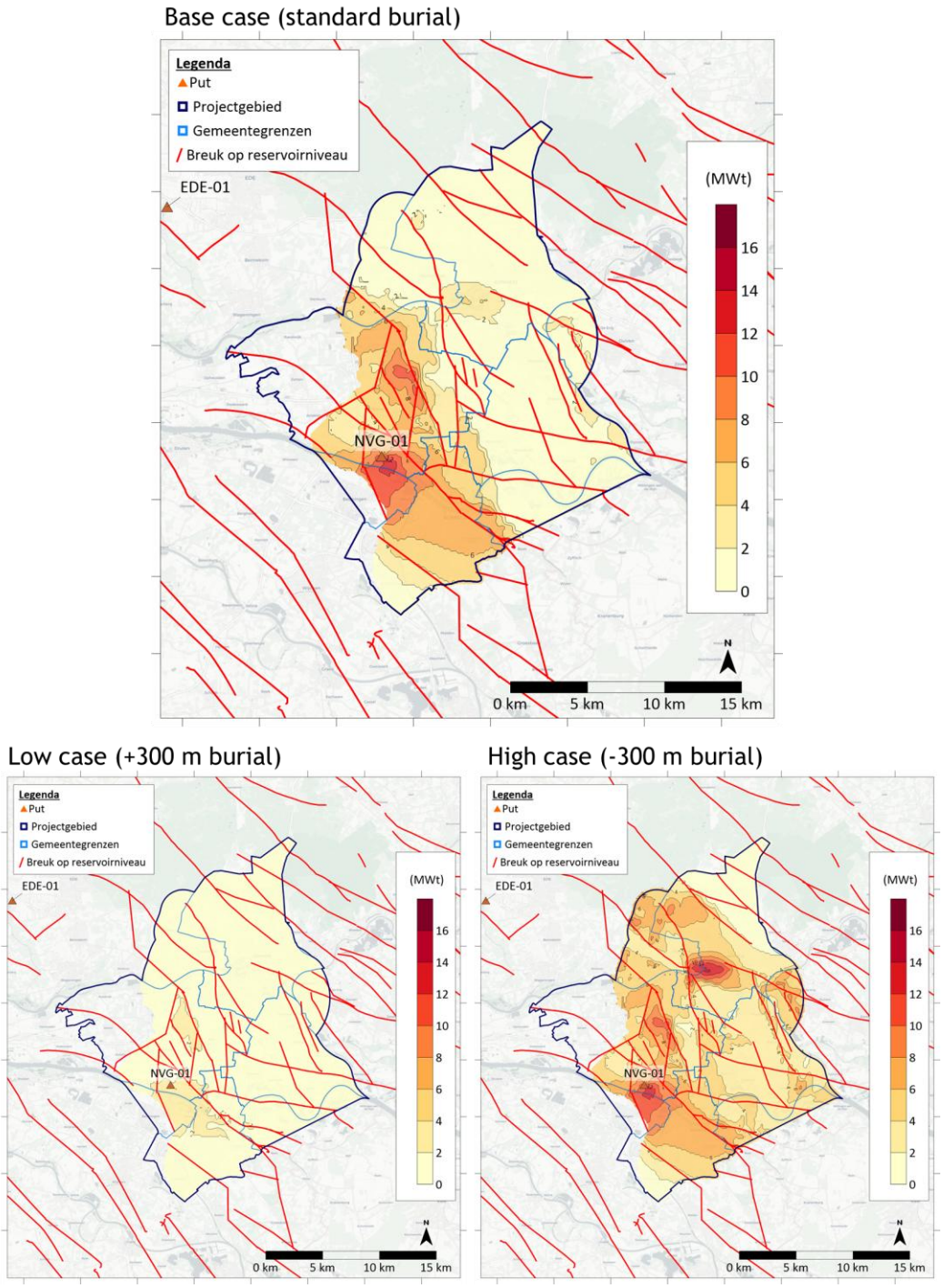
Hierbij is:

- *Pt* het thermisch vermogen in megawatt (MWth)
- Q het debiet. Het debiet is afhankelijk van een aantal factoren, namelijk:
  - Reservoirkwaliteit (doorlatendheid en netto dikte)
  - Maximaal toelaatbare injectiedruk (SODM-norm)
  - COP (efficiëntie van het systeem)
  - Poriedruk van het formatiewater
- dT is het temperatuurverschil tussen productie- en injectietemperatuur en is daarmee afhankelijk van:
  - Reservoirtemperatuur
  - Gekozen injectietemperatuur
- Cw is de soortelijke warmte van water en is hoofdzakelijk bepaald aan de hand van het zoutgehalte en de reservoirtemperatuur.

Tabel 4.1 | Input voor de potentiebepaling Formatie van Slochteren.

Parameter	Eenheid	Grid/waarde	Bron
Diepte	[m]	Grid, Figuur 4.1	O.b.v. seismische interpretatie
Dikte	[m]	Grid, Figuur 4.1	O.b.v. putgegevens en seismische interpretatie
Temperatuur	[°C]	Grid, Figuur 4.2	O.b.v. dieptekaart en een regionale temperatuurgradiënt
Doorlatendheid	[mD]	Grid, Figuur 4.3	O.b.v. de max burialkaart, porositeitkaart en porositeit-permeabiliteit relatie
Saliniteit	[g/l]	85	Inschatting EDE-01 en NVG-01
Putafstand	[m]	1100	Standaard
COP	[-]	15	COP = Coëfficiënt of Performance, 15 is een standaardwaarde voor een geothermiesysteem
Injectietemperatuur	[°C]	15	Standaard voor geothermiesystemen met relatief lage temperatuur (<70°C)
Pomprendement	[-]	0,7	Standaard
Skin	[-]	0	Er wordt geen skin aangenomen

De berekende potentie is per scenario weergegeven in Figuur 4.4, waarin het thermisch vermogen is uitgedrukt in megawatt (MWt). Hoe hoger de thermische potentie, hoe donkerder rood de kleur op de kaart. De kaarten laten zien dat de potentie in het projectgebied varieert tussen de 0 en 14 MWt, In het basis scenario lijkt de potentie zich voornamelijk in de ondiepere breukblokken in het zuidwesten (Nijmegen, Oosterhout & Elst) te concentreren. In het high case scenario lijkt er ook nog hoge potentie te zijn op het Huissen-Arnhem platform. Dit is echter zeer onzeker vanwege een onzekere begravingsanomalie (Figuur 4.4). Op het Huissen-Arnhem platform is het niet duidelijk welk van de drie scenario's het meest waarschijnlijk is.
In de low case valt de potentie zelfs bij voor het gebied Nijmegen – Elst – Ede erg tegen. Dit is voor dit gebied echter zeer onwaarschijnlijk omdat de reservoirkwaliteit van de putten NVG-01 en EDE-01 erg goed is. Echter, de doorlatendheden uit de low case zullen wel worden meegenomen in de DoubletCalc 1D analyses.

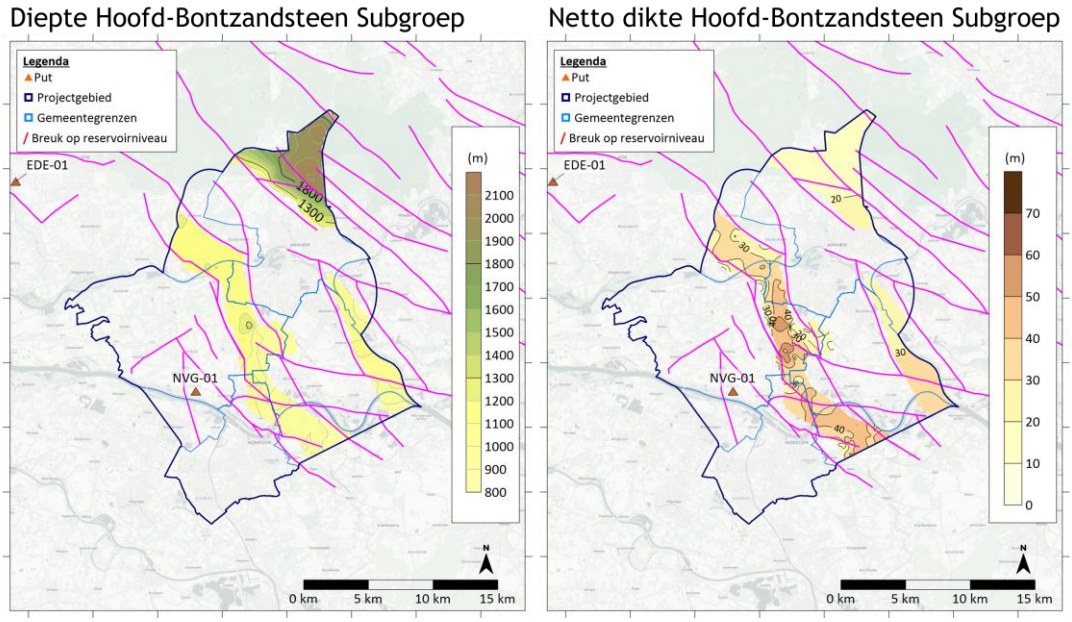


Figuur 4.4 | Boven) Base case potentie (MWt) van de Formatie van Slochteren (begravingsanomalie + 0 m). Links onder) Low case potentie (MWt) van de Formatie van Slochteren (begravingsanomalie + 300 m). Rechtsonder) High case potentie van de Formatie van Slochteren (begravingsanomalie -300 m).

5 Verdieping op de Hoofd Bontzandsteen Subgroep

5.1 DIEPTE EN DIKTE

De diepte en diktekaart van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep zijn verkregen via seismische interpretatie en zijn overgenomen uit de eerdere studie naar geothermie in de LOAN gemeentes (zie sectie 2.3 van dit rapport).



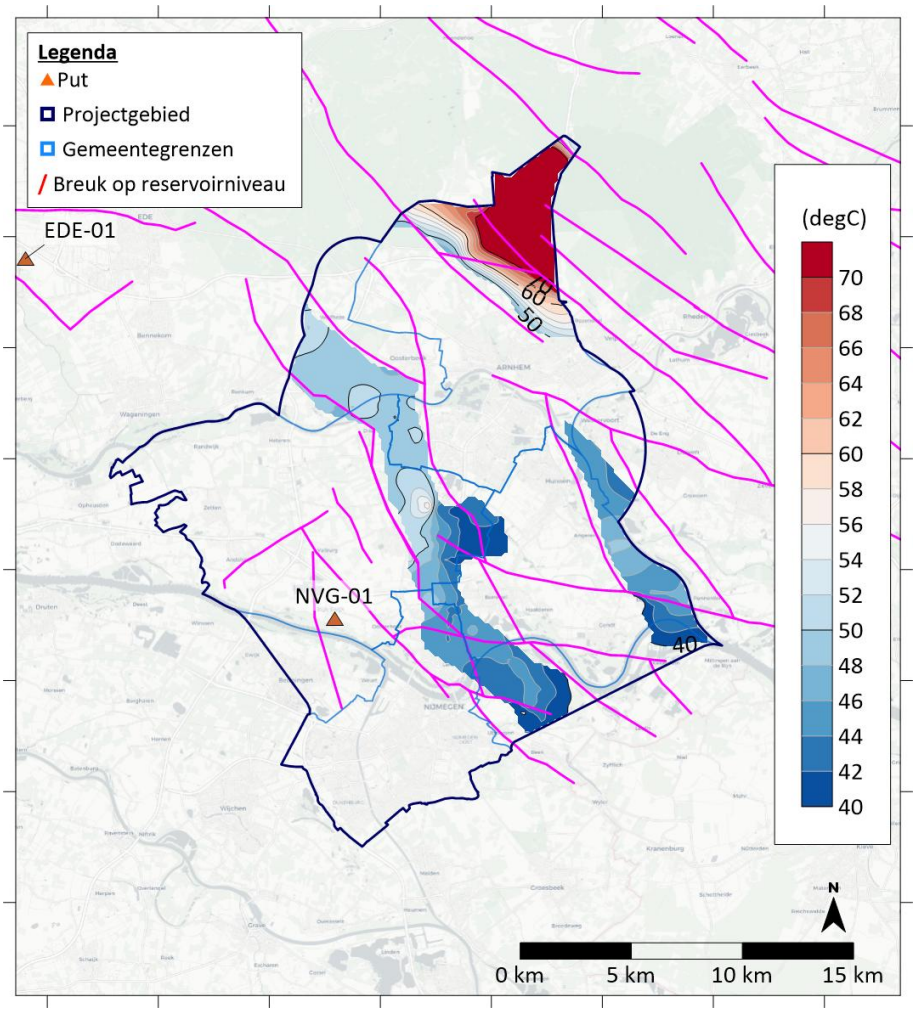
Figuur 5.1 | Links) diepte van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep. Rechts) Netto dikte van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep

5.2 TEMPERATUUR

Op basis van temperatuurmetingen van de Hoofd-Bontzandsteen in de SCAN-boringen HEE-01 en BLT-01, en op basis van geothermieprojecten in Tinte en Brielle is een regionale diepte vs. temperatuur relatie opgesteld:

$$T\ (°C) = 10\ (°C) + 0{,}033\ (°C/m) * \text{diepte}\ (m)$$

Met behulp van deze temperatuurgradiënt en een gemiddelde oppervlaktetemperatuur van 10 °C is de verkregen dieptekaart omgerekend naar een temperatuurkaart (Figuur 5.2). Hoe warmer, hoe meer een locatie geschikt is voor geothermie. Uit de kaart is af te leiden dat het reservoir in het noordelijkste gedeelte van de gemeente Arnhem het warmst is. In de rest van het projectgebied varieert de temperatuur tussen circa 40 en 55 °C



Figuur 5.2 | Temperatuur van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep

5.3 RESERVOIRKWALITEIT

Effecten van uitloging en onzekerheden in de begravingsanomalie
In de voorgaande studie werd gesteld dat uitloging een sterke invloed heeft op de reservoirkwaliteit van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep. Echter, uit de analyse van de nieuwe SCAN-boringen blijkt dat deze invloed minimaal is voor de begravingsdieptes waarbinnen de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep in het projectgebied ligt.

De begravingsanomalie heeft relatief weinig invloed op de reservoirkwaliteit van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep. De Hoofd-Bontzandsteen Subgroep ligt grotendeels in een gebied waarvoor weinig tot geen begravinganomalieën worden verondersteld. Dit betekent dat de huidige diepte van het reservoir het diepste punt is waarop het ooit heeft gelegen. In het meest gunstige scenario nemen we aan dat de begravingsanomalie 300 meter minder is dan op de begravingskaart. De totale begraving kan echter nooit minder zijn dan de diepte waarop het reservoir nu ligt. Dat betekent dat in de high case de begravingsdiepte slechts in een klein deel van het gebied waar het

reservoir voorkomt daadwerkelijk lager uitvalt. In de high case is de reservoirkwaliteit daardoor vergelijkbaar aan de base case.

Doorlatendheid
De doorlatendheid van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep is relatief laag. Dit is te wijten aan de fijnkorreligheid van het reservoir, wat een negatief effect heeft op de doorlatendheid. In het noorden van het projectgebied is de doorlatendheid lager dan 50 mD. In het overige deel van het projectgebied varieert de doorlatendheid tussen 50 en 150 mD.

De low en high case doorlatendheidskaarten laten zien dat de doorlatendheid relatief weinig beïnvloed wordt door de begravingsanomalie. In de high case is de permeabiliteit maximaal 175 mD. In de low case wordt de doorlatendheid slechter, tot maximaal 80 mD.

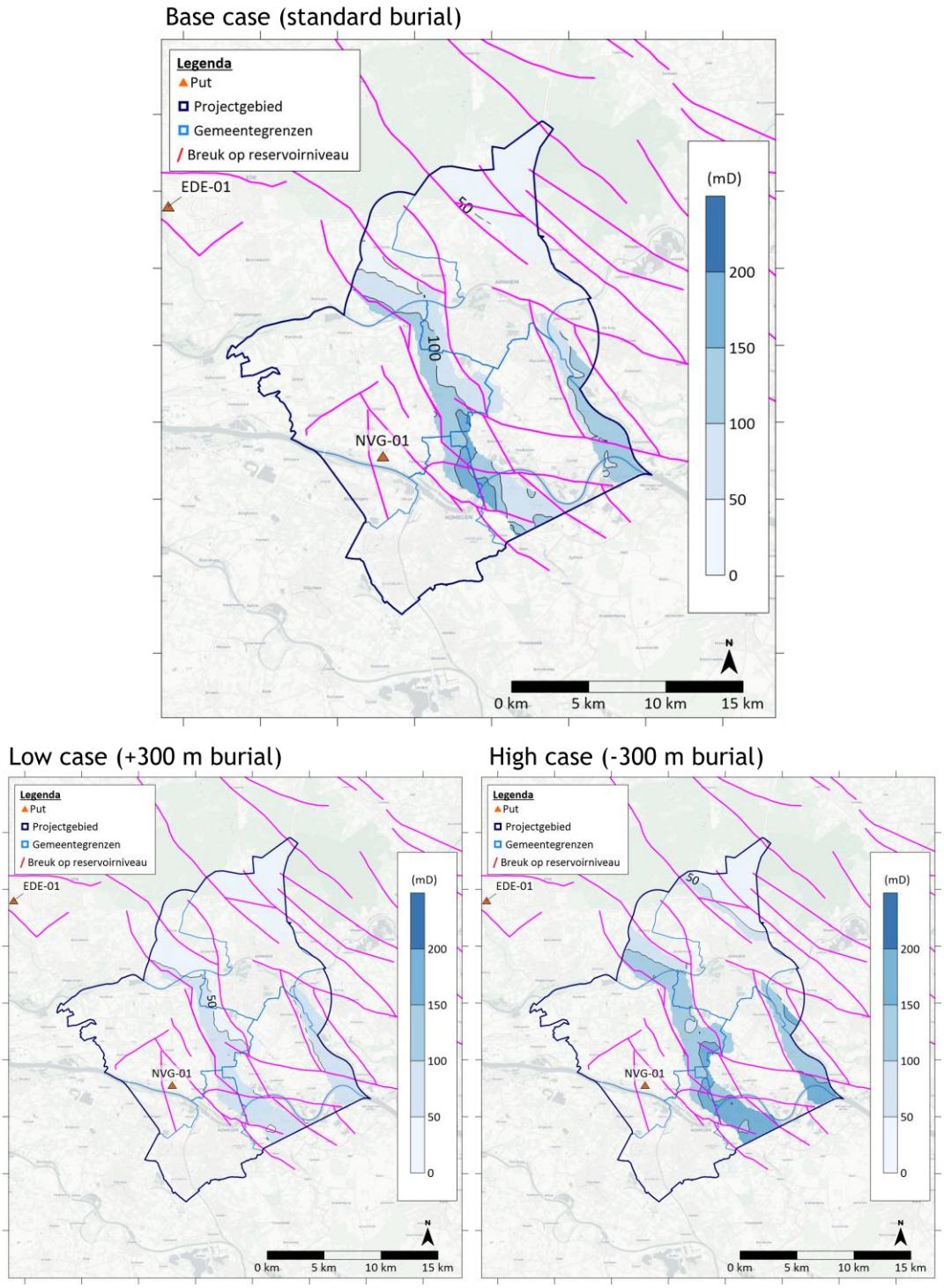
5.4 POTENTIEBEPALING

De geothermische potentie is berekend op basis van de eerdergenoemde temperatuur-, dikte- en doorlatendheidkaarten en een set randvoorwaarden (Tabel 5.1). De potentie is op dezelfde manier berekend als voor de Formatie van Slochteren (zie sectie 4.4). De geothermische potentie van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep is weergegeven in Figuur 5.4.

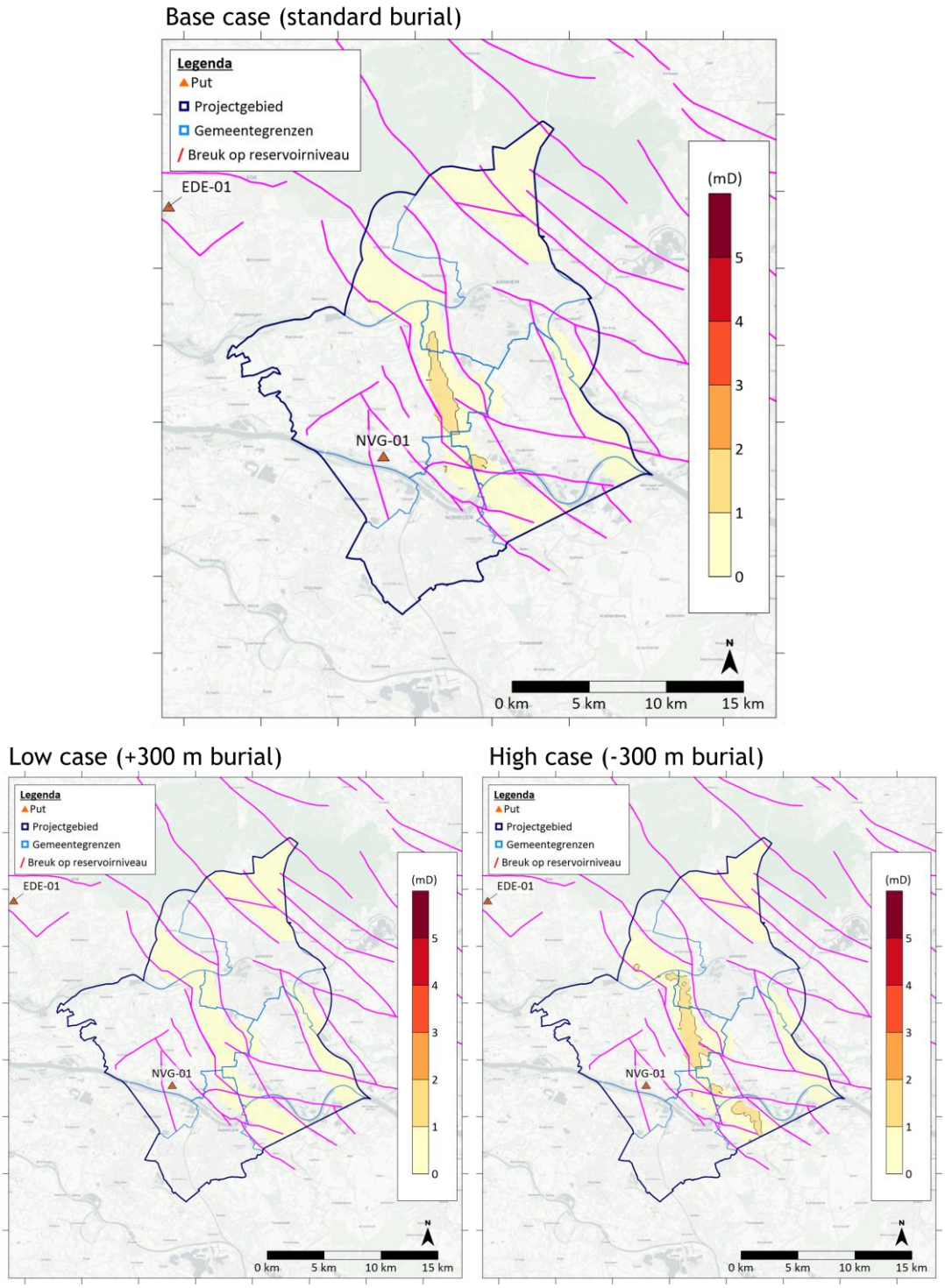
Tabel 5.1 | Input voor de potentiebepaling Hoofd-Bontzandsteen Subgroep.

Parameter	Eenheid	Grid/waarde	Bron
Diepte	[m]	Grid, Figuur 5.1	O.b.v. seismische interpretatie
Dikte	[m]	Grid, Figuur 5.1	O.b.v. putgegevens en seismische interpretatie
Temperatuur	[°C]	Grid, Figuur 5.2	O.b.v. dieptekaart en een regionale temperatuurgradiënt
Doorlatendheid	[mD]	Grid, Figuur 5.3	O.b.v. de max burialkaart, porositeitkaart en porositeit-permeabiliteit relatie
Saliniteit	[g/l]	85	Inschatting EDE-01 en NVG-01
Putafstand	[m]	1100	Standaard
COP	[-]	15	COP = Coëfficiënt of Performance, 15 is een standaardwaarde voor een geothermiesysteem
Injectietemperatuur	[°C]	15	Standaard voor geothermiesystemen met een relatief lage temperatuur (<70°C)
Pomprendement	[-]	0,7	Standaard
Skin	[-]	0	Er wordt geen skin aangenomen

De berekende potentie is per scenario weergegeven in Figuur 5.4, waarin het thermisch vermogen is uitgedrukt in megawatt (MWt). Hoe hoger de thermische potentie, hoe donkerder rood de kleur op de kaart. De kaarten laten zien dat de potentie in het projectgebied varieert tussen de 0 en 2 MWt in zowel de base case, high case en low case. De potentie van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep is binnen het projectgebied te laag om een geothermie project in dit reservoir te realiseren.



Figuur 5.3 | Boven) Base case doorlatendheid van de Hoofd Bontzandsteen Subgroep (begravingsanomalie + 0 m). Links onder) Low case doorlatendheid van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep (begravingsanomalie + 300 m). Rechtsonder) High case doorlatendheid van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep (begravingsanomalie - 300 m).

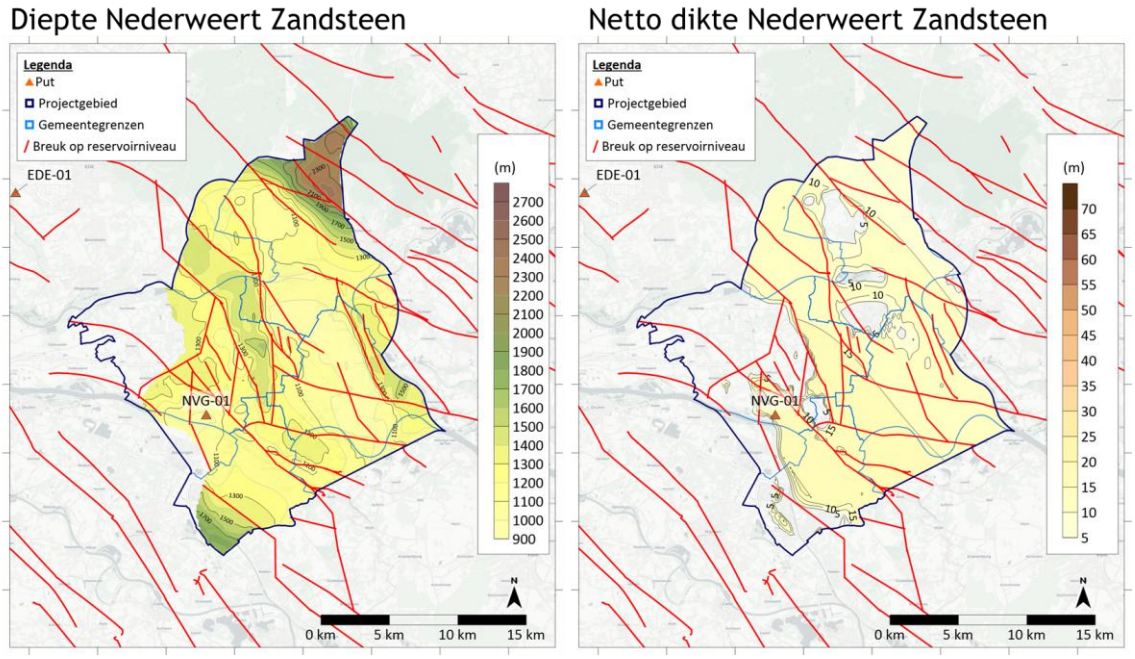


Figuur 5.4 | Boven) Base case potentie (MWt) van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep (begravingsanomalie + 0 m). Links onder) Low case potentie (MWt) van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep (begravingsanomalie + 300 m). Rechtsonder) High case potentie (MWt) van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep (begravingsanomalie - 300 m).

6 Verdieping op de Nederweert Zandsteen Formatie

6.1 DIEPTE EN DIKTE

De diepte en diktekaart van de Nederweert Zandsteen Formatie zijn verkregen via seismische interpretatie en putgegevens en zijn overgenomen uit de eerdere studie naar geothermie in de LOAN gemeentes (zie sectie 2.3).



Figuur 6.1 | Links) diepte van de Nederweert Zandsteen Formatie. Rechts) Netto dikte van de Nederweert Zandsteen Formatie.

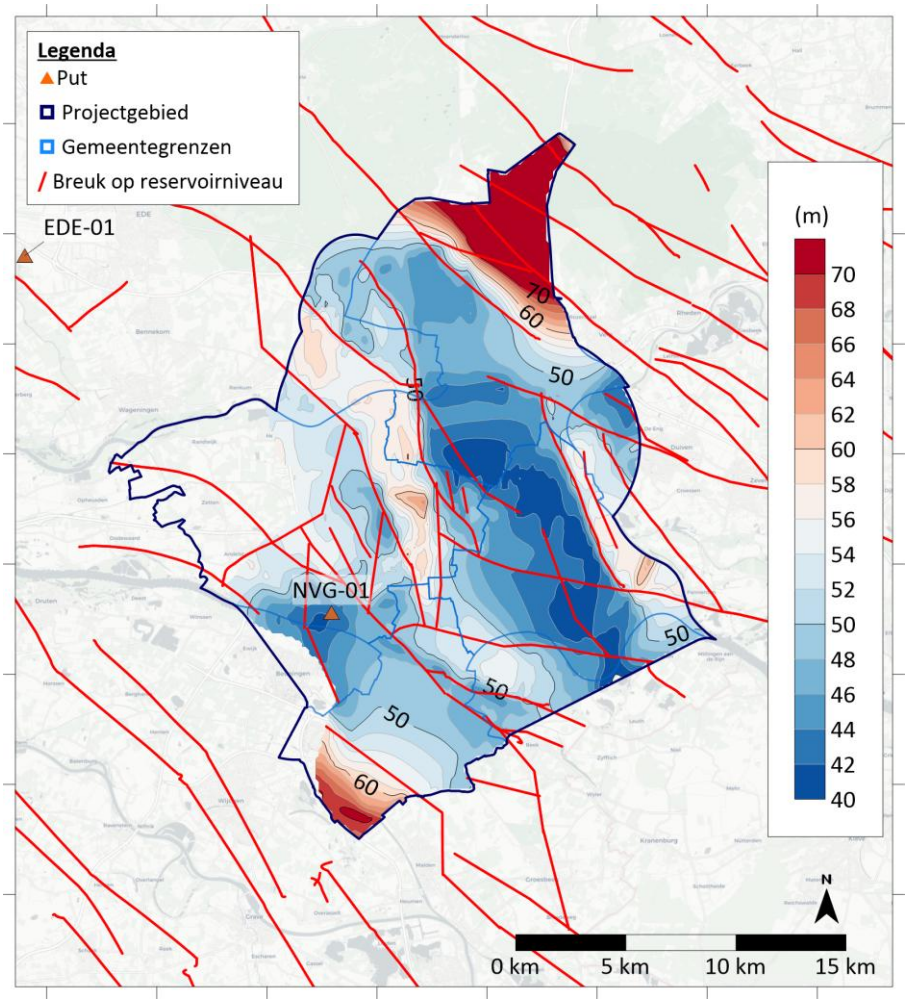
6.2 TEMPERATUUR

Op basis van temperatuurmetingen van de Hoofd-Bontzandsteen en Nederweert Zandsteen Formatie in de SCAN-boringen HEE-01 en BLT-01, en op basis van geothermieprojecten in Tinte en Brielle is een regionale diepte vs. temperatuur relatie opgesteld:

$$T\ (°C) = 10\ (°C) + 0{,}033\ (°C/m) * \text{diepte}\ (m)$$

Met behulp van deze temperatuurgradiënt en een gemiddelde oppervlaktetemperatuur van 10 °C is de verkregen dieptekaart omgerekend naar een temperatuurkaart (Figuur 5.2). Hoe warmer, hoe meer een locatie geschikt is voor geothermie. Uit de kaart is af te leiden dat het reservoir in het

noordelijkste gedeelte van de gemeente Arnhem het warmst is. In de rest van het projectgebied varieert de temperatuur tussen circa 40 en 60 °C



Figuur 6.2 | Temperatuur van de Nederweert Zandsteen Formatie.

6.3 RESERVOIRKWALITEIT

Effecten van uitloging en onzekerheden in de begravingsanomalie

Over het algemeen lijkt de Nederweert Zandsteen Formatie een vergelijkbare porositeit diepte trend te volgen als de Hoofd Bontzandsteen Subgroep. Echter, uit de petrofysische analyse blijkt ook dat er veel variatie in de eigenschappen zit per put. Zo is de NVG-01 veel doorlatender dan andere putten op vergelijkbare dieptes (e.g. CAL-GT-01 en ZED-01). Dit kan mogelijk komen door een sterk variërende sedimentologie en korrelgrootte of door processen zoals uitloging. In HEE-01 wordt tussen de 2 - 8 % van de porositeit toegeschreven aan secundaire processen zoals uitloging. Het blijft echter lastig om exact te bepalen wat de oorzaak kan zijn van de sterke lokale variatie in reservoirkwaliteit. Voor nu is er gekozen om lokale variaties is porositeit en permeabiliteit mee te nemen in de kaarten.

Hoewel de porositeit en de doorlatendheid van de Nederweert Zandsteen Formatie afhankelijk zijn van de maximale begravingsdiepte lijken de effecten van de onzekerheid in de begravingsanomalie lager dan bij de Formatie van Slochteren. Een mogelijke oorzaak kan zijn dat de lokale effecten veroorzaakt door NVG-01 ook dominant zijn. Deze lokale effecten bij de verschillende putten zijn bijvoorbeeld niet meegenomen voor de Formatie van Slochteren. Desondanks zullen we ook voor de Nederweert Zandsteen Formatie de effecten van de onzekerheid in de begravingsanomalie meenemen.

Doorlatendheid

De doorlatendheid van de Nederweert Zandsteen Formatie is zowel afhankelijk van de maximale begravingsdiepte als de afstand tot de NVG-01 put (welke uitzonderlijk goede reservoireigenschappen liet zien) (Figuur 6.3). In het zuidwesten van het projectgebied zijn de doorlatendheden relatief hoog (veelal boven de 500 mD). Verder richting het noordwesten wordt de maximale begravingsdiepte steeds hoger en nemen de lokale effecten veroorzaakt door de NVG-01 put af waardoor hier de doorlatendheden lager zijn (100 – 250 mD). In het uiterste noorden van het projectgebied ligt de Nederweert Zandsteen Formatie te diep voor de toepassing van geothermie.

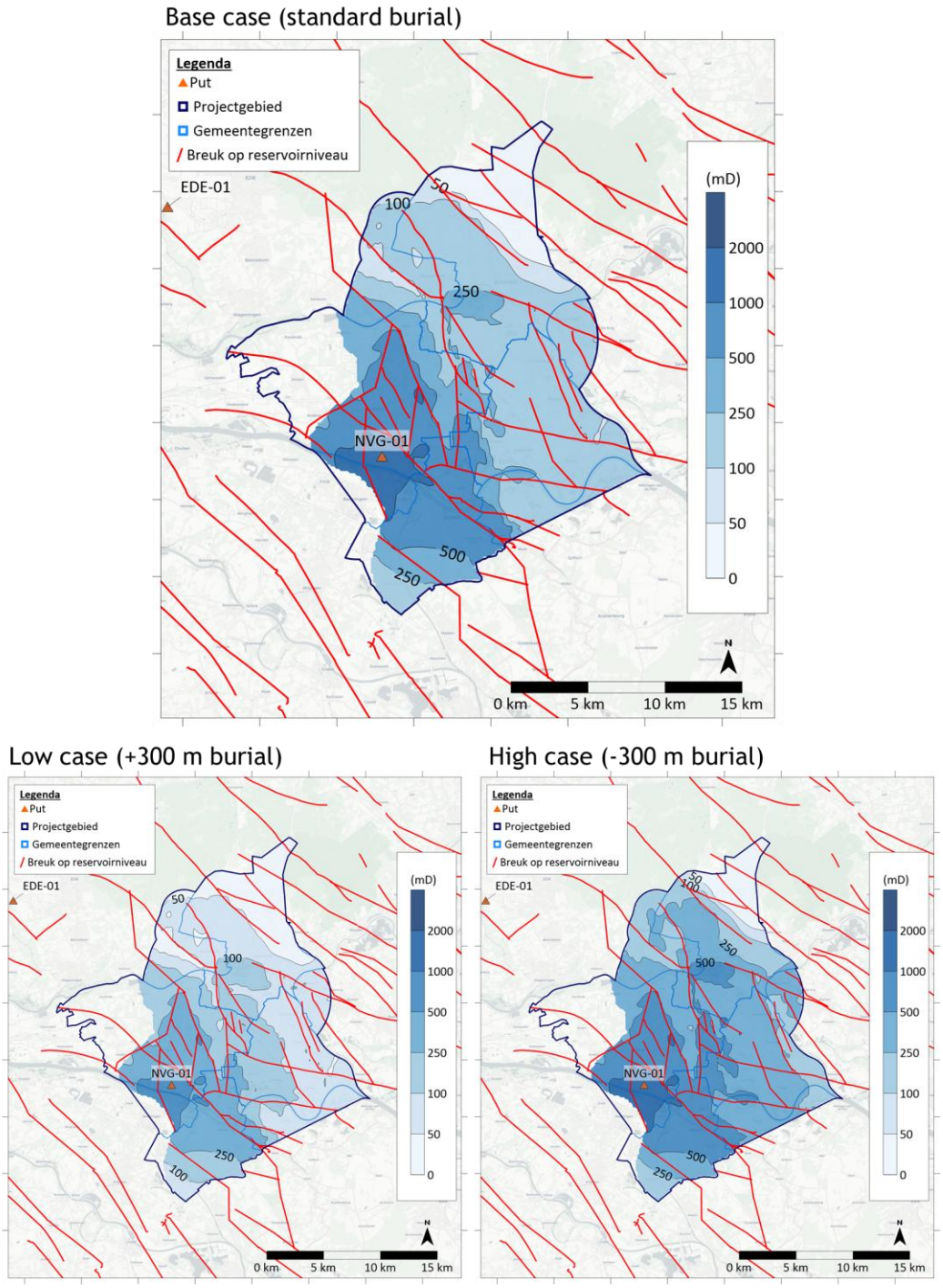
De low en high case doorlatendheidskaarten laten een beperkte invloed zien van de onzekerheid in de begravingsanomalie (Figuur 6.3). Doorlatendheden liggen vaak, afhankelijk van de locatie, tussen de 100 – 500 mD lager in het low case scenario. In het high case scenario nemen de doorlatendheden met maximaal 250 mD toe.

6.4 POTENTIEBEPALING

De geothermische potentie is berekend op basis van de eerdergenoemde temperatuur-, dikte- en doorlatendheidkaarten en een set randvoorwaarden (Tabel 6.1). De potentie is op dezelfde manier berekend als voor de Formatie van Slochteren (zie sectie 4.4). De geothermische potentie van de Nederweert Zandsteen Formatie is weergegeven in Figuur 6.4.

Tabel 6.1 | Input voor de potentiebepaling Nederweert Zandsteen Formatie

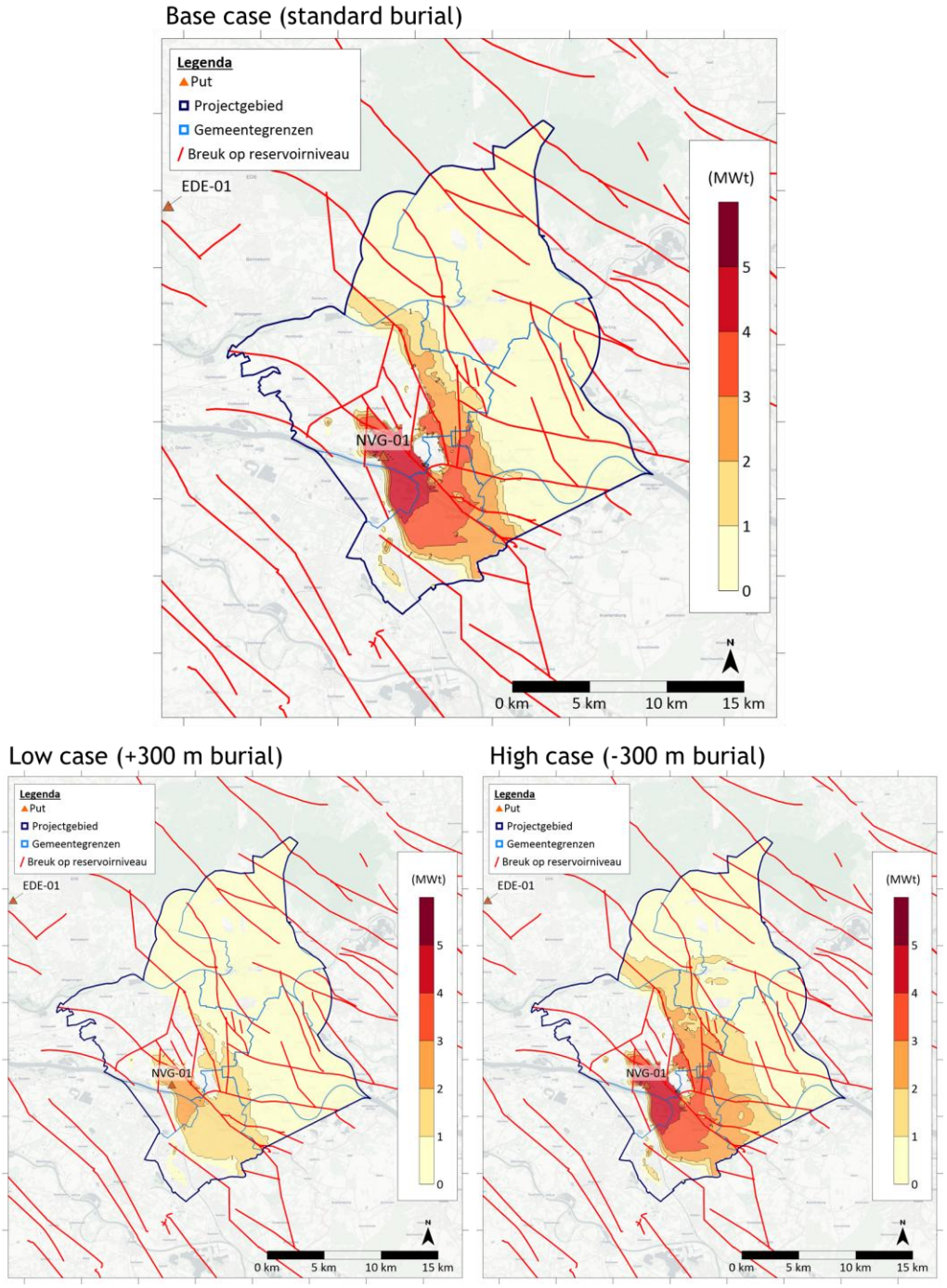
Parameter	Eenheid	Grid/waarde	Bron
Diepte	[m]	Grid, Figuur 6.1	O.b.v. seismische interpretatie
Dikte	[m]	Grid, Figuur 6.1	O.b.v. putgegevens en seismische interpretatie
Temperatuur	[°C]	Grid, Figuur 6.2	O.b.v. dieptekaart en een regionale temperatuurgradiënt
Doorlatendheid	[mD]	Grid, Figuur 6.3	O.b.v. de max burialkaart, porositeitkaart en porositeit-permeabiliteit relatie
Saliniteit	[g/l]	85	Inschatting EDE-01 en NVG-01
Putafstand	[m]	1100	Standaard
COP	[-]	15	COP = Coëfficiënt of Performance, 15 is een standaardwaarde voor een geothermiesysteem
Injectietemperatuur	[°C]	15	Standaard voor geothermiesystemen met een relatief lage temperatuur (<70°C)
Pomprendement	[-]	0,7	Standaard
Skin	[-]	0	Er wordt geen skin aangenomen



Figuur 6.3 | Boven) Base case doorlatendheid van de Nederweert Zandsteen Formatie (begravingsanomalie + 0 m). Links onder) Low case doorlatendheid van de Nederweert Zandsteen Formatie (begravingsanomalie + 300 m). Rechtsonder) High case doorlatendheid van de Nederweert Zandsteen Formatie (begravingsanomalie - 300 m).

Figuur 6.4 laat zien dat de potentie in het projectgebied varieert tussen de 0 en 6 MWt, In alle scenario's concentreert de potentie zich hoofdzakelijk binnen de ondiepe breukblokken rond de NVG-01 put (Nijmegen – Oosterhout). De effecten van het high case scenario zijn minimaal en

beperken zich tot een kleine toename in de potentie op het Huissen – Arnhem platform en het Elst graben. In het low case scenario zijn de effecten wat groter en neemt over het gehele projectgebied de potentie met ongeveer 50% af.



Figuur 6.4 | Boven) Base case potentie (MWt) van de Nederweert Zandsteen Formatie (begravingsanomalie + 0 m). Links onder) Low case potentie (MWt) van de Nederweert Zandsteen Formatie (begravingsanomalie + 300 m). Rechtsonder) High case potentie van de Nederweert Zandsteen Formatie (begravingsanomalie -300 m).

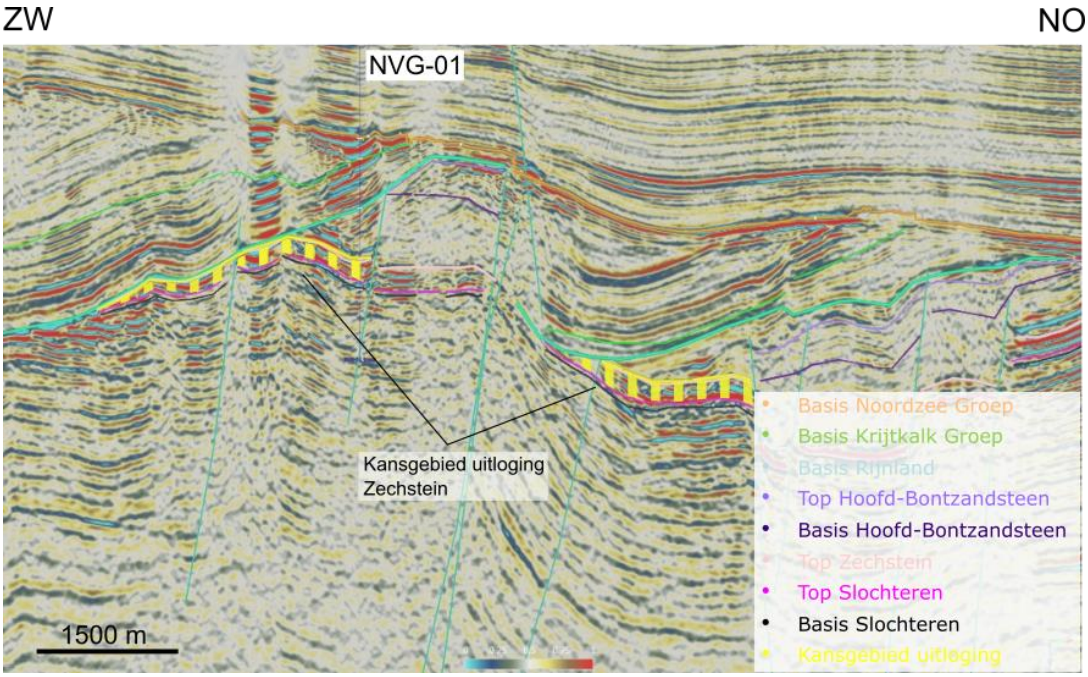
7 Verdieping op het Z1 Randcarbonaat Laagpakket

7.1 WAAROM HET Z1 RANDCARBONAAT?

Data vanuit de EDE-01 put laat zien dat de Zechstein porositeit bevat. De gemeten transmissiviteit van de Zechstein in de EDE-01 put bedraagt 4 – 6 Dm. Mogelijk zou het Z1 Randcarbonaat daardoor interessant kunnen zijn voor geothermie, eventueel als extra toevoeging op een ander reservoir.

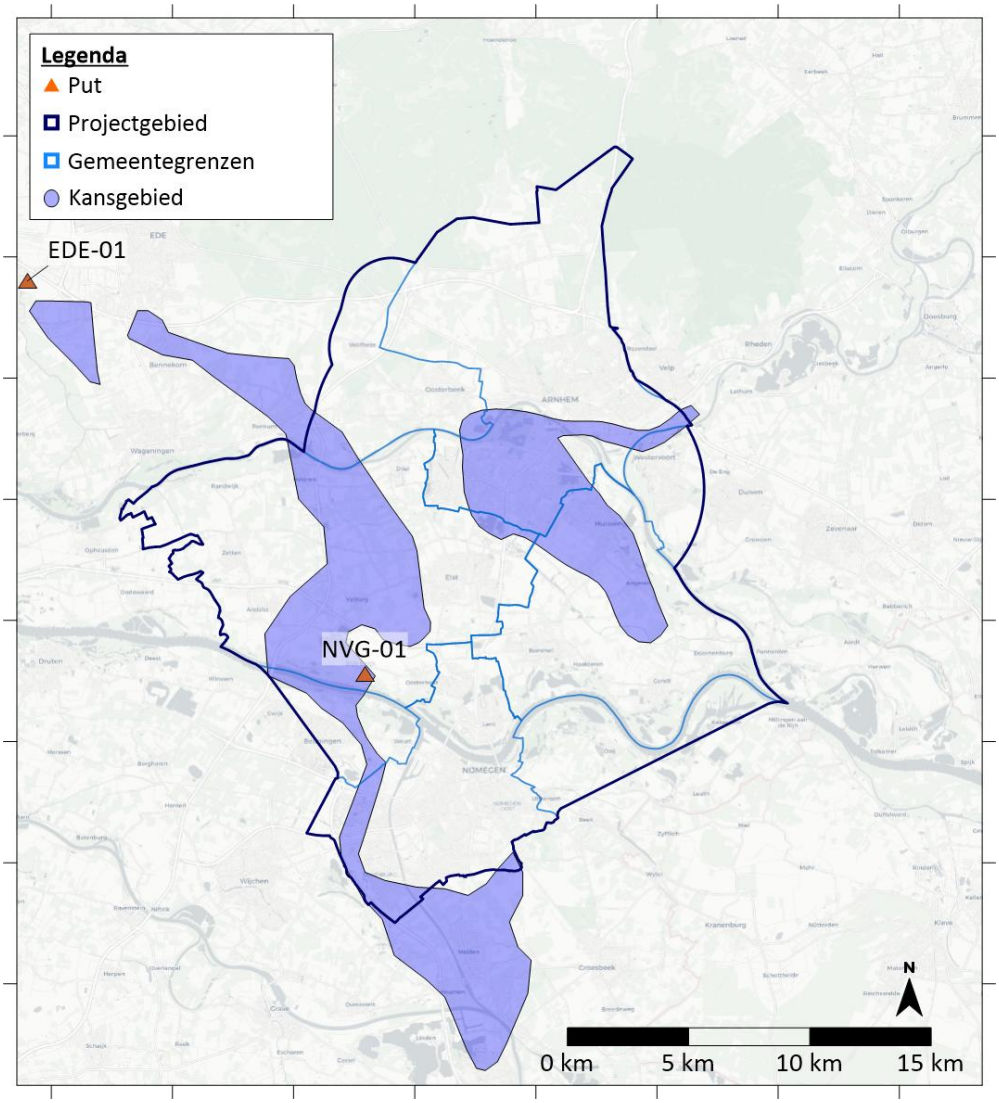
7.2 MOGELIJKE KANSGEBIEDEN

Op basis van de seismische data zijn zones geïdentificeerd waar karstvorming in de Zechstein plaatsgevonden kan hebben. Deze zones bestaan uit gebieden waar de Zechstein direct onder de Rijnland Groep of de Noordzee Groep ligt (zie Figuur 7.2). In deze gebieden zijn de tussenliggende afzettingen uit het Trias en/of Krijt geërodeerd, waardoor de Zechstein relatief dicht aan het oppervlakte gelegen heeft. Onder invloed van infiltrerend regenwater zou in deze gebieden karstvorming mogelijk zijn geweest. Of dit proces daadwerkelijk is opgetreden is zeer onzeker omdat er geen putdata is om dit te bevestigen.



Figuur 7.1 | Seismische sectie waarin een mogelijk uitlogingsgebied van de Zechstein is aangegeven (geel). Op deze locaties ligt de Zechstein direct of vlak onder de basis van de Rijnland Groep.

In Figuur 7.2 is de kansenkaart voor de Zechstein weergeven. Er zijn twee gebieden waar binnen de Zechstein mogelijke karstvorming heeft plaatsgevonden: direct langs het Peel-Maasbommelcomplex en op het Huissen platform.



Figuur 7.2 | Kansgebieden binnen het Z1 Randcarbonaat waar mogelijke karstvorming heeft plaatsgevonden.

7.3 INDICATIEVE GEOTHERMISCHE POTENTIE

Op basis van de data vanuit EDE-01 is een indicatieve berekening gedaan van het geothermisch potentie van de Zechstein binnen de LOAN gemeentes. De input voor deze berekening is gegeven in Tabel 7.1.

Tabel 7.1 | Input voor de potentiebepaling van het Z1 Randcarbonaat.

Parameter	Eenheid	Grid/waarde	Bron
Diepte	[m]	1100	O.b.v. seismische interpretatie
Dikte	[m]	25-30	O.b.v. putgegevens en seismische interpretatie
Temperatuur	[°C]	47	O.b.v. dieptekaart en een regionale temperatuurgradiënt
Doorlatendheid	[mD]	200	O.b.v. de max burialkaart, porositeitkaart en porositeit-permeabiliteit relatie
Saliniteit	[g/l]	85	Inschatting EDE-01 en NVG-01
Putafstand	[m]	1100	Standaard
COP	[-]	15	COP = Coëfficiënt of Performance, 10 is een standaardwaarde voor een geothermiesysteem
Injectietemperatuur	[°C]	15	Standaard voor geothermiesystemen met een relatief lage temperatuur (<70°C)
Pomprendement	[-]	0,7	Standaard
Skin	[-]	0	Er wordt geen skin aangenomen

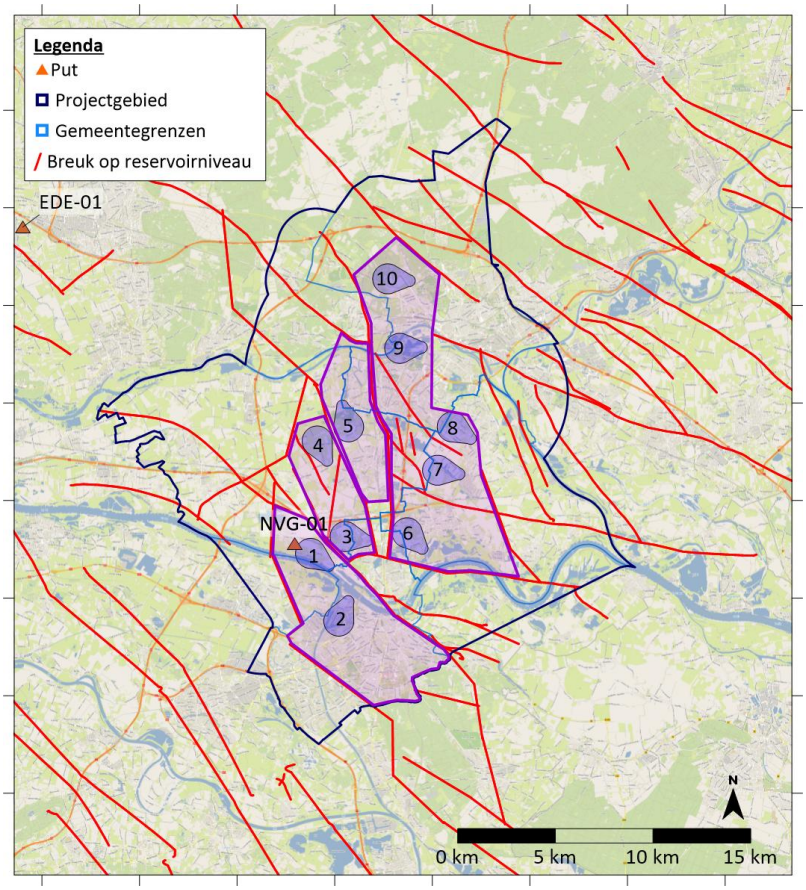
Op basis van de potentieberekening wordt de potentie van de Zechstein op circa 1.5 MWt ingeschat. Dit is onvoldoende voor het realiseren van een geothermie project binnen dit reservoir. Wel kan de Zechstein mogelijk worden gebruikt in combinatie met een ander reservoir zoals de Formatie van Slochteren of de Nederweert Zandsteen Formatie. Of dit technisch en juridisch haalbaar is moet verder worden onderzocht.

8 Locatie specifieke studie

Uit de voorgaande hoofdstukken blijkt dat er in delen van het projectgebied mogelijkheden zijn voor aardwarmtewinning uit de Formatie van Slochteren. In dit hoofdstuk beschrijven we verschillende mogelijke locaties waar aardwarmtewinning toegepast zou kunnen worden. Hiervan zijn vijf locaties verder uitgewerkt, waarbij een vermogensberekening en een inschatting van de kosten van het realiseren van een aardwarmte systeem zijn uitgewerkt.

8.1 LOCATIEKEUZE

In totaal zijn vier deelgebieden gedefinieerd waarbinnen een geothermiesysteem gerealiseerd kan worden. Binnen deze deelgebieden zijn potentiële locaties voor aardwarmtewinning ingetekend, zie Figuur 8.1. Deze locaties zijn indicatief en kunnen nog worden verplaatst, verschoven of gedraaid worden binnen de deelgebieden. Bij het kiezen van de mogelijke locaties is gekeken naar de geothermische potentie binnen de gebieden in zowel de low-, base- als high case. De potentiekaart van de Formatie van Slochteren is hierin leidend geweest omdat dit reservoir binnen de verschillende gemeentes de hoogste geothermische potentie biedt. Daarnaast is rekening gehouden met de ligging van waterwingebieden en met de aanwezige breuken op reservoirniveau.



Figuur 8.1 | Mogelijke locaties voor een locatie specifieke studie.

In overleg met de LOAN gemeentes is gekozen om voor een vijftal locaties een indicatieve potentie- en kostenberekening uit te voeren. Locaties 1 tot en met 5 zijn doorgerekend. Locaties 6 tot en met 10 zijn niet doorgerekend. Op deze laatstgenoemde locaties is de onzekerheid in de potentie het hoogst vanwege de onzekerheid in de maximale begravingsdiepte. Dit leidt tot grote verschillen in de reservoirkwaliteit afhankelijk van de maximale begravingsdiepte. Of op deze locaties een geothermie systeem gerealiseerd kan worden is hierdoor zeer onzeker. Om die reden zijn de locaties in dit stadium niet verder onderzocht.

8.2 POTENTIEBEREKENINGEN

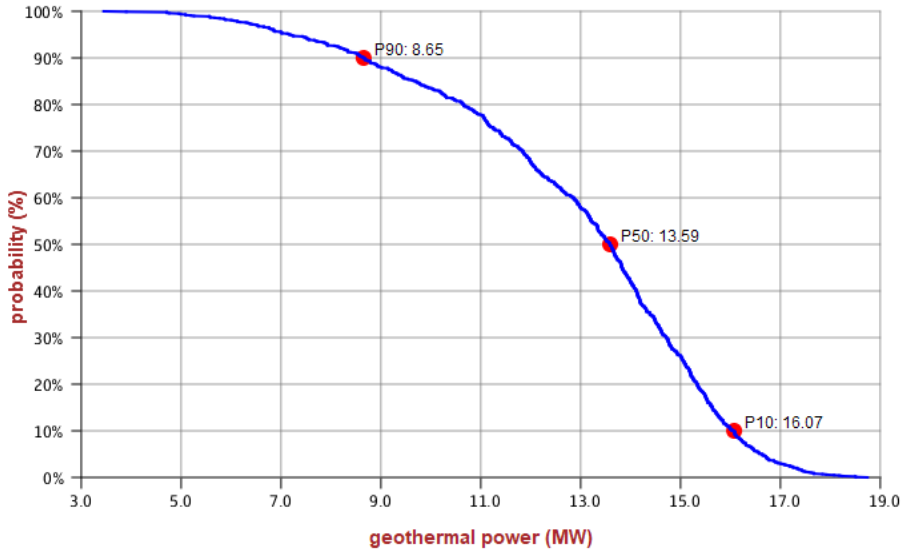
Op basis van het putontwerp, de te verwachten reservoireigenschappen en de operationele uitgangspunten uit Tabel 5.1 hebben wij met behulp van DoubletCalc V1.4.3 potentie berekeningen gemaakt voor een geothermiedoublet op de locaties 1 t/m 5. Hierbij is het injectieprotocol van SODM aangehouden en is er geoptimaliseerd op een maximale injectiedruk (pompdruk verschil) en daarmee maximaal vermogen. In onderstaande secties is per locatie de belangrijkste input en output parameters voor de potentieberekening weergegeven voor de verschillende locaties.

8.2.1 Locatie 1: Naast NVG-01 put

De gehanteerde input en resulterende output voor locatie 1 staan uiteengezet in Tabel 8.1 en Figuur 8.2. De resultaten laten zien dat het te verwachten vermogen varieert tussen de 8,7 - 13,6 - 16,1 MWt bij een debiet van 230,3 - 362,9 - 419,4 m^3/uur. De COP varieert tussen de 10,7 - 11,5 - 12,2 en de temperatuur ligt rond de 49,5 °C.

Tabel 8.1 | Belangrijkste input en output voor de potentieberekening voor de Formatie van Slochteren op locatie 1.

Input	Min	Mean	Max
Permeabiliteit (mD)	500	2000	2500
Netto Bruto verhouding	0,9	0,95	1
Bruto dikte (m)	19	23	26
Diepte Producer (TVDm)	1035	1150	1265
Diepte Injector (TVDm)	1035	1150	1265
Saliniteit (ppm)	80.000	85.000	125.000
Drukverschil systeem (bar)		71	
Retourtemperatuur (° C)		15	
Output	**P90**	**P50**	**P10**
Productietemperatuur (° C)	47,3	49,5	51,6
Debiet (m^3/uur)	230,3	362,9	419,4
Vermogen (MWt)	8,7	13,6	16,1
COP (KWt/KWe)	10,7	11,5	12,2



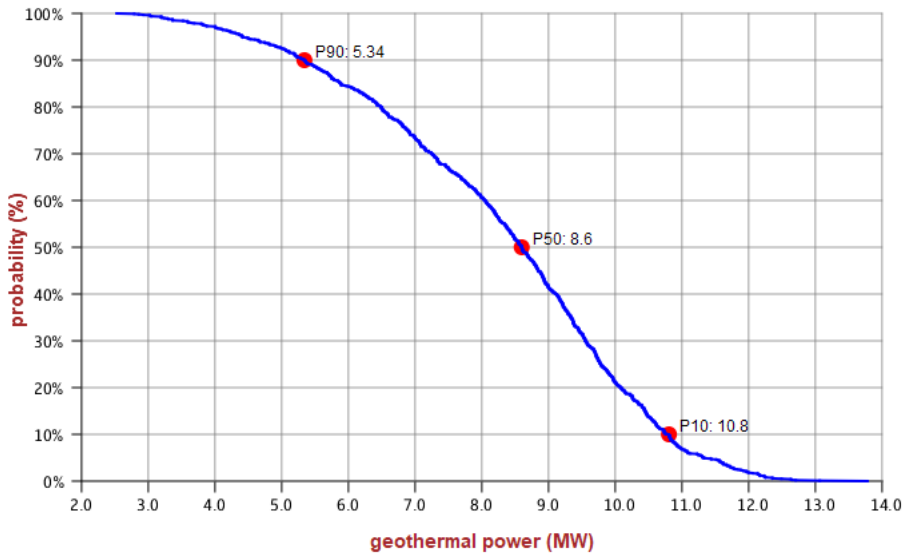
Figuur 8.2 | Waarschijnlijkheidsverdeling van het thermisch vermogen van het geothermiedoublet in de Formatie van Slochteren op locatie 1.

8.2.2 Locatie 2: Nijmegen West

De gehanteerde input en resulterende output voor locatie 2 staan uiteengezet in Tabel 8.2 en Figuur 8.3. De resultaten laten zien dat het te verwachten vermogen varieert tussen de 5,3 - 8,6 - 10,1 MWt bij een debiet van 136,5 - 217,3 - 267,5 m^3/uur. De COP varieert tussen de 11,4 - 12,1 - 12,8 en de temperatuur ligt rond de 51,8 °C.

Tabel 8.2 | Belangrijkste input en output voor de potentieberekening voor de Formatie van Slochteren op locatie 2.

Input	Min	Mean	Max
Permeabiliteit (mD)	400	1400	2000
Netto Bruto verhouding	0,9	0,95	1
Bruto dikte (m)	15	17,5	20
Diepte Producer (TVDm)	1098	1220	1342
Diepte Injector (TVDm)	1098	1220	1342
Saliniteit (ppm)	80.000	85.000	125.000
Drukverschil systeem (bar)		71	
Retourtemperatuur (° C)		15	
Output	**P90**	**P50**	**P10**
Productietemperatuur (° C)	49,5	51,8	54,1
Debiet (m^3/uur)	136,5	217,3	267,5
Vermogen (MWt)	5,3	8,6	10,8
COP (KWt/KWe)	11,4	12,1	12,8



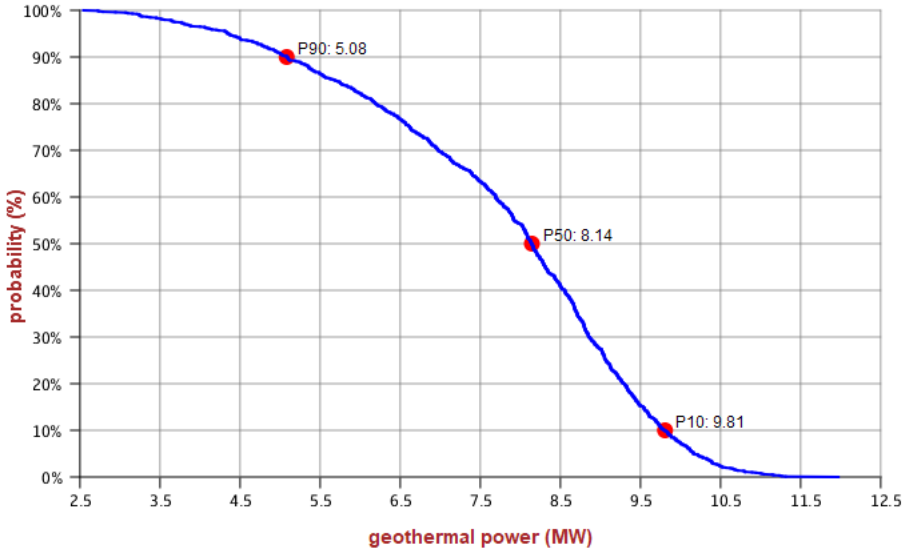
Figuur 8.3 | Waarschijnlijkheidsverdeling van het thermisch vermogen van het geothermiedoublet in de Formatie van Slochteren op locatie 2.

8.2.3 Locatie 3: Oosterhout

De gehanteerde input en resulterende output voor locatie 3 staan uiteengezet in Tabel 8.3 en Figuur 8.4. De resultaten laten zien dat het te verwachten vermogen varieert tussen de 5,1 - 8,1 en 9,8 MWt bij een debiet van 125,0 - 199,5 - 233,7 m^3/uur. De COP varieert tussen de 11,6 - 12,4 - 13,1 en de temperatuur ligt rond de 53,2 °C.

Tabel 8.3 | | Belangrijkste input en output voor de potentieberekening voor de Formatie van Slochteren op locatie 3.

Input	Min	Mean	Max
Permeabiliteit (mD)	330	1200	1500
Netto Bruto verhouding	0,9	0,95	1
Bruto dikte (m)	16	18,5	21
Diepte Producer (TVDm)	1134	1260	1386
Diepte Injector (TVDm)	1134	1260	1386
Saliniteit (ppm)	80.000	85.000	125.000
Drukverschil systeem (bar)		72	
Retourtemperatuur (° C)		15	
Output	**P90**	**P50**	**P10**
Productietemperatuur (° C)	50,8	53,2	55,5
Debiet (m^3/uur)	125,0	199,5	233,7
Vermogen (MWt)	5,1	8,1	9,8
COP (KWt/KWe)	11,6	12,4	13,1



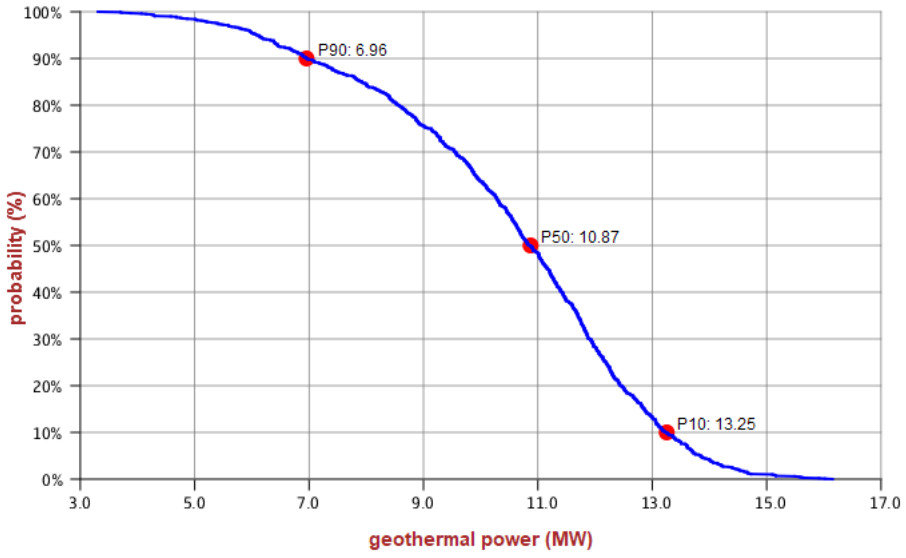
Figuur 8.4 | Waarschijnlijkheidsverdeling van het thermisch vermogen van het geothermiedoublet in de Formatie van Slochteren op locatie 3.

8.2.4 Locatie 4: Elst platform

De gehanteerde input en resulterende output voor locatie 4 staan uiteengezet in Tabel 8.4 en Figuur 8.5. De resultaten laten zien dat het te verwachten vermogen varieert tussen de 7,0 - 10,9 - 13,3 MWt bij een debiet van 173,9 - 266,6 - 315,4 m^3/uur. De COP varieert tussen de 11,5 - 12,2 - 12,9 en de temperatuur ligt rond de 52,9 °C.

Tabel 8.4 | | Belangrijkste input en output voor de potentieberekening voor de Formatie van Slochteren op locatie 4.

Input	Min	Mean	Max
Permeabiliteit (mD)	350	1200	1500
Netto Bruto verhouding	0,9	0,95	1
Bruto dikte (m)	22	25	30
Diepte Producer (TVDm)	1125	1250	1375
Diepte Injector (TVDm)	1125	1250	1375
Saliniteit (ppm)	80.000	85.000	125.000
Drukverschil systeem (bar)		73	
Retourtemperatuur (° C)		15	
Output	**P90**	**P50**	**P10**
Productietemperatuur (° C)	50,6	52,9	55,3
Debiet (m^3/uur)	173,9	266,6	315,4
Vermogen (MWt)	7,0	10,9	13,3
COP (KWt/KWe)	11,5	12,2	12,9



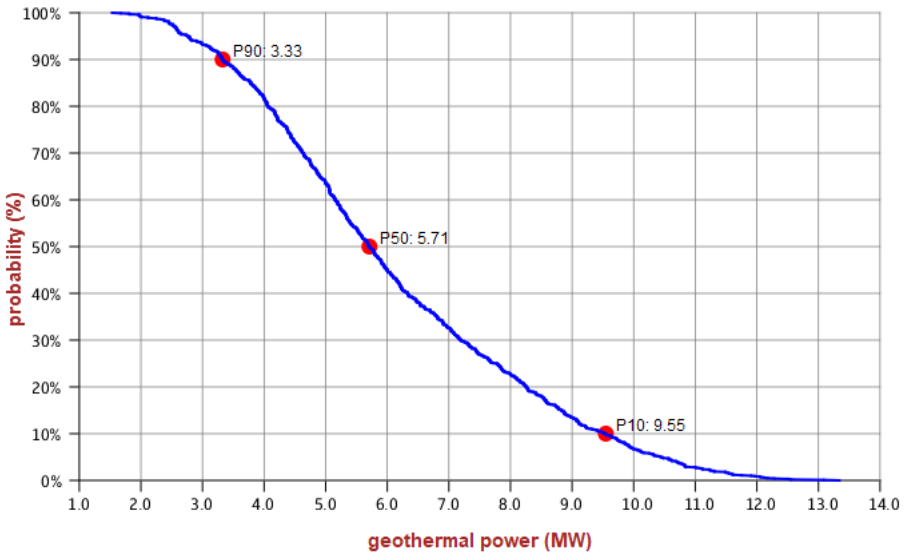
Figuur 8.5 | Waarschijnlijkheidsverdeling van het thermisch vermogen van het geothermiedoublet in de Formatie van Slochteren op locatie 4.

8.2.5 Locatie 5: Elst Graben

De gehanteerde input en resulterende output voor locatie 4 staan uiteengezet in Tabel 8.5 en Figuur 8.6. De resultaten laten zien dat het te verwachten vermogen varieert tussen de 3,3 - 5,7 - 9,6 MWt bij een debiet van 70,1 - 115,6 - 190,5 m^3/uur. De COP varieert tussen de 13,1 - 13,9 - 14,8 en de temperatuur ligt rond de 61,4 °C.

Tabel 8.5 | | Belangrijkste input en output voor de potentieberekening voor de Formatie van Slochteren op locatie 5.

Input	Min	Mean	Max
Permeabiliteit (mD)	125	440	1000
Netto Bruto verhouding	0,9	0,95	1
Bruto dikte (m)	20	25	27
Diepte Producer (TVDm)	1350	1500	1650
Diepte Injector (TVDm)	1350	1500	1650
Saliniteit (ppm)	80.000	85.000	125.000
Drukverschil systeem (bar)		76	
Retourtemperatuur (° C)		15	
Output	**P90**	**P50**	**P10**
Productietempertuur (° C)	58,6	61,4	64,3
Debiet (m^3/uur)	70,1	115,6	190,5
Vermogen (MWt)	3,3	5,7	9,6
COP (KWt/KWe)	13,1	13,9	14,8



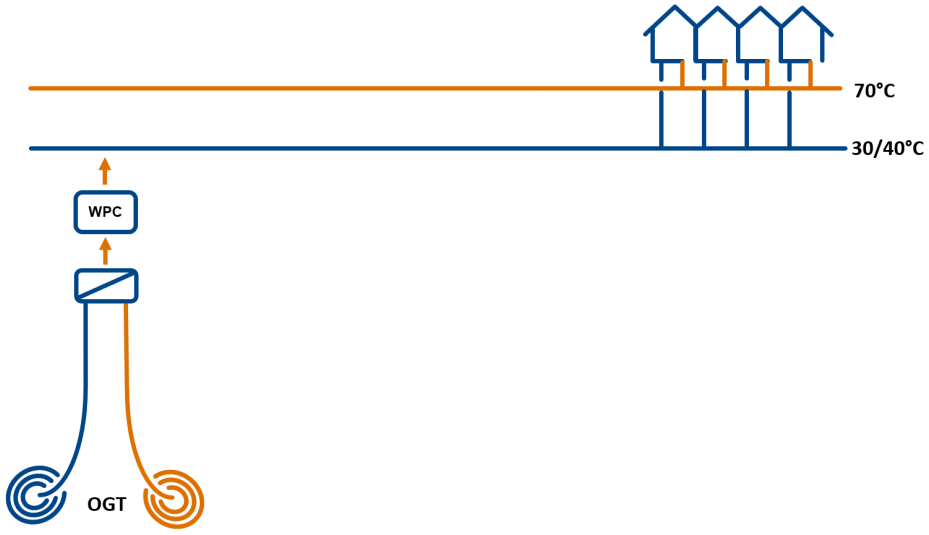
Figuur 8.6 | Waarschijnlijkheidsverdeling van het thermisch vermogen van het geothermiedoublet in de Formatie van Slochteren op locatie 5.

8.3 KOSTENINSCHATTING

Op basis van de gekozen locaties en de geschatte ondergrondse potentie is de kostprijs van warmte van een geothermiesysteem ingeschat. In deze paragraaf is een samenvatting gegeven. Meer gedetailleerde informatie is te vinden in Bijlage 5.

De kostprijs is geschat voor vijf locaties voor twee type afnemers, zowel de gebouwde omgeving als de glastuinbouw. Voor alle locaties wordt de Formatie van Slochteren gebruikt als reservoir.

Een schematische weergave van het systeemconcept is gegeven in Figuur 8.7. Een geothermiedoublet levert bronwarmte voor de warmtepomp. De warmtepomp verhoogt de temperatuur van het geothermiesysteem naar de gewenste aanvoertemperatuur (70°C). afhankelijk van het type afnemer is de retourtemperatuur 40°C (gebouwde omgeving) of 30°C (glastuinbouw).



Figuur 8.7 | Schematische weergave systeemconcept basisvariant (WPC = warmtepompcentrale, OGT is ondiepe geothermie).

Kostprijs warmte

De kostprijs is bepaald op basis van het onrendabele topmodel uit de SDE++, zoals dat ook in de vorige rapportage voor LOAN is gedaan. In de SDE++ wordt de kostprijs voor warmte “basisbedrag” genoemd. Deze is gecorrigeerd op basis van het vermogen en diepte op basis van de potentiekaarten. Daarnaast zijn de kosten voor elektriciteit aangepast op basis van de berekende COP voor geothermie. De resultaten staan in

Tabel 8.6 en Tabel 8.7. Het vermogen in deze tabellen ligt hoger dan het vermogen van alleen de geothermische put omdat de warmtepomp extra vermogen toevoegt.

Tabel 8.6 | Belangrijkste resultaten kosten berekening voor gebouwde omgeving (vollasturen = 3500).

	Investerings kosten	Exploitatiekosten	Vermogen	Kostprijs Warmte	SDE++ basisbedrag[4]
	[M€]	[M€/jaar]	[MW]	[€/kWh]	[€/kWh]
Locatie 1: Naast NVG put	28,3	2,2	18,2	0,1339	0,1659
Locatie 2: Nijmegen West	25,3	1,4	11,3	0,1586	0,1659
Locatie 3: Oosterhout	25,2	1,3	10,6	0,1639	0,1659
Locatie 4: Elst platform	26,6	1,7	14,2	0,1446	0,1659
Locatie 5: Elst Graben	25,5	0,9	7,1	0,2069	0,1659

Tabel 8.7 | Belangrijkste resultaten kosten berekening voor glastuinbouw omgeving (vollasturen = 6000).

	Investerings kosten	Exploitatiekosten	Vermogen	Kostprijs Warmte	SDE++ basisbedrag
	[M€]	[M€/jaar]	[MW]	[€/kWh]	[€/kWh]
Locatie 1: Naast NVG put	23,3	2,5	16,4	0,0781	0,1075
Locatie 2: Nijmegen West	21,5	1,5	10,3	0,0923	0,1075
Locatie 3: Oosterhout	21,6	1,4	9,7	0,0953	0,1075
Locatie 4: Elst platform	22,5	1,9	13,0	0,0848	0,1075
Locatie 5: Elst Graben	22,3	1,0	6,6	0,1200	0,1075

Kostprijs warmte inclusief transportleiding

In bovenstaande berekening zijn geen kosten meegenomen voor het transport van het warme water van het geothermiesysteem naar een warmtenet. Het is nog onbekend aan welke gebieden de potentiële geothermiesystemen gekoppeld gaan worden. Daarom hebben we inzichtelijk gemaakt wat het effect is van het toevoegen van een 2 km leiding voor de gebouwde omgeving en een leiding van 5 km voor glastuinbouw.

De investeringskosten voor de transportleidingen naar deze gebieden zijn weergegeven in 8.8 en Tabel 8.9. De kosten zijn een eerste inschatting waarbij nog geen rekening is gehouden met het traject waarlangs mogelijk de leidingen gelegd kunnen worden. In de tabel is ook het effect weergegeven op de kostprijs van warmte als de investeringskosten van de transportleidingen meegenomen wordt.

Tabel 8.8 | Investeringskosten en bestemming van transportleiding en invloed op kostprijs voor gebouwde omgeving.

	lengte	Debiet	CapEx leiding	Kostprijs warmte	SDE++ basisbedrag
	[km]	[m³/uur]	[M€]	[€/kWh]	[€/kWh]
Locatie 1: Naast NVG put	2	340	4,7	0,1435	0,1659
Locatie 2: Nijmegen West	2	200	3,6	0,1705	0,1659
Locatie 3: Oosterhout	2	180	3,6	0,1766	0,1659
Locatie 4: Elst platform	2	250	3,6	0,1540	0,1659

[4] Dit is het afgetopte basisbedrag aangezien dat bedrag maximaal voor subsidie kan worden.

Locatie 5: Elst Graben	2	110	3,1	0,2228	0,1659

Tabel 8.9 | Investeringskosten en bestemming van transportleiding en invloed op kostprijs voor glastuinbouw.

	lengte	Debiet	CapEx leiding	Kostprijs warmte	SDE++ basisbedrag
	[km]	[m³/uur]	[M€]	[€/kWh]	[€/kWh]
Locatie 1: Naast NVG put	5	340	8,4	0,0891	0,1075
Locatie 2: Nijmegen West	5	200	6,4	0,1055	0,1075
Locatie 3: Oosterhout	5	180	6,4	0,1095	0,1075
Locatie 4: Elst platform	5	250	6,4	0,0953	0,1075
Locatie 5: Elst Graben	5	110	5,3	0,1373	0,1075

Duiding aan de getallen

De analyse is vooral vergelijkend bedoeld. De kosten zijn indicatief en kunnen in de praktijk afwijken. Uit de analyse blijkt dat Locatie 1 financieel het meest rendabel is aangezien die locatie de laagste kostprijs voor warmte heeft. Daarna volgt locatie 4 met de op één na laagste kostprijs. Dit komt met name vanwege het hoge vermogen dat op deze locaties haalbaar is. De kostprijs van locatie 1, 2, 3 en 4 liggen lager dan het SDE++ basisbedrag (afgetopt). Dit is een indicatie dat het mogelijk is om op deze locaties een rendabel systeem te realiseren onder de voorwaarde dat een maximale SDE++ subsidie wordt verkregen. Onder rendabel wordt hier verstaan dat de berekende kostprijs onder het maximum basisbedrag van de SDE++ ligt. Dit zorgt dat de SDE++ subsidie de onrendabele top vergoed tussen de marktprijs voor de warmte en de berekende kostprijs. Alleen de kostprijs warmte van locatie 5 is hoger dan het SDE++ basisbedrag. Hier wordt het moeilijker een rendabel project neer te zetten en de andere locaties zijn logischere keuzes.

Wanneer de glastuinbouw vergeleken wordt met de bestaande bouw dan is te zien dat de kostprijs warmte voor de glastuinbouw significant lager ligt dan voor de gebouwde omgeving. Dit komt door de hoge vollasturen en lagere elektriciteitstarieven die worden gehanteerd in het SDE++ OT model. Het SDE++ basisbedrag voor deze projecten ligt echter ook lager.

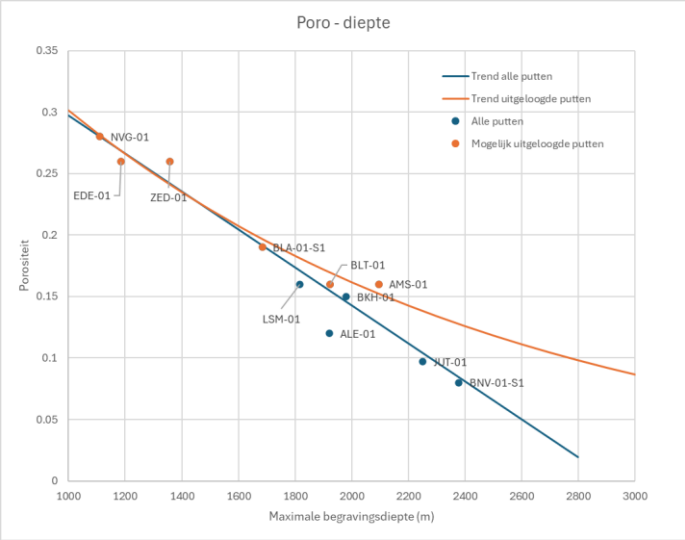
Als het effect van transportleidingen wordt meegenomen blijkt dat de kostprijs ligt stijgt. Hierdoor ligt voor de gebouwde omgeving voor locatie 2 en 3 nu ook de kostprijs warmte boven het basisbedrag waardoor een geothermiedoublet hier minder rendabel lijkt. Hetzelfde geldt voor locatie 3 voor de glastuinbouw.

Concluderend is locatie 1 financieel het gunstigst. Mochten er echter externe factoren zijn die hier niet meegenomen zijn, dan kan er ook voor gekozen worden om andere (of meerdere) locaties verder uit te werken, aangezien er meerdere rendabel lijken indien de maximale SDE++ subsidie verkregen wordt.

Bijlage 1

RESULTATEN PETROFYSISCHE INTERPRETATIE FORMATIE VAN SLOCHTEREN

Met het vrijkomen van nieuwe SCAN gegevens is er een nieuwe trend opgesteld tussen de maximale begravingsdiepte en de porositeit van de Formatie van Slochteren. Deze trend is gebruikt om de maximale begravingsdiepte om te rekenen naar een reservoirkwaliteit (porositeit en permeabiliteit). De trend en gebruikte resultaten staan weergegeven in het figuur en de tabel hieronder.



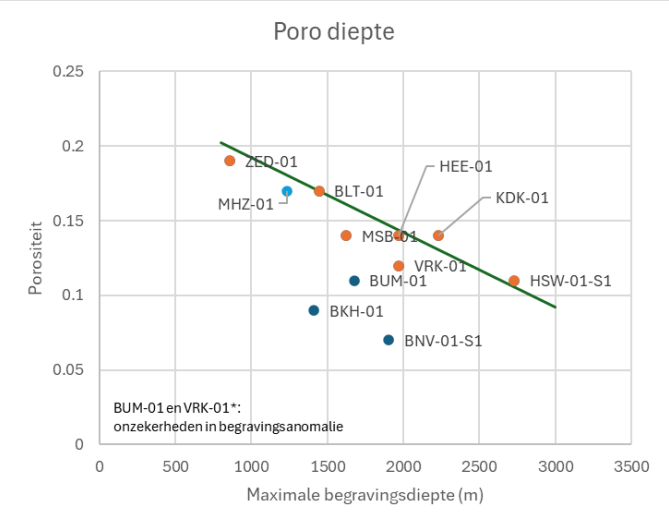
Put	Top (TVDm)	Bruto dikte (m)	N/G	Effectieve porositeit (Phie)	Doorlatendheid (Geometrisch) (mD)	Begravings-anomalie (m)	Maximale begravings-diepte (m)
BNV-01-S1	2187	83	0.4	0.08	1	150	2379
BLA-01-S1*	1451	118	1	0.19	179	175	1685
ALE-01	1734	123	0.97	0.12	6	127	1922
LSM-01	1312	142	0.97	0.16	41	435	1818
NVG-01*	1101	19	0.97	0.28	2538	0	1110
EDE-01*	1157	60	1	0.26	1387	0	1186
BLT-01*	1863	122	0.98	0.16	41	0	1924
AMS-01*	2040	111	0.98	0.16	55	0	2096
ZED-01*	1199	17	0.66	0.26	1233	150	1358
BKH-01	1521	17	0.97	0.15	26	450	1980
JUT-01	1648	126	-	0.10	-	540	2251

* Voor deze putten is aangenomen dat ze zijn uitgeloogd en is er aparte porositeit diepte trend gemaakt.

Bijlage 2

RESULTATEN PETROFYSISCHE INTERPRETATIE HOOFD BONTZANDSTEEN SUBGROEP

Met het vrijkomen van nieuwe SCAN gegevens is er een nieuwe trend opgesteld tussen de maximale begravingsdiepte en de porositeit van de Hoofd Bontzandsteen Subgroep. Deze trend is gebruikt om de maximale begravingsdiepte om te rekenen naar een reservoirkwaliteit (porositeit en permeabiliteit). De trend en gebruikte resultaten staan weergegeven in het figuur en de tabel hieronder.



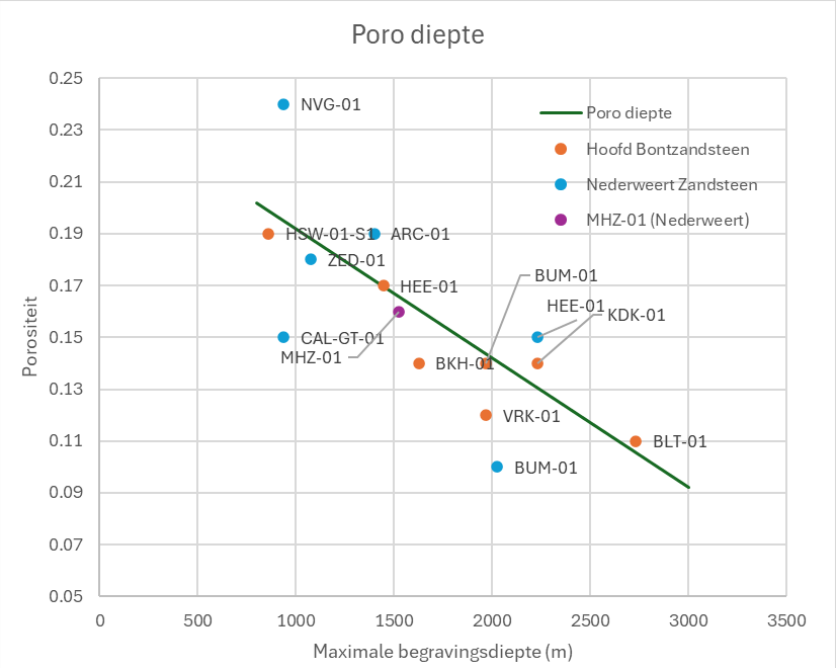
Put	Top TVD (m)	Bruto dikte (m)	N/G	Effectieve porositeit (-)	Doorlatendheid (Geometrisch gemiddeld) (mD)	Begravings-anomalie (m)	Maximale begravings-diepte (m)
KDK-01	2000	158	0.57	0.14	23	150	2228
VRK-01	1571	196	0.49	0.12	15	300	1969
BUM-01	1384	187	0.59	0.11	9	200	1678
HEE-01	1917	101	0.54	0.14	26	0	1967
BLT-01	1402	90	0.46	0.17	60	0	1447
HSW-01-S1	2560	194	0.52	0.11	9	75	2732
BKH-01*	935	53	0.36	0.09	4	450	1412
ZED-01	680	60	0.52	0.19	118	150	860
MSB-01	1445	111	0.52	0.14	26	125	1626
BNV-01-S1*	1720	70	0.07	0.07	1	150	1905
MHZ-01**	1045	135	0.55	0.17	60	125	1238

* BKH-01 en BNV-01-S1 lijken een sterk afwijkende sedimentologie en kleihoeveelheid te hebben. Hierdoor zijn ze niet meegenomen in de porositeit - diepte relaties.
** MHZ-01: Inschatting op basis van interpretatie van de eerste vrijgegeven data door EBN

Bijlage 3

RESULTATEN PETROFYSISCHE INTERPRETATIE NEDERWEERT ZANDSTEEN FORMATIE

Met het vrijkomen van nieuwe SCAN gegevens is er een nieuwe trend opgesteld tussen de maximale begravingsdiepte en de porositeit van de Nederweert Zandsteen. Deze trend is gebruikt om de maximale begravingsdiepte om te rekenen naar een reservoirkwaliteit (porositeit en permeabiliteit). Vervolgens is het verschil (residual) die zichtbaar is bij putten toegepast op de kaarten. De trend en gebruikte resultaten staan weergegeven in het figuur en de tabel hieronder.



Put	Top (TVDm)	Bruto dikte (zandig interval) (m)	N/G	Effectieve porositeit (Phie)	Doorlatendheid (Geometrisch) (mD)	Begravings-anomalie (m)	Maximale begravings-diepte (m)	Porositeits residual*
ZED-01	972	56	0.10	0.18	241	150	1078	-0.01
BUM-01	1862	65	0.11	0.1	2	200	2027	-0.04
NVG-01	911	74	0.26	0.24	1779	0	937	+0.04
BKH-01	-	-	0.00	-	-	450	-	-
HEE-01	2106	249	0.34	0.15	20	0	2231	+0.02
ARC-01	675	148	0.59	0.19	173	650	1399	+0.02
CAL-GT-01	831	213	0.77	0.15	42	0	938	-0.04
MHZ-01	1232	344	0.74	0.16	20	120	1524	-0.01

* Porositeits residual is de lokale porositeitsafwijking van een put ten opzichte van het gehanteerde porositeit diepe model. Deze lokale afwijking is meegenomen in de modellen. Het is niet duidelijk waarom de Nederweert Zandsteen Formatie lokaal zo'n sterke afwijking kan hebben van de algemene begravingstrend.

Bijlage 4

RESULTATEN PETROFYSISCHE INTERPRETATIE Z1 RANDCARBONAAT

Voor het Z1 Randcarbonaat is de reservoirkwaliteit ingeschat met behulp van een petrofysische interpretatie en de puttest bij EDE-01. De resultaten staan hieronder uiteengezet.

Put	Top (TVDm)	Bruto dikte (zandig interval) (m)	N/G	Effectieve porositeit (Phie)	Doorlatendheid (Geschat) (mD)	Uitgeloogd / Gekarstificeerd
BLA-01-S1	1407	29	0.31	0.07	1	Nee
BLT-01	1826	30	0.14	0.08	1	Nee
EDE-01	1116	27	0.97	0.27	200	Ja
NVG-01	1058	34	0.97	0.19	50 - 150	Mogelijk

Bijlage 5

KOSTPRIJS EN WARMTELEVERING

5.1 VARIANTEN

De kostprijs is geschat voor vijf locaties voor twee type afnemers, zowel de gebouwde omgeving als de glastuinbouw. De behoefte aan warmte is voor beide type afnemers verschillend waardoor de mogelijkheden voor een geothermiesysteem om warmte te leveren ook verschillen. Voor alle locaties wordt de formatie van Slochteren gebruikt om de bron in te boren.

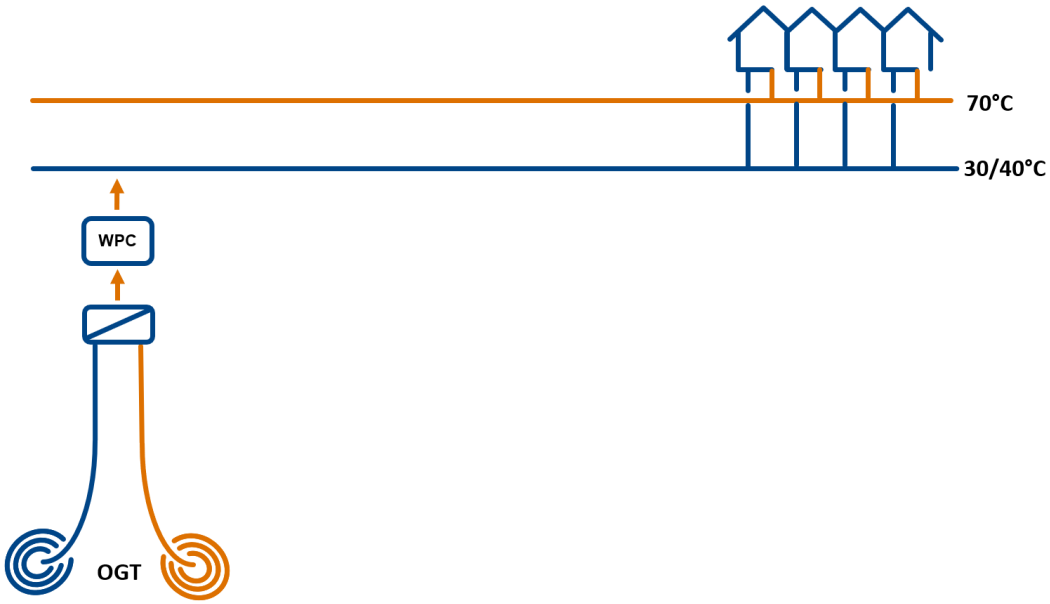
In Tabel 8.10 is een overzicht gegeven van de tien onderzochte varianten.

Tabel 8.10 | De tien onderzochte varianten.

Locatie	Type afnemer	Formatie
Locatie 1: Naast NVG put	Gebouwde omgeving	Slochteren
Locatie 2: Nijmegen West	Gebouwde omgeving	Slochteren
Locatie 3: Oosterhout	Gebouwde omgeving	Slochteren
Locatie 4: Elst platform	Gebouwde omgeving	Slochteren
Locatie 5: Elst Graben	Gebouwde omgeving	Slochteren
Locatie 1: Naast NVG put	Glastuinbouw	Slochteren
Locatie 2: Nijmegen West	Glastuinbouw	Slochteren
Locatie 3: Oosterhout	Glastuinbouw	Slochteren
Locatie 4: Elst platform	Glastuinbouw	Slochteren
Locatie 5: Elst Graben	Glastuinbouw	Slochteren

5.2 SYSTEEMCONCEPT

In Figuur 8.7 is een algemeen overzicht gegeven van het gebruikte systeemconcept voor zowel warmtelevering aan woningen als aan glastuinbouw. Het geothermiedoublet pompt warm water op dat daarna met een warmtepomp verder in temperatuur wordt verhoogd. De warmte wordt met een warmtenet geleverd aan de gebouwde omgeving of glastuinbouw. Er is gekozen voor een 70/40°C warmtenet voor de gebouwde omgeving en een 70/30°C warmtenet voor de glastuinbouw. Dit houdt in dat het water met een temperatuur van 70°C wordt geleverd aan een afnemer en dat het wordt geretourneerd met een temperatuur van ongeveer 40°C of 30°C.



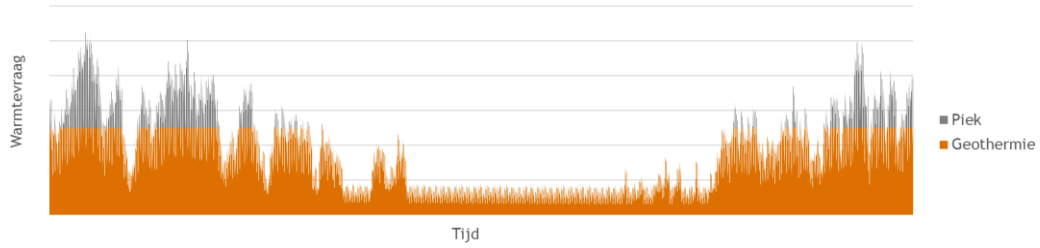
Figuur 8.8 | Schematische weergave systeemconcept (WPC = warmtepompcentrale, OGT = ondiepe geothermie).

Op de gekozen locatie heeft het water dat omhoog wordt gehaald met het geothermie systeem een temperatuur van ongeveer 49-62°C afhankelijk van de locatie. Water vanuit de retour van het warmtenet wordt eerst direct verwarmd met behulp van het geothermische water. Daarna wordt de temperatuur verder verwarmd naar 70°C door de warmtepomp. Voor de warmtepomp is een COP aangenomen van 3,3 identiek aan de waarde die in de SDE++ berekening wordt gehanteerd[5]. Na warmtelevering wordt het geothermisch water met een temperatuur van 15°C geïnjecteerd in de bodem. Het geothermiedoublet kan met het gekozen systeemconcept een vermogen leveren van 5,7-13,6 MW afhankelijk van de gebruikte formatie. Door het toepassen van de warmtepomp stijgt het vermogen dat geleverd wordt aan het warmtenet naar 7,1-18,2 MW voor de gebouwde omgeving en 6,6-16,5 MW voor de glastuinbouw. Het lagere vermogen voor de glastuinbouw wordt veroorzaakt doordat er minder gebruikt gemaakt wordt van de warmtepomp. Dit komt doordat er meer warmte direct geleverd kan worden vanwege de lagere retourtemperatuur. Hierdoor wordt er minder elektriciteit gebruikt en dus ook minder warmte geleverd.

Gebouwde omgeving

In Figuur 8.9 is illustratief een typisch warmtevraag jaarprofiel te zien van een warmtenet in de gebouwde omgeving. Dit vraagprofiel bestaat uit warmte gebruikt voor verwarming, tapwater en warmteverlies. In het vraagprofiel is te zien dat het geothermiesysteem een deel van de warmtevraag voorziet. Op sommige momenten levert het geothermiesysteem op vol vermogen en sommige momenten op deellast. Het deel van de warmtevraag dat niet door het geothermiesysteem kan worden geleverd is de resterende piek en daarvoor moet een piekvoorziening geregeld worden. Het aantal vollasturen kan worden gezien als de tijdsduur waarin het geothermiesysteem effectief op vol vermogen energie heeft geproduceerd.

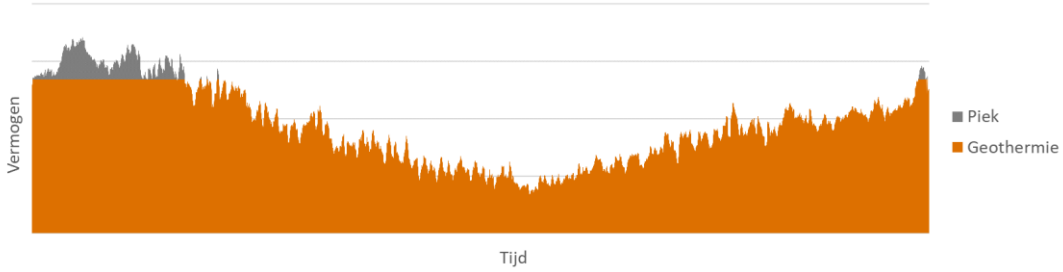
[5] Eindadvies basisbedragen SDE++ 2026, S. Lensink en K. Schoots, PBL



Figuur 8.9 | Een typisch warmtevraag van een warmtenet in de gebouwde omgeving.

Glastuinbouw

Glastuinbouw heeft een ander warmtevraag jaarprofiel dan woningen en een typisch profiel is weergegeven in Figuur 8.10. Er is nog wel een zogenaamde “badkuippofiel” maar minder strek dan bij woningbouw. Ook in de zomer is er doorgaans nog een redelijk hoge warmtevraag. Vanwege dit andere vraagprofiel is het ook mogelijk om een groter aantal vollasturen te draaien voor het geothermiesysteem dan bij woningen.



Figuur 8.10 | Een typisch warmtevraag voor tuinbouw.

5.3 KOSTPRIJS WARMTE

Voor het bepalen van de kostprijs warmte is gebruik gemaakt van het SDE++ onrendabele top (OT) model. Hierbij zijn de categorieën “Ondiepe geothermie (geen basislast)” en “Ondiepe geothermie, basislast” gebruikt omdat die het beste aansluiten bij de varianten. In de categorie met geen basislast wordt gerekend met 3.500 vollasturen en de categorie basislast gaat uit van 6.000 vollasturen. De categorie zonder basislast is toegepast voor de gebouwde omgeving en de categorie met basislast voor de glastuinbouw. Voor glastuinbouw is het mogelijk om meer vollasturen te draaien wat overeenkomt met in basislast draaien.

In het SDE++ OT model zijn de kosten voor een gemiddeld ondiep geothermiesysteem bepaald. In deze studie is het SDE++ OT model specifiek gemaakt, zodat deze zo goed mogelijk aansluit op de gekozen situatie en locatie. Het model is specifiek gemaakt door de CAPEX van het geothermiesysteem te corrigeren voor de boordiepte. Voor de vaste OPEX (operationele kosten, in €/kW/jaar) zijn de waarden uit het SDE++ OT model gebruikt. De variabele OPEX (€/kWh/jaar) in het SDE++ OT model is aangepast voor het elektriciteitsgebruik van het geothermiesysteem. Het SDE++ OT model bepaald op basis van de gegevens een kostprijs warmte (basisbedrag genoemd in de SDE systematiek). Deze kostprijs warmte geeft aan welk bedrag een warmteproducent voor 15 jaar per geproduceerde kWh aan warmte zou moeten krijgen zodat het project geen onrendabele top meer heeft.

Resultaten

In Tabel 8.11 en Tabel 8.12 zijn de belangrijkste resultaten voor de tien varianten weergegeven. De investeringskosten voor de glastuinbouw zijn lager dan in de gebouwde omgeving doordat er minder warmtepomp vermogen nodig is. Dit komt door de lagere retourtemperatuur van glastuinbouw. De exploitatiekosten vallen iets hoger uit voor glastuinbouw omdat er meer warmte geleverd wordt en er dus ook hogere elektriciteitskosten zijn.

De kostprijs voor de glastuinbouw ligt een stuk lager dan voor de gebouwde omgeving door de lagere investeringskosten en het fors hogere aantal vollasturen. Hierdoor kan er met dezelfde installatie meer warmte geleverd worden omdat er meer wordt afgenomen. Dat zorgt voor lagere kosten per geproduceerde eenheid warmte.

Tabel 8.11 | Belangrijkste resultaten kosten berekening voor gebouwde omgeving (vollasturen = 3500).

	Investerings kosten	Exploitatiekosten	Vermogen	Kostprijs Warmte	SDE++ basisbedrag[6]
	[M€]	[M€/jaar]	[MW]	[€/kWh]	[€/kWh]
Locatie 1: Naast NVG put	28,3	2,2	18,2	0,1339	0,1659
Locatie 2: Nijmegen West	25,3	1,4	11,3	0,1586	0,1659
Locatie 3: Oosterhout	25,2	1,3	10,6	0,1639	0,1659
Locatie 4: Elst platform	26,6	1,7	14,2	0,1446	0,1659
Locatie 5: Elst Graben	25,5	0,9	7,1	0,2069	0,1659

Tabel 8.12 | Belangrijkste resultaten kosten berekening voor glastuinbouw omgeving (vollasturen = 6000).

	Investeringskosten	Exploitatiekosten	Vermogen	Kostprijs Warmte	SDE++ basisbedrag
	[M€]	[M€/jaar]	[MW]	[€/kWh]	[€/kWh]
Locatie 1: Naast NVG put	23,3	2,5	16,4	0,0781	0,1075
Locatie 2: Nijmegen West	21,5	1,5	10,3	0,0923	0,1075
Locatie 3: Oosterhout	21,6	1,4	9,7	0,0953	0,1075
Locatie 4: Elst platform	22,5	1,9	13,0	0,0848	0,1075
Locatie 5: Elst Graben	22,3	1,0	6,6	0,1200	0,1075

De analyse is vooral vergelijkend bedoeld. De kosten zijn indicatief en kunnen in de praktijk afwijken. Uit de analyse blijkt dat Locatie 1 financieel het meest rendabel is aangezien die locatie de laagste kostprijs voor warmte heeft. Daarna volgt locatie 4 met de op één na laagste kostprijs. Dit komt met name vanwege het hoge vermogen dat op deze locaties haalbaar is. De kostprijs van locatie 1, 2, 3 en 4 liggen lager dan het SDE++ basisbedrag (afgetopt). Dit is een indicatie dat het mogelijk is om op dit locaties een rendabel systeem te realiseren onder de voorwaarde dat een maximale SDE++ subsidie wordt verkregen. Onder rendabel wordt hier verstaan dat de berekende kostprijs onder het maximum basisbedrag van de SDE++ ligt. Dit zorgt dat de SDE++ subsidie de onrendabele top vergoed tussen de marktprijs voor de warmte en de berekende kostprijs. Alleen de kostprijs warmte van locatie 5 is hoger dan het SDE++ basisbedrag. Hier wordt het moeilijker een rendabel project neer te zetten en de andere locaties zijn logischere keuzes.

Wanneer de glastuinbouw vergeleken wordt met de bestaande bouw dan is te zien dat de kostprijs warmte voor de glastuinbouw significant lager ligt dan voor de gebouwde omgeving. Dit komt door

[6] Dit is het afgetopte basisbedrag aangezien dat bedrag maximaal voor subsidie kan worden.

de hoge vollasturen en lagere elektriciteitstarieven die worden gehanteerd in het SDE++ OT model. Het SDE++ basisbedrag voor deze projecten ligt echter ook lager.

Invloed transport

In bovenstaande berekening zijn geen kosten meegenomen voor het transport van het warme water van het geothermiesysteem naar een warmtenet. Het is nog onbekend aan welke gebieden de potentiële geothermiesystemen gekoppeld gaan worden. Daarom hebben we inzichtelijk gemaakt wat het effect is van het toevoegen van een 2 km leiding voor de gebouwde omgeving en een leiding van 5 km voor glastuinbouw. Voor de glastuinbouw lijkt namelijk alleen Nextgarden een optie aangezien er op dit moment geen andere glastuinbouw gebieden in de buurt liggen. Nextgarden ligt ver van de potentiële geothermiebronnen en daarom is daarvoor een lange leiding nodig.

De investeringskosten voor de transportleidingen zijn weergegeven in Tabel 8.13 en Tabel 8.14. De kosten zijn een eerste inschatting waarbij nog geen rekening is gehouden met het traject waarlangs mogelijk de leidingen gelegd kunnen worden. In de tabel is ook het effect weergegeven op de kostprijs van warmte als de investeringskosten van de transportleidingen meegenomen wordt. Hieruit blijkt dat de transportleidingen zorgen voor een lichte stijging van de kostprijs. Hierdoor ligt voor de gebouwde omgeving voor locatie 2 en 3 nu ook de kostprijs warmte boven het basisbedrag waardoor een geothermiedoublet hier minder rendabel lijkt. Hetzelfde geldt voor locatie 3 voor de glastuinbouw.

Los van de kosten die er voor deze leidingen gemaakt moeten worden, zijn er ook verliezen die groter zijn naarmate de afstand langer is. Deze zijn niet meegenomen in de berekening, maar kunnen een groot effect hebben op de business case voor de glastuinbouw aangezien grote afstanden overbrugt moeten worden, waardoor er een significant verlies in warmte kan zijn.

Tabel 8.13 | Investeringskosten en bestemming van transportleiding en invloed op kostprijs voor gebouwde omgeving. De CAPEX van de leiding voor locatie 2, 3 en 4 is gelijk omdat voor die debieten dezelfde DN-maat nodig is.

	lengte	Debiet	CapEx leiding	Kostprijs warmte	SDE++ basisbedrag
	[km]	[m³/uur]	[M€]	[€/kWh]	[€/kWh]
Locatie 1: Naast NVG put	2	340	4,7	0,1435	0,1659
Locatie 2: Nijmegen West	2	200	3,6	0,1705	0,1659
Locatie 3: Oosterhout	2	180	3,6	0,1766	0,1659
Locatie 4: Elst platform	2	250	3,6	0,1540	0,1659
Locatie 5: Elst Graben	2	110	3,1	0,2228	0,1659

Tabel 8.14 | Investeringskosten en bestemming van transportleiding en invloed op kostprijs voor glastuinbouw. De CAPEX van de leiding voor locatie 2, 3 en 4 is gelijk omdat voor die debieten dezelfde DN-maat nodig is.

	lengte	Debiet	CapEx leiding	Kostprijs warmte	SDE++ basisbedrag
	[km]	[m³/uur]	[M€]	[€/kWh]	[€/kWh]
Locatie 1: Naast NVG put	5	340	8,4	0,0891	0,1075
Locatie 2: Nijmegen West	5	200	6,4	0,1055	0,1075
Locatie 3: Oosterhout	5	180	6,4	0,1095	0,1075
Locatie 4: Elst platform	5	250	6,4	0,0953	0,1075
Locatie 5: Elst Graben	5	110	5,3	0,1373	0,1075

IF Technology **Creating energy**

Velperweg 35
6824 BE Arnhem
Postbus 605
6800 AP Arnhem

T 026 35 35 555
E info@iftechnology.nl
I www.iftechnology.nl

NL60 RABO 0383 9420 47
KvK Arnhem 09065422
BTW nr. NL801045599B01

IF Technology **Creating energy**