

Regionaal onderzoek potentie geothermie rondom Amersfoort

Potentie geothermie op regionaal schaalniveau





Datum 18 december 2025

Referentie PR11206/JK/20251218

Betreft Onderzoek geothermie Regio Amersfoort

Behandeld door Jasper Kwee, Quinten Boersma, Rinde Kooij, Casper Schutte, Donna Dieperink

Gecontroleerd door Roel Dirkx, Nick Buik, Nick Shaw

Versienummer 2.0

OPDRACHTGEVER

Bureau Regio Amersfoort

T.a.v. Mevr. Van Heemskerck Düker

Stadhuisplein 5

3811 LM Amersfoort

L.vanHeemskerckDuker@amersfoort.nl

INHOUDSOPGAVE

1 Inleiding	5
1.1 Aanleiding	5
1.2 De techniek geothermie	5
1.3 Behandeling van de klantvraag	6
2 Wat is de geothermievastheid in de regio Amersfoort?	8
2.1 Belangrijkste conclusies	8
2.2 Belangrijkste resultaten Formatie van Slochteren	9
2.3 Belangrijkste resultaten Formatie van Breda	10
2.4 Koppeling vraag en aanbod	12
2.5 Conclusies en Aanbevelingen	12
2.5.1 Conclusies en aanbevelingen per cluster	14
2.6 Omgevingsbelangen en risico's	16
3 Hoe zijn de potentiekaarten tot stand gekomen?	18
3.1 Reservoirselectie	18
3.2 Formatie van Slochteren	20
3.2.1 Diepte en breuken	21
3.2.2 Temperatuur	22
3.2.3 Dikte	23
3.2.4 Gesteente-eigenschappen	24
3.2.5 Potentiebeoordeling	26
3.2.6 Beschikbare data en mate van zekerheid	28
3.3 Formatie van Breda	30
3.3.1 Diepte en breuken	30
3.3.2 Dikte	31
3.3.3 Temperatuur	32
3.3.4 Gesteente-eigenschappen	33
3.3.5 Potentiebeoordeling	34
3.3.6 Beschikbare data en mate van zekerheid	36
4 Koppeling potentie met warmtevraag	38
4.1 Haalbaarheid geothermisch warmtenet	38
4.2 Match vraag en aanbod	41
5 Warmteopslag	46
5.1 Inleiding	46
5.1.1 Bodemgeschiktheid	47
5.1.2 Juridische risico's	48
5.2 Bodemgeschiktheid	48
5.2.1 Bodemopbouw uit het Regionaal Geohydrologisch Informatie Systeem (REGIS)	48
5.2.2 Potentiële opslagpakketten voor HTO	51
5.3 Juridische risico's	52
5.4 Resultaten haalbaarheid warmteopslag per warmtecluster	55
5.4.1 Warmtecluster Bunschoten	55
5.4.2 Warmtecluster Baarn	56

5.4.3 Warmtecluster Soest	56
5.4.4 Warmteclusters Amersfoort en Leusden	57
5.4.5 Warmtecluster Woudenberg	58
5.5 Potentie HTO	58
5.6 Conclusie	59
6 Bijlages	60
6.1 Bijlage 1: Geologische setting en beschrijving van mogelijke reservoirs	60
6.1.1 Regionale geologie	60
6.1.2 Selectie van mogelijk geschikte aardlagen	63
6.2 Bijlage 2: Seismische interpretatie, petrofysische interpretatie en opschaling	66
6.2.1 Seismische interpretatie	66
6.2.2 Petrofysische interpretatie	69
6.2.3 Opschaling	74
6.3 Bijlage 3: bepalen (toekomstige) warmtevraag, warmtedichtheid en warmteclusters	78
6.3.1 Warmtevraag en warmtevraagdichtheid	78
Toekomstige warmtevraag	79
6.3.2 Clusters	81

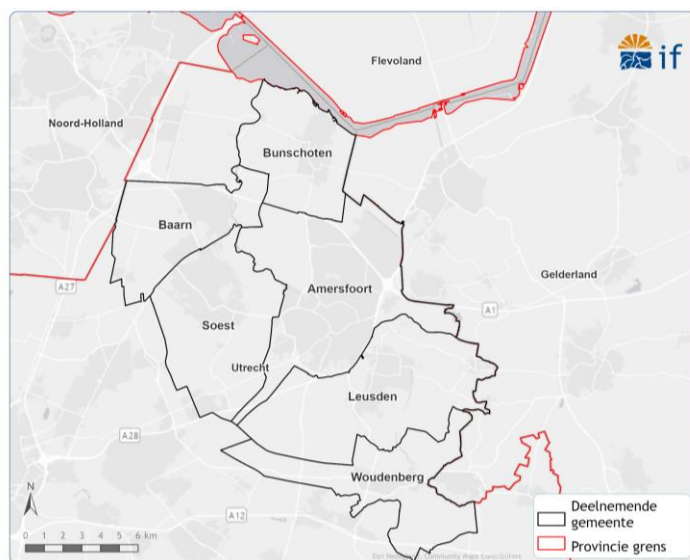
1 Inleiding

1.1 AANLEIDING

De regio Amersfoort gaat de energietransitie in de komende jaren verder vormgeven. De warmtetransitie is hier een belangrijk onderdeel van en een complexe opgave. Om de gebouwde omgeving aardgasvrij te krijgen is expertise, samenwerking én een mix van duurzame oplossingen nodig.

Geothermie is zo'n kansrijke technologie om de warmtevraag in Nederland gasvrij en CO₂ neutraal te maken. Op dit moment is echter onvoldoende zeker wat voor rol geothermie kan spelen in deze regio. Met de recent uitgevoerde SCAN-boringen en de eerder vrijgekomen (herbewerkte) seismische data, komt er nieuwe ondergrondse data vrij, waardoor nieuwe inschattingen gemaakt kunnen worden. Daarnaast is door het wegvallen van een aardwarmtevergunning in de regio ruimte om als gemeentes zelf meer regie te nemen op het vormgeven en inrichten van de ontwikkeling van ondergrondse warmtebronnen.

De gemeenten Amersfoort, Baarn, Soest, Bunschoten, Leusden en Woudenberg zijn samen met de provincie Utrecht en EBN een regionale werkgroep gestart om de haalbaarheid van geothermie in kaart te brengen. Hiermee wordt een mooie stap naar een meer initiërende en aanjagende rol gezet. Deze werkgroep wil een onderzoek laten doen naar de mogelijkheden van geothermie.



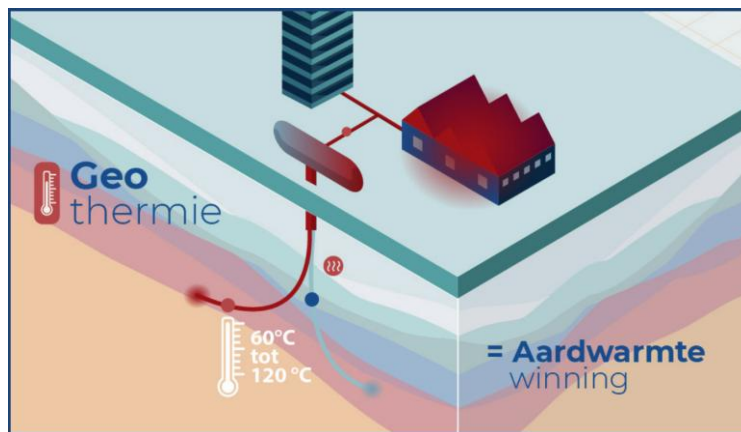
Figuur 1.1 | Projectgebied met de deelnemende gemeenten.

1.2 DE TECHNIEK GEOTHERMIE

Geothermie is een methode waarbij warmte uit de ondergrond kan worden gewonnen. Bij geothermie is dit directe winning van warmte, door gebruik te maken van het van nature warme water in de ondergrond.

Om de warmte uit de grond te halen worden er twee diepe putten geboord naar een geschikte, waterhoudende laag ook wel aquifer of reservoir genoemd. De eerste put (productieput) pompt het warme water omhoog. Een warmtewisselaar haalt de warmte eruit zodat we deze, eventueel in combinatie met een warmtepomp, kunnen gebruiken. Het afgekoelde water gaat via de andere put (injectieput) weer terug in de grond, in dezelfde diepe aardlaag. Bovengronds staan deze putten enkele meters uit elkaar maar het uiteinde van deze injectieput bevindt zich op ongeveer 1,5 kilometer afstand van de eerste put om de warmwaterbron, het reservoir, niet te snel af te koelen. De gewonnen warmte stroomt via een warmtenetwerk van buizen naar woningen, gebouwen, industrie en kassen. Een productieput en een injectieput worden samen een doublet genoemd.

In Nederland is aardwarmte een sterk groeiende duurzame sector en in de afgelopen 15 jaar wordt deze techniek op 28 verschillende plekken toegepast waarmee in totaal 7,9 PJ aan energie wordt gewonnen¹.



Figuur 1.2 | Illustratie van geothermie. Kijk op onze [website](#) voor meer informatie

1.3 BEHANDELING VAN DE KLANTVRAAG

In voorliggende studie gaan wij in op de vraag: “wat is de lokale potentie voor geothermie in de gemeentes Soest - Baarn - Bunschoten - Amersfoort - Leusden - Woudenberg”. In dit rapport presenteren wij de resultaten van een lokaal verdiepende studie naar twee verschillende reservoirs welke duidelijke inzichten geeft over in welke mate en onder welke voorwaarden een geothermiesysteem kan dienen als duurzame warmtebron. Het rapport is als volgt ingedeeld:

- In **hoofdstuk 2** beantwoorden we gelijk de belangrijkste onderzoeksvraag: *wat is de lokale potentie voor geothermie rondom Amersfoort?* en presteren wij onze belangrijkste conclusies en aanbevelingen hierover. Ook vindt u in dit hoofdstuk onze belangrijkste resultaten over onderwerpen als: de te verwachten potentie van een mogelijk geothermiesysteem en de mogelijke risico's en belangrijkste omgevingsbelangen.
- In **hoofdstuk 3** gaan we in op de vraag 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. Deze hoofdstukken zijn onderverdeeld naar de twee reservoirs die in deze studie in detail zijn onderzocht.

¹ <https://geothermie.nl/actueel/nieuws/productiecijfers-aardwarmte-2024/>

- In **hoofdstuk 4** behandelen we de koppeling potentie met warmtevraag. Hierbij leggen we eerst uit hoe we tot geschikte warmteclusters komen en maken we daarna de koppeling met de geothermische potentie.
- In **hoofdstuk 5** bekijken we de kansen voor warmteopslag in de vorm van HTO bij de verschillende warmteclusters.
- In **hoofdstuk 6** presenteren we een set bijlages die extra achtergrondinformatie geven over de regionale geologische geschiedenis, de verschillende aardlagen, de gebruikte data en uitgevoerde analyses.

2 Wat is de geothermiepotentie in de regio Amersfoort?

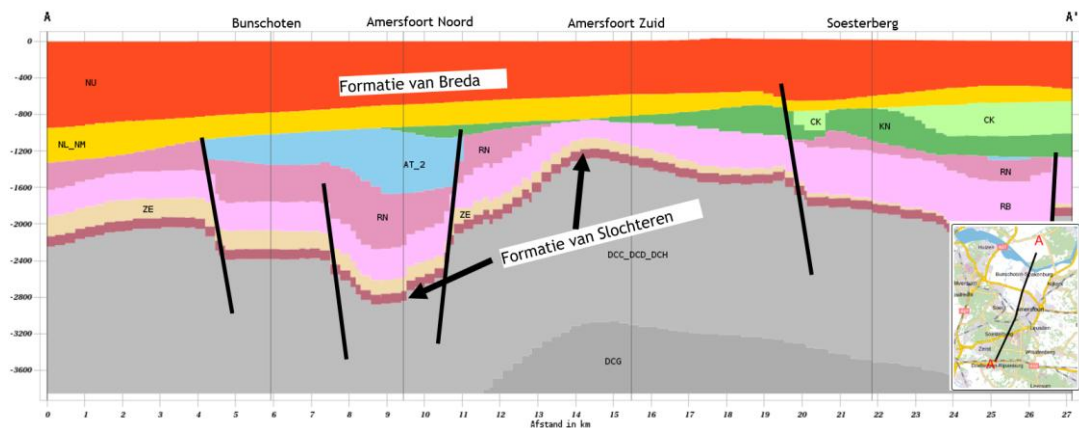
In dit hoofdstuk wordt er een samenvatting met de belangrijkste conclusies over de potentie voor geothermie in de gemeentes Soest, Baarn, Bunschoten, Amersfoort, Leusden en Woudenberg gepresenteerd, inclusief de bijbehorende risico's, onzekerheden en belemmeringen. In het voorliggend hoofdstuk zetten we eerst de belangrijkste conclusies en aanbevelingen voor vervolgstappen uiteen. Vervolgens beschrijven we per onderwerp de belangrijkste resultaten.

2.1 BELANGRIJKSTE CONCLUSIES

Binnen de projectregio lijken twee lagen mogelijk geschikt voor geothermie:

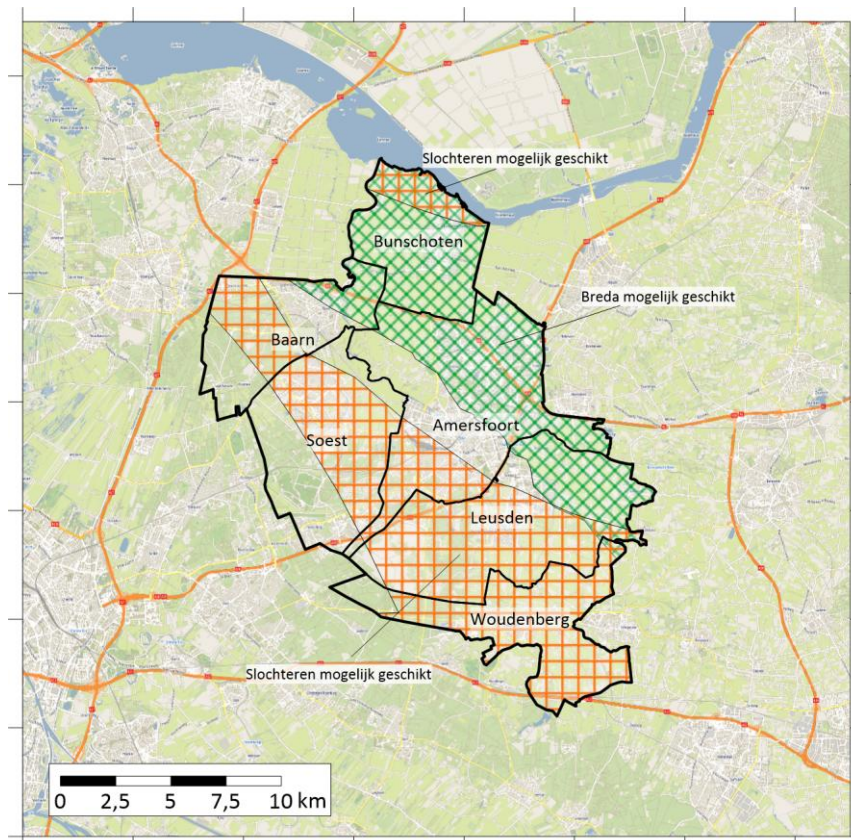
- De Formatie van Slochteren
- De Formatie van Breda

Figuur 2.2 toont een doorsnede van de ondergrond in de projectregio. Ondiep liggen lagen nog redelijk (sub)horizontaal, dieper is te zien dat niet alle geologische lagen overal aanwezig zijn en dat hun dikte en diepte sterk variëren (mede door breuken in de ondergrond). Deze variaties hebben een directe invloed op de kansrijke voor geothermie.



Figuur 2.1 | Dwarsdoorsnede door de ondergrond in de regio Amersfoort (bron: DGM-Diep, Dinoloket). Hierin zijn ook verschillende lagen met kansen voor geothermie aanwezig. De Formatie van Breda bevindt zich aan de onderkant van de rode laag. De Formatie van Slochteren zit in de onderste donkerpaarse laag.

Figuur 2.2 laat zien dat de kansen voor de Formatie van Slochteren vooral in een strook van vanuit het noordwesten vanaf Baarn, langs Soest, de zuidkant van Amersfoort en Leusden en richting Woudenberg liggen. Voor de ondiepere Formatie van Breda liggen de kansen vooral in het noordoostelijke deel van het studiegebied.



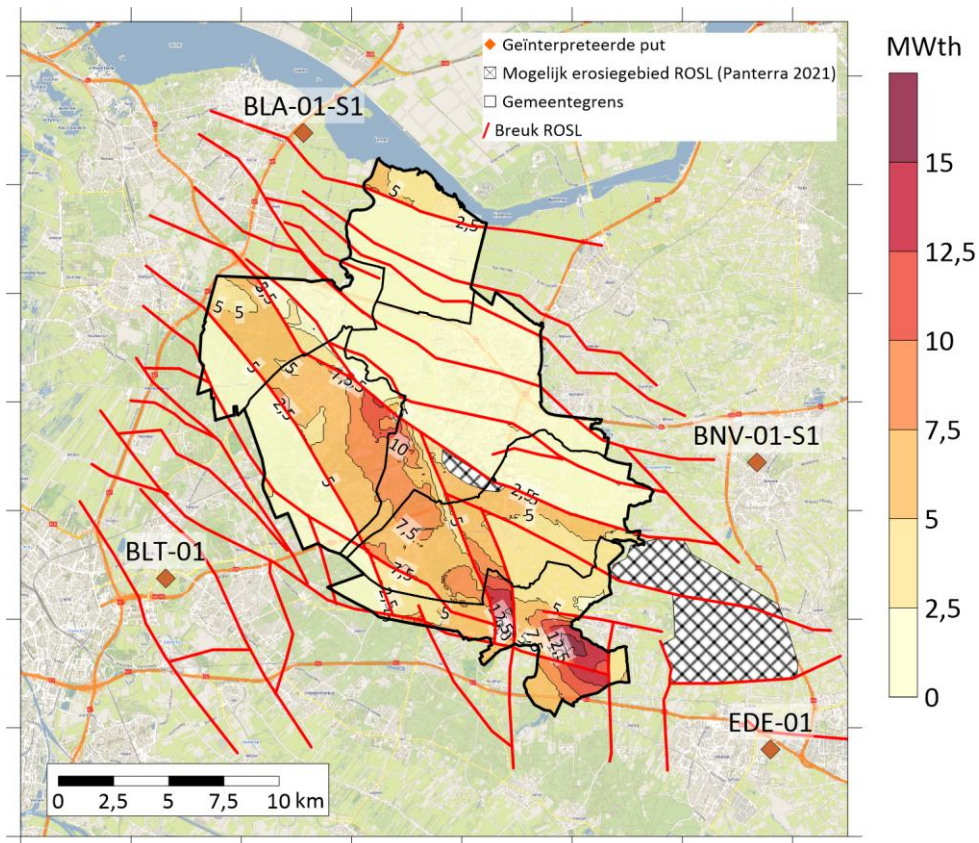
Figuur 2.2 | Kansenkaart voor geothermie in de projectregio. In oranje de gebieden waar de Formatie van Slochteren mogelijk geschikt is, in groen het gebied waar de Formatie van Breda mogelijk geschikt is.

2.2 BELANGRIJKSTE RESULTATEN FORMATIE VAN SLOCHTEREN

De potentie voor geothermie van de Formatie van Slochteren (Figuur 2.3) is berekend op basis van de geïnterpreteerde diepte, temperatuur, dikte en doorlatendheid (Sectie 3.2).

In het projectgebied zijn verschillende breuken in de ondergrond aanwezig. Hierdoor zijn breukblokken ontstaan waardoor grote diepteverschillen bestaan voor de Formatie van Slochteren (tussen de 900 en 3000 m). De temperatuur is afhankelijk van de diepte en laat daardoor ook een grote variatie zien tussen de 40 - 110°C.

Diepere breukblokken hebben weliswaar een hogere temperatuur, maar een flink slechtere doorlatendheid, waardoor deze ongeschikt zijn voor geothermie uit de Formatie van Slochteren. Voor de ondiepere breukblokken is de doorlatendheid veel beter (veelal boven de 100mD en kan oplopen tot meer dan 1000 mD).



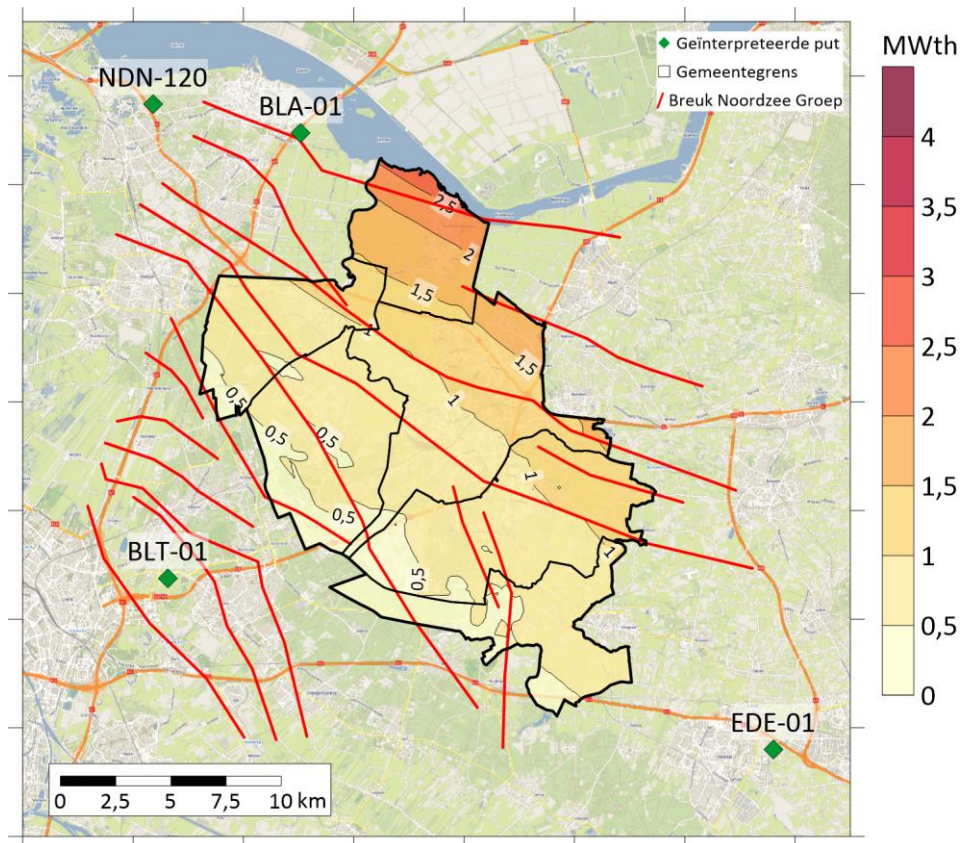
Figuur 2.3 | Potentiekaart geothermie voor de Formatie van Slochteren.

De potentie voor geothermie in deze regio ligt dus voornamelijk in de ondiepere breukblokken en is weergegeven in Figuur 2.3 Deze potentie is uitgedrukt als het thermisch vermogen in megawatt (MWth). Hoe hoger de thermische potentie, hoe donkerder rood de kleur. Hierdoor ontstaat een strook vanuit het noordwesten vanaf Baarn, langs Soest, de zuidkant van Amersfoort en Leusden en richting Woudenberg waar geothermie kansrijk lijkt met vermogens zo tussen de 5 en 10 MWth en temperaturen tussen de 40 en 70°C. De hoogste potentie ligt in het zuidoosten van het gebied. Een klein strookje in het uiterste noorden van het gebied geeft ook nog een potentie tussen de 2.5 en 7.5 MWth.

Door de nieuwe SCAN-boringen (o.a. EDE) is er goede putdata beschikbaar in het breukblok met potentie, waardoor deze inschatting redelijk zeker is.

2.3 BELANGIJKSTE RESULTATEN FORMATIE VAN BREDA

Ook de potentie inschatting voor de Formatie van Breda (Figuur 2.4) is berekend op basis van de geïnterpreteerd dikte, temperatuur en doorlatendheid (Sectie 3.3).



Figuur 2.4 | Potentiekaart voor geothermie in de Formatie van Breda.

De Formatie van Breda ligt aanzienlijk ondieper dan de Formatie van Slochteren. Uit de geologische analyses blijkt dat de formatie grotendeels uit klei bestaat, waarbij meestal alleen het bovenste gedeelte uit netto zand bestaat. Dit zandige deel staat bekend als de afzettingen van Diessen. De dieptes van de top van dit zandige deel liggen tussen de 200 en 450 meter. Binnen het projectgebied is een duidelijke noord-zuid trend zichtbaar: de diepte neemt toe richting het noorden. De temperatuur in deze laag varieert tussen de 20 en 30°C, afhankelijk van de diepte.

In de ondiepe ondergrond zijn wel enkele breuken aanwezig, maar deze vertonen nauwelijks verzet. Daardoor zijn er geen significante diepteverschillen tussen de verschillende breukblokken en neemt de diepte van de Formatie van Breda geleidelijk toe richting het noorden.

De doorlatendheid van de zandige delen laat een duidelijke west-oost trend zien: in het oosten van het gebied zijn de doorlatendheden aanzienlijk hoger dan in het westen. De combinatie van deze twee trends, een toenemende temperatuur naar het noorden en toenemende doorlatendheid naar het oosten, zorgt ervoor dat de geothermische potentie toeneemt richting het noordoosten van het projectgebied. Deze trend is zichtbaar in de potentiekaart (Figuur 2.4), waarin de potentie varieert tussen 0,5 en 2,5 MWth.

De potentiebepaling voor de Formatie van Breda is redelijk onzeker. Binnen het projectgebied zijn namelijk geen directe putmetingen of puttasten beschikbaar voor deze formatie. Daardoor is het lastig om met voldoende betrouwbaarheid metingen uit putten op grotere afstand te vertalen naar

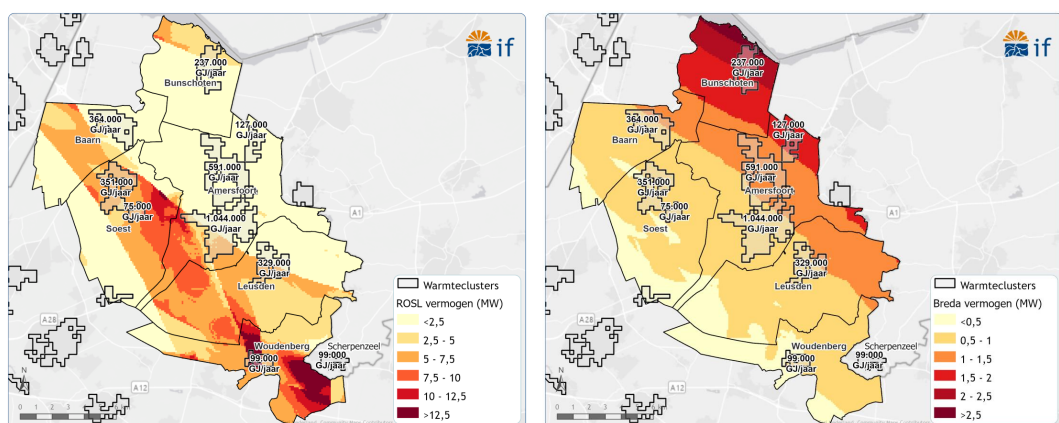
de lokale situatie. Dit maakt de correlatie minder robuust dan bij bijvoorbeeld de Formatie van Slochteren, waarvoor wél directe data beschikbaar is.

Het is belangrijk om te benadrukken dat bij het berekenen van de potentie verschillende uitgangspunten zijn gehanteerd voor de Formatie van Breda en de Formatie van Slochteren. Hierdoor is een één-op-één vergelijking tussen beide formaties niet mogelijk. Ook bij toekomstige economische afwegingen moeten deze verschillen in uitgangspunten worden meegenomen.

Bovendien ligt de Formatie van Breda op sommige plekken ondieper dan 500 meter, waardoor het nog de vraag is of deze laag juridisch en beleidsmatig onder de categorie “geothermie” valt – en daarmee in aanmerking komt voor subsidies zoals de SDE++.

2.4 KOPPELING VRAAG EN AANBOD

De haalbaarheid van geothermie als warmtebron voor de gebouwde omgeving hangt niet alleen af van de ondergrondse potentie, maar ook of deze matched met de bovengrondse vraag. Om hier een eerste inschatting van te kunnen maken, is een eerste analyse gemaakt voor geschikte warmteclusters voor een collectief warmtenet. Wanneer de warmtedichtheid (>600 GJ/ha/jaar) en warmtevraag (>60.000 GJ/jaar) groot genoeg zijn wordt een gebied in deze studie aangemerkt als interessant warmtevraagcluster. Figuur 2.6 laat deze warmteclusters zien boven op respectievelijk de ondergrondse potentie van de Formatie van Slochteren en de Formatie van Breda.



Figuur 2.5 | Potentiekaarten geothermie met warmteclusters (> 600 GJ/ha/jaar en > 60.000 GJ/jaar) . Links voor de Formatie van Slochteren, rechts voor de Formatie van Breda.

2.5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Binnen de onderzochte regio liggen voor verschillende warmtevraagclusters kansen voor een koppeling met geothermie.

De grootste kansen voor geothermie uit de Formatie van Slochteren lijken te liggen ten zuidwesten van Amersfoort, waar een goede potentie in de ondergrond aanwezig en genoeg warmtevraag en -dichtheid voor de realisatie van een warmtenet. Sterker, in Amersfoorts is al een warmtenet aanwezig.

Ook onder Soest en ten zuiden van Baarn lijken mogelijkheden voor een koppeling aanwezig, al is het zinvol om de onzekerheid in de ondergrond nog verder te verkleinen. Bij Leusden is het de vraag of een geothermiedoublet ingepast kan worden en bij Bunschoten en Woudenberg lijkt dit niet goed mogelijk.

De Formatie van Breda biedt kansen voor Bunschoten en Amersfoort Noord en in mindere mate voor Baarn en Leusden. Hierbij is het wel goed te onderzoeken hoe ondiepe geothermie zich (financieel) verhoudt tot andere (duurzame) alternatieven.

Aanbevelingen voor vervolgstappen:

- **Acquisitie van nieuwe seismische data:** Hoewel er de afgelopen jaren veel nieuwe lijnen via het SCAN-programma beschikbaar zijn gekomen in de regio, zijn er nog duidelijke 'witte vlekken' in de seismische dekking in gebieden met potentie (b.v. bij Baarn, Soest, Leusden en Amersfoort). Door het ontbreken van voldoende data in deze gebieden bestaan er onzekerheden over de diepte, dikte en aanwezigheid van breuken in de Formatie van Slochteren. Nieuwe seismische data kan dus een lokaal verhelderend beeld geven waarmee onzekerheden en risico's beter in beeld komen. Gemeentes kunnen met EBN verkennen of deelname aan het SCAN-4 programma mogelijk is. Tijdens deze fase van de SCAN campagne worden in gebieden met een geconcentreerde warmtevraag en een veelbelovende ondergrond de geologische onzekerheid gereduceerd. Dit wordt onder andere gedaan door het uitvoeren van lokale 2D- en 3D-seismische onderzoeken.
- **Resultaten SCAN-boringen Strandeiland Amsterdam:** Om de potentie van de Formatie van Breda met meer zekerheid te kunnen inschatten is het advies om de resultaten van de SCAN-boring op Strandeiland in Amsterdam (ASD-01) af te wachten.
- **Koppeling boven- ondergrond:** Voorafgaand aan een onderzoek naar de lokale haalbaarheid van een geothermiedoublet is het van belang om te kijken welke wijken mogelijk geschikt zijn voor een collectieve warmtenet die wordt gevoed door een (ondiepe) geothermiesysteem. De resultaten van deze koppeling kunnen ook worden gebruikt bij de aanvraag van eventuele subsidies en vergunningen.
- **Lokale haalbaarheids- en optimalisatiestudie geothermie:** De resultaten gepresenteerd in dit rapport geven een regionaal beeld over de potentie van de Formatie van Slochteren en Formatie van Breda. Bij voldoende potentie kan met behulp van een lokale haalbaarheids- en optimalisatiestudie één of meerdere doubletten worden ontworpen en ingepast, kunnen de operationele uitgangspunten verder worden geoptimaliseerd en kunnen mogelijke onzekerheden in de potentie worden gekwantificeerd. Ook kunnen de risico's lokaal en in meer detail worden gekarteerd (b.v. breuken) en kan er lokaal worden gekeken of en hoe warmteopslag kan dienen voor verdere optimalisatie.
- **Aanvraag Toewijzing Zoekgebied Aardwarmte:** de Mijnbouwwet geldt voor activiteiten in de ondergrond die dieper dan 500 m plaatsvinden. De wet schrijft voor dat er vergunningen nodig zijn om geothermie op te sporen of te winnen. Met de Toewijzing Zoekgebied Aardwarmte krijgt een vergunninghouder het alleenrecht om in een bepaald gebied te zoeken naar aardwarmte voor de duur van 4 jaar. De vergunninghouder onderzoekt de haalbaarheid van aardwarmte en bepaalt de beste locatie voor een doublet en doorloopt samen met de andere lokale stakeholders de nodige voorbereidingen om een Startvergunning aan te kunnen vragen. Het is hierbij belangrijk dat een gemeente een gedegen afweging maakt over de rol van de gemeente in de verdere ontwikkeling van aardwarmte. Naast de wettelijke taken kan een gemeente ervoor kiezen het proces proactief te faciliteren. Een andere mogelijkheid is om zelf risicodragend het geothermieproject te (mede-)ontwikkelingen. In dit laatste geval kan worden

overgegaan tot een aanvraag Toewijzing Zoekgebied Aardwarmte. Dit kan een gemeente zelfstandig doen, maar voor een vervolg is het verplicht een uitvoerder (operator) aan te wijzen die de fysieke activiteiten op zich gaat nemen. Voor de mogelijke rollen van gemeenten bij de ontwikkeling van geothermie zie ook de Handreiking Aardwarmte²

- **Volgen van ontwikkelingen rondom versnelling ondiepe geothermie:** Tussen 2025 en 2029 voeren KGG en RVO specifiek voor lage temperatuur geothermie een meerjarig versnellingsprogramma uit. Hierin worden middelen uit het Klimaatfonds beschikbaar gesteld voor zowel de ondersteuning van concrete projecten, als voor kennisopbouw en innovatie.

2.5.1 Conclusies en aanbevelingen per cluster

Binnen deze studie is de potentie voor twee reservoirs ingeschat. Binnen regio zijn diverse koppelmogelijkheden met de bovengrondse warmtevraag mogelijk. Deze studie is uitgevoerd op regionale schaal en dient voor mogelijke lokale vervolgen ook lokaal bekeken of verdiept te worden. Dan kunnen verschillen ontstaan met deze studie.

Hieronder worden de belangrijkste conclusies en aanbevelingen per warmtecluster/gemeente gegeven:

Amersfoort

In het zuidelijke deel van Amersfoort zijn de beste mogelijkheden voor geothermie in de Formatie van Slochteren. De Formatie van Slochteren heeft in dit deel een potentie van 5-12,5 MWth. Ook is het mogelijk, op basis van de huidige data, om een geothermiedoublet in te kunnen passen. De verwachte temperatuur van circa 65 °C is bijna geschikt voor een MT-warmtenet (70 °C).

- De seismische datadichtheid is beperkt en additionele nieuwe lijnen kunnen onzekerheden verder verkleinen en risico's beter in beeld brengen.

De warmtevraag in het cluster Amersfoort Centrum is groot genoeg voor meerdere doubletten, waarbij ook de warmtevraagdichtheid in sommige gebieden er hoog is. Amersfoort beschikt al over een warmtenet voor 2.200 woningen, dat mogelijk direct gevoed kan worden door geothermie. Dit alles biedt veel perspectief voor realisatie.

Een andere mogelijkheid is geothermie in de Formatie van Breda in het noordoosten van Amersfoort. De potentie is hier rond de 1,5 - 2 MWth en er kan warmte met een temperatuur van ongeveer 25 °C geproduceerd worden.

- Om de potentie van de Formatie van Breda met meer zekerheid te kunnen inschatten is het advies om de resultaten van de SCAN-boring op Strandeiland in Amsterdam (ASD-01) af te wachten.

In Amersfoort Noord staan alleen nieuwe woningen van na 1995 welke met lage temperatuur verwarmd kunnen worden (35 - 45 °C). De warmtevraag van het cluster is ruim voldoende, dus een mogelijkheid is om hier verder onderzoek te doen naar een LT- of ZLT-net.

- Het is daarbij interessant om deze optie te vergelijken met individuele lucht-/waterwarmtepompen.

² <https://www.nplw.nl/uploads/files/Warmtenet/NPLW-Handreiking-Aardwarmte.pdf>

Baarn

Net buiten Baarn ten zuidwesten ligt de potentie van de Formatie van Slochteren tussen de 5 en 10 MWth, waar een doublet ingepast zou kunnen worden. De warmteproductie heeft hier een temperatuur van 65 - 70 °C.

- De potentie kan met meer zekerheid worden ingeschat met behulp van nieuwe seismische data welke een lokaal verhelderend beeld kan geven en risico's beter in beeld komen.

De warmtevraag in het cluster is ruim voldoende en de warmtevraagdichtheid in Baarn is ook aan de hogere kant. Dit biedt mogelijkheden voor geothermie met als aandachtspunt de afstand tussen de kern van het cluster en de plek van een mogelijk geothermiesysteem. Een combinatie met Soest is mogelijk interessant maar dat is niet nodig om genoeg warmtevraag te realiseren.

Soest

De potentie van de Formatie van Slochteren in en rondom Soest ligt tussen de 5 en 10 MWth. De productietemperatuur van warmte is hier rond de 65 - 70 °C en de inpassing van één of meerdere doubletten lijkt mogelijk.

- Ook voor Soest geldt dat de potentie met meer zekerheid kan worden ingeschat met behulp van nieuwe seismische data welke een lokaal verhelderend beeld kan geven en waarmee risico's beter in beeld komen.

De omvang van de warmtevraag in het cluster is ruim voldoende. Een nadeel is dat er geen duidelijke kern van het cluster is met hoge warmtevraagdichtheid dat kan dienen als start van een warmtenet. Een voordeel is dat de afstand tussen een mogelijk geothermiedoublet en het cluster klein is. Een combinatie met Baarn is mogelijk interessant maar dat is niet nodig om genoeg warmtevraag te realiseren.

Bunschoten

Op 1 á 2 kilometer ten noordwesten van Bunschoten is de potentie van de Formatie van Slochteren tussen de 5 en 7,5 MWth. De temperatuur van de warmteproductie is daar rond de 65 °C. Inpassing van een geothermiedoublet lijkt echter lastig, door breuken en een waterwingebied. Ook de warmtevraag lijkt wat aan de lage kant.

De potentie in de formatie van Breda ligt in heel Bunschoten boven de 1,5 MWth en in het noorden zelfs boven de 2,5 MWth. De temperatuur van de warmteproductie is hier rond de 26 - 28 °C. De warmtevraag van het cluster is ruim voldoende voor een ondiep geothermiesysteem.

- Dit maakt een geothermiesysteem mogelijk haalbaar maar een vergelijk met andere oplossingen is nodig om te onderzoeken of geothermie de beste warmtebron is. Aangezien Bunschoten dicht bij oppervlaktewater ligt is de vergelijking met aquathermie interessant.
- Om de potentie van de Formatie van Breda met meer zekerheid te kunnen inschatten is het advies om de resultaten van de SCAN-boring op Strandeiland in Amsterdam (ASD-01) af te wachten.

Leusden

De potentie in het zuidelijke deel van Leusden ligt tussen de 5 en 7,5 MWth en ten zuiden ligt een stuk met een potentie van 7,5 - 10 MWth. Wel is hier de vraag of het mogelijk is om een geothermiedoublet in te passen tussen de breuken.

- Wanneer geothermie, vergeleken met andere technieken, een goede optie lijkt. Is het voor een vervolg nuttig om te onderzoeken of er daadwerkelijk een doublet in het breukblok ingepast kan worden.

De productietemperatuur van de warmte is rond de 45 °C. Om een MT-warmtenet (70 °C) te voeden is een warmtepomp nodig die de temperatuur nog een stuk moet verhogen wat elektriciteit kost. Het vermogen en elektriciteitsverbruik van de warmtepomp zal vanwege de relatief lage temperatuur voor geothermie hoger liggen dan bij voorgaande genoemde gebieden. De totale warmtevraag in Leusden is ruim voldoende voor een warmtenet.

Woudenberg

De potentie in Woudenberg is zeer goed en ligt boven de 12,5 MWth. De productietemperatuur ligt rond de 50 °C waardoor de inzet van een warmtepomp nodig is om de temperatuur naar de 70 °C te krijgen voor een MT-warmtenet. Echter, door de breuken in de ondergrond en een waterwingebied in de buurt, lijkt het niet mogelijk om een doublet in te passen. Daarnaast is de warmtevraag in Woudenberg is niet hoog genoeg en om het volle geothermische potentieel te benutten.

2.6 OMGEVINGSBELANGEN EN RISICO'S

De haalbaarheid van een geothermieproject hangt niet alleen af van de ondergrondse potentie, maar ook van een aantal andere factoren, zoals omgevingsbelangen en veiligheidsrisico's.

Omgevingsbelangen

Voor het toepassen van geothermie moet rekening gehouden worden met specifieke belangen vanuit de omgeving en de ondergrond (Figuur 2.6). Het gaat hierbij om de volgende belangen:

- Drinkwaterwinning. Op een paar locaties binnen het onderzoeksgebied wordt drinkwater gewonnen. Rond deze gebieden zijn grondwaterbeschermingsgebieden gedefinieerd waarbinnen een geothermieboring niet is toegestaan. In sommige gevallen is het wel mogelijk om vanaf een andere locatie naar een plek onder een drinkwatergebied te boren, zolang het drinkwater maar niet doorkruist wordt.
- Natuur. Om de biodiversiteit in Europa te beschermen zijn gebieden aangewezen die beschermd moeten worden. In deze Natura 2000 gebieden mag de lokale flora en fauna niet of in slechts geringe mate door een eventueel bodemenergie- of geothermiesysteem beïnvloed worden. De belangrijkste Natura 2000 gebieden liggen ten noorden van de projectregio. Naast natura 2000 gebieden zijn er aandachtgebieden voor natuur in en rond regio en ook in deze gebieden mag niet zomaar een bodemenergie- of geothermiesysteem worden gerealiseerd.
- Olie- en gasvelden. Het is niet toegestaan in of door een olie- of gasveld te boren om vervolgens geothermische warmte te onttrekken. Er zijn geen olie- of gasvelden binnen een straal van 5 km t.o.v. het projectgebied.
- Toekomstig aardwarmteproject. Binnen het projectgebied liggen twee bestaande vergunning voor een toewijzing zoekgebied aardwarmte: één over een groot deel van Amersfoort en één in het uiterste zuidoosten, met een kleine overlap met Woudenberg. In deze gebieden kunnen niet zomaar nieuwe opsporings- of winningsvergunning worden aangevraagd. Wel kunnen, in overleg met de huidige vergunningshouder, nieuwe afspraken worden gemaakt over aardwarmtewinning in een bestaand zoekgebied. Verder kunnen er, wanneer de vergunningen verlopen zijn, weer nieuwe aanvragen worden gedaan.

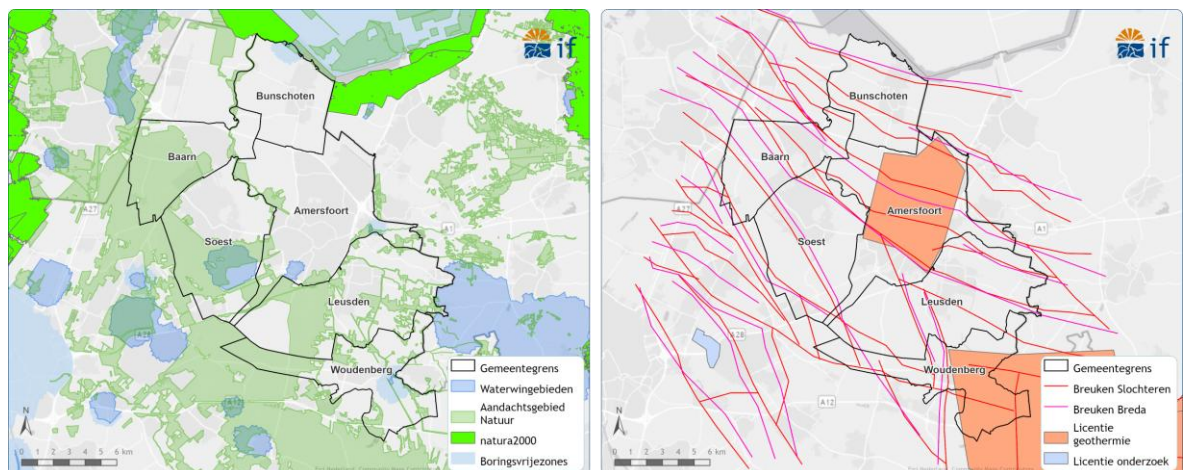
Risico's

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

- Aardbevingen en trillingen. Het risico op aardbevingen en trillingen als gevolg van geothermie is minimaal. In tegenstelling tot olie- en gaswinning wordt er netto nauwelijks materiaal aan de ondergrond onttrokken. Wel kunnen lokaal drukverschillen en temperatuurverschillen ontstaan.

Wanneer dit te dicht bij (bestaande) breuken gebeurt, is er een kans dat deze reactiveren wat op zijn beurt weer seismiciteit kan opleveren. Om dit risico goed in kaart te brengen, moet voorafgaand aan de realisatie van een geothermieproject een “Seismische Dreiging en Risico Analyse” (SDRA) uitgevoerd worden.

- Bestaande breuken: Binnen het projectgebied zijn er verschillende breuken op reservoirniveau aanwezig en gekarteerd in deze studie. Deze breuken kunnen als gevolg van temperatuur- en drukveranderingen worden gereactiveerd wat kan lijden tot geïnduceerde seismiciteit. Geadviseerd wordt om deze breuken bij het realiseren van een geothermieproject te vermijden.
- Schade door het onverwacht aanboren van gas of olie. Tijdens de boorfase worden verschillende maatregelen genomen om dit risico te mitigeren (bijv. door een blow-out preventor). Daarnaast dient voor de realisatie van een project een “Hydrocarbon Risk Assessment” (HRA) uitgevoerd te worden om dit risico goed in te kunnen schatten.
- Bodem- of drinkwaterverontreiniging. Een geothermiedoublet onttrekt en injecteert water oud dezelfde laag en is afgesloten middels stalenbuizen met een gecementeerde omheining van ondiepere lagen. Lekkage van zoutwater uit een geothermieput kan wel leiden tot milieuverontreiniging. Om dit te voorkomen worden verschillende maatregelen getroffen, zoals:
 - Het uitvoeren van een bodemonderzoek om vervuilde locaties te vermijden.
 - Het inrichten van een locatie met een brede metalen buis (tot wel 250 m diep)
 - Het inrichten van een locatie met vloeistof werend asfalt.
 - Het toepassen van een dubbele barrière voor het bovenste deel van een put.
 - Continue monitoring of er problemen optreden.



Figuur 2.6 | Links (Ondiepe) omgevingsbelangen. Rechts) Ondergrondse omgevingsbelangen en risico's.

3 Hoe zijn de potentiekaarten tot stand gekomen?

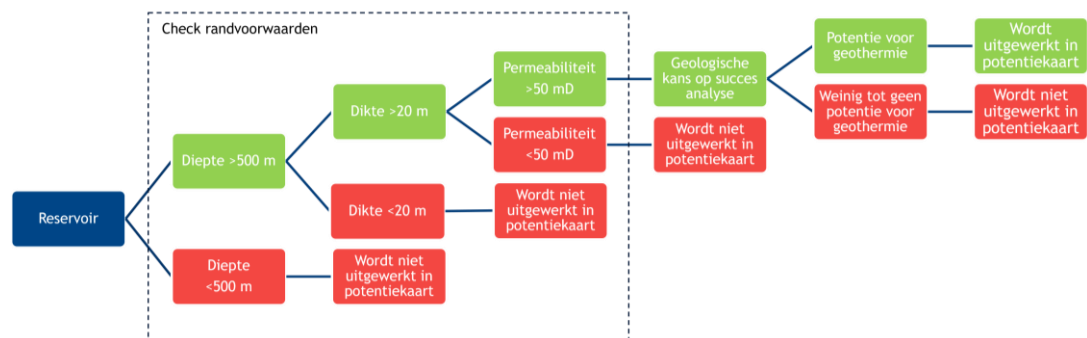
3.1 RESERVOIRSELECTIE

Voor geothermie is de opbouw van de ondergrond van groot belang. Direct onder het maaiveld bevinden zich vaak lagen van zand, klei of veen. Daaronder liggen diepere waterhoudende lagen (aquifers of reservoirs), zoals zandsteen of kalksteen, die geschikt kunnen zijn voor het winnen van aardwarmte. Deze lagen zijn vaak goed doorlatend en kunnen warm water bevatten dat met behulp van een geothermische installatie wordt opgepompt. Naast deze reservoirs bevinden zich ook ondoorlatende lagen van klei of zout waaruit geen warm water gewonnen kan worden. De diepte, dikte en eigenschappen van deze lagen bepalen of een locatie geschikt is voor geothermie en hoeveel warmte er gewonnen kan worden.

Om te bepalen of een laag geschikt is voor geothermie is een gedetailleerde analyse van de eigenschappen van de desbetreffende laag nodig. Het is echter niet zinvol om voor iedere laag een uitgebreide analyse uit te voeren. Daarom wordt er eerst een selectie gemaakt van potentieel geschikte lagen die in meer detail worden onderzocht en waarvan potentiekaarten worden gemaakt.

In deze studie is een gestructureerde en transparante methode toegepast om op basis van geologische factoren, zoals diepte, dikte en reservoirkwaliteit, de waarschijnlijkheid te beoordelen dat een aardlaag geschikt is voor het technisch succesvol realiseren van een geothermieproject. De onzekerheid van deze geologische parameters wordt bepaald door data beschikbaarheid en data kwaliteit. De inschattingen zijn kwalitatief van aard en worden gevormd door een deskundigenoordeel op basis van een globale analyse naar aanwijzingen in putten en seismiek en de manier waarop deze passen in een bredere regionale geologische context.

De methode is vertaald in een beslisboom (Figuur 3.1) welke inzicht geeft in de stappen die zijn doorlopen. Alle potentiële lagen voor geothermie zijn in eerste instantie beoordeeld op een aantal randvoorwaarden. Wanneer een laag niet voldoet aan de minimale waarden van de randvoorwaarden diepte, dikte en permeabiliteit dan is deze laag niet geschikt voor geothermie.



Figuur 3.1 | Beslisboom om te bepalen welke reservoirs potentie hebben voor geothermie en verder worden uitgewerkt in potentiekaarten.

De reservoirs die voldoen aan alle randvoorwaarden zijn vervolgens beoordeeld op basis van de geologische factoren reservoirdikte en reservoirkwaliteit gecombineerd met de zekerheid waarmee deze factoren kunnen worden ingeschat. De gecombineerde score op reservoirdikte en reservoirkwaliteit bepaalt het resultaat per reservoir (Figuur 3.2). Het resultaat geeft op basis van een globale analyse inzicht in de mate van potentie van het reservoir voor geothermie. Op basis van dit overzicht is een keuze gemaakt welke reservoirs in detail te analyseren en uit te werken in potentiekaarten.

				Geologische Kans op Succes		
				Laag	Medium	Hoog
Zekerheid	Data kwaliteit	Data kwantiteit	Hoog	0-15%		85-100%
			Medium	15-30%	30-70%	70-85%
			Laag	30-40%	40-60%	60-70%

Figuur 3.2 | Resultaatmatrix geologische kans op succes analyse. Ieder reservoir is op basis van een deskundigenoordeel beoordeeld op dikte en reservoirkwaliteit. Bij reservoirkwaliteit is gekeken naar de netto-bruto verhouding (N/G) en de permeabiliteit. De gecombineerde score op dikte en reservoirkwaliteit bepaalt het resultaat per reservoir.

Resultaat reservoirselectie

Er zijn twaalf potentiële reservoir beoordeeld volgens de hierboven beschreven methode.

Tabel 3.2 geeft een overzicht van de uitkomst of de beoordeelde potentiële reservoirs voldoen aan de randvoorwaarden. Uit de beoordeling volgt dat zes reservoirs afvallen omdat ze niet voldoen aan de gestelde randvoorwaarden. Deze reservoirs liggen ondieper dan 500 m of hebben een dikte kleiner dan 20 m.

Tabel 3.1 | Overzicht of de beoordeelde reservoirs voldoen aan de randvoorwaarde diepte, dikte en permeabiliteit.

Reservoir	Check randvoorwaarden			Opmerkingen
	Diepte	Dikte	Perm	
Peize-Waalre	✗	✓	✓	Deze formatie ligt te ondiep.
Maassluis	✗	✓	✓	Deze formatie ligt te ondiep.
Oosterhout	✗	✓	✓	Deze formatie ligt te ondiep.
Formatie van Breda	✓	✓	✓	
Laagpakket van Voort	✓	✓	✓	
Laagpakket van Berg	✓	✓	✓	
Zand van Brussel	✓	✗	✓	Deze formatie is niet aanwezig en anders te dun.
Laagpakket van Orp	✓	✗	✓	Deze formatie is niet aanwezig en anders te dun.
Vlieland Zandsteen Formatie & Delfland Subgroep	✓	✓	✓	
Zanden in het Trias (Röt, Solling, Hardeggen, Volpriehausen)	✓	✓	✓	
Formatie van Slochteren	✓	✓	✓	
Dinantiën	✗	✓	?	Deze formatie ligt zeer diep en is niet matrixporeus en valt daarmee buiten de scope van deze studie. Daarnaast is er over deze formatie zeer weinig bekend.

De zes reservoirs die voldoen aan de randvoorwaarden zijn geanalyseerd met behulp van de geologische kans op succes methode. Uit deze analyse blijkt dat drie reservoirs dermate veel negatieve indicaties hebben dat deze lagen niet geschikt zijn voor geothermie. De reservoirs die

niet geschikt zijn voor geothermie in deze regio zijn het Laagpakket van Voort, het Laagpakket van Berg en de Vlieland Zandsteen Fm & Delfland Subgroep.

Tabel 3.2 | Overzicht van het eindresultaat van de reservoirselectie. De subjectieve inschattingen van de geologische kans op succes zijn kwalitatief van aard en zijn gevormd door een deskundigenoordeel op basis van een globale analyse.

Reservoir	Subjectieve inschatting geologische kans op succes					Opmerkingen
	Dikte		Reservoirkwaliteit		Resultaat	
	Kans op succes	Zekerheid	Kans op succes	Zekerheid		
Formatie van Breda	90%	H	50%	L	45%	Indicaties dat dit reservoir potentie heeft voor geothermie. De reservoirkwaliteit is waarschijnlijk de meest kritische factor.
Laagpakket van Voort	30%	M	15%	M	5%	Veel indicaties dat dit reservoir geen potentie heeft voor geothermie
Laagpakket van Berg	20%	M	15%	M	3%	Veel indicaties dat dit reservoir geen potentie heeft voor geothermie
Vlieland Zandsteen Formatie & Delfland Subgroep	50%	L	30%	L	15%	Meerdere indicaties dat dit reservoir geen potentie heeft voor geothermie
Zanden in het Trias (Röt, Solling, Hardegsen, Volpriehausen)	80%	M	50%	L	40%	De zanden in het Trias bieden mogelijk kansen, maar zijn een slechtere variant van de Formatie van Slochteren.
Formatie van Slochteren	90%	H	70%	M	63%	Veel indicaties dat dit reservoir potentie heeft voor geothermie

De Formatie van Slochteren en Breda scoren het hoogst en lijken daarmee potentie voor de toepassing van (ondiepe) geothermie te hebben. Deze twee reservoirs worden in deze studie in detail geanalyseerd waarna er potentiekaarten worden opgesteld. Dit zal uiteindelijk inzicht geven in de mate van potentie door het studiegebied.

De Trias zanden zouden mogelijk ook nog potentie kunnen bieden. Deze hebben echter een vergelijkbaar dieptebereik als de Formatie van Slochteren, maar zijn minder dik en slechter doorlatend. In de SCAN-boring bij de Bilt is de eerste inschatting dat deze niet goed genoeg zijn voor reguliere geothermie en de trend vanaf de Bilt richting het studiegebied is ongunstig. Om bovenstaande redenen is daarom besloten om de Trias zanden niet verder te onderzoeken binnen deze studie.

3.2 FORMATIE VAN SLOCHTEREN

De geothermische potentie van een reservoirgesteente als de Formatie van Slochteren is afhankelijk van verschillende eigenschappen;

- Allereerst moet de temperatuur van het water voldoende hoog genoeg zijn voor de beoogde toepassing. Over het algemeen geldt: hoe dieper, hoe warmer het is.
- Ook dient er voldoende water aanwezig te zijn, hierbij is de dikte en de zand/klei verhouding een belangrijke parameter.
- Tot slot moet de permeabiliteit (doorlaatbaarheid) van het pakket voldoende zijn, zodat het formatiewater de mogelijkheid heeft om te stromen.

Deze eigenschappen van het reservoirgesteente dienen dus eerst goed in kaart te worden gebracht voordat we de mogelijke geothermische potentie kunnen berekenen. In dit hoofdstuk worden de belangrijkste eigenschappen van de Formatie van Slochteren in kaart gebracht.

Rotliegend of Slochteren?

Wanneer in dit of andere geologische rapporten wordt gesproken over het Rotliegend, wordt specifiek de Onder Rotliegend Groep bedoeld. Een "groep" in geologische termen is een verzameling gesteentelagen die verder wordt onderverdeeld in verschillende zogenaamde formaties.

Binnen de Onder Rotliegend Groep is de Formatie van Slochteren van bijzonder belang. Deze formatie heeft namelijk potentie voor geothermie en is daarom relevant voor dit onderzoek. In het verdere verloop van het rapport zullen we dan ook vooral verwijzen naar deze formatie, met de naam Slochteren of Formatie van Slochteren. Soms gebruiken we ook de afkorting ROSL, wat staat voor Rotliegend Slochteren.

3.2.1

Diepte en breuken

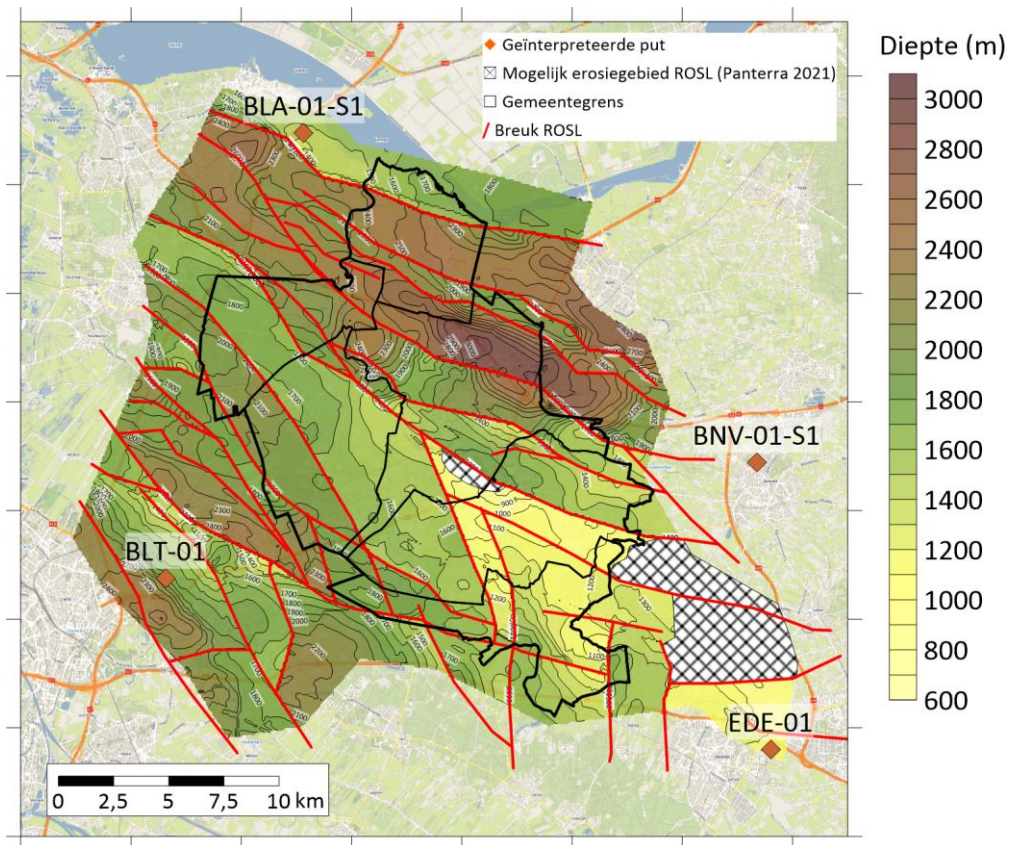
Met behulp van een gedetailleerde seismische verdiepingsstudie is er een diepte- en breukenkaart van het reservoir gemaakt in en rondom het projectgebied (Figuur 3.3). Voor deze kaart zijn zowel de nieuwe SCAN-data als de bestaande seismische gegevens opnieuw geïnterpreteerd. Bij de interpretatie is gebruikgemaakt van bestaande kaarten en modellen van Panterra³ en TNO⁴, die als aanvullende referentie en ondersteuning hebben gediend. Deze gecombineerde aanpak zorgt voor een actueel beeld van de diepteligging en breuken in het projectgebied.

In het projectgebied bevinden zich meerdere geologische breuken in de ondergrond. Deze breuken hebben geleid tot het ontstaan van zogenaamde breukblokken – afzonderlijke stukken gesteente die ten opzichte van elkaar zijn verschoven. Hierdoor zijn er aanzienlijke verschillen in diepte ontstaan binnen de Formatie van Slochteren: deze varieert van ongeveer 900 meter tot wel 3000 meter diep.

In de breukblokken in het verlengde van de EDE-01 put ligt de Formatie van Slochteren relatief ondiep met dieptes tussen de 900 en 2100 m. In de breukblokken in de noordelijke helft van het studiegebied ligt de formatie dieper met dieptes tussen de 1900 en 3000 m. De grote diepteverschillen aan weerszijden van de breuken duidt op een vaak aanzienlijk verzet langs deze breuken. Het verzet is in veel gevallen enkele honderden meters groot. Daarnaast zijn er ook twee erosiegebieden zichtbaar op de kaart. Binnen deze gebieden is de Formatie van Slochteren mogelijk geërodeerd en daarmee niet meer aanwezig.

³ Provinciale interpretatie Panterra 2021

⁴DGM Deep V5 (<https://www.nlog.nl/dgm-diep-v5-en-offshore>), VELMOD 4b (<https://www.nlog.nl/velmod-4>) en HIKE fault database (<https://geoera.eu/projects/hike10/faultdatabase/>)



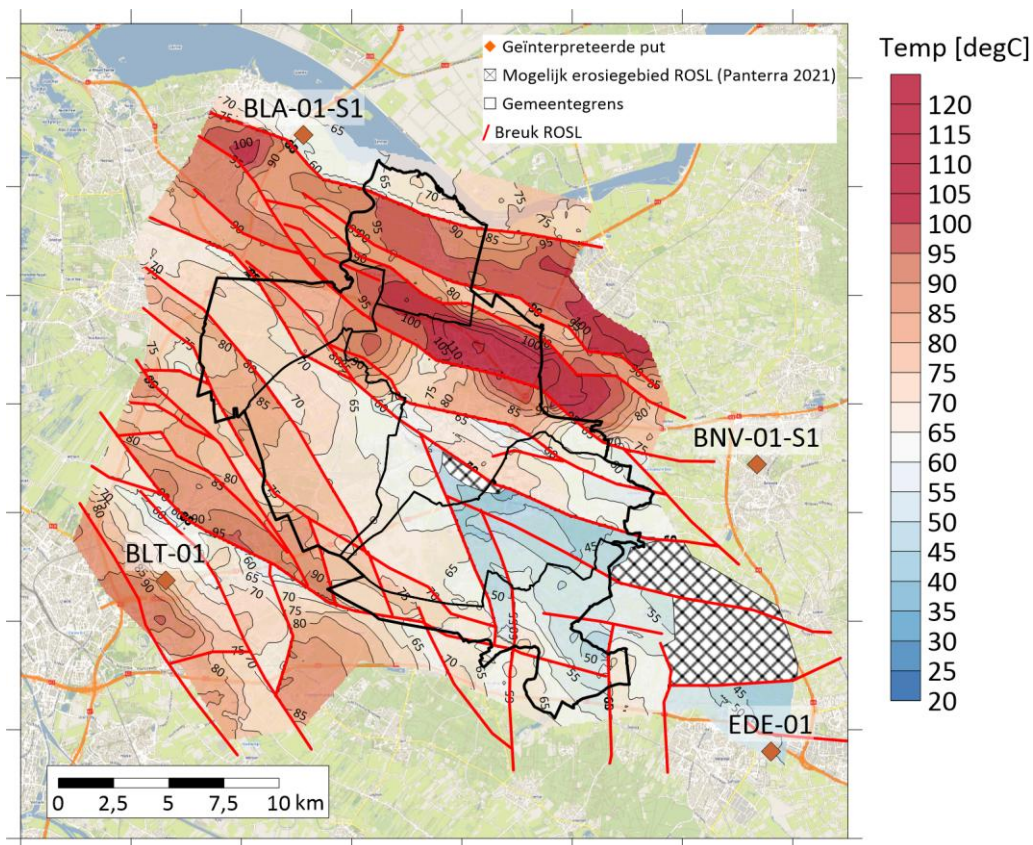
Figuur 3.3 | Dieptekaart van de top van de Formatie van Slochteren. Op het figuur is te zien dat de diepte van de Formatie van Slochteren in het projectgebied varieert tussen de 900 en 3000 m. Hoe donkerder de kleur hoe dieper de Formatie van Slochteren ligt. De rode lijnen op de kaart zijn breuken op reservoirniveau. In de gearceerde gebieden is de Formatie van Slochteren geërodeerd en niet meer aanwezig.

3.2.2 Temperatuur

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

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

Met behulp van deze relatie kan vervolgens de dieptekaart van de Formatie van Slochteren worden omgerekend tot een temperatuurkaart (Figuur 3.4). Deze kaart laat zien dat op de ondiep gelegen breukblokken de temperatuur veelal varieert tussen de 40 en 80 °C. In de dieper gelegen breukblokken kan de temperatuur van de Formatie van Slochteren oplopen tot boven de 100 °C.



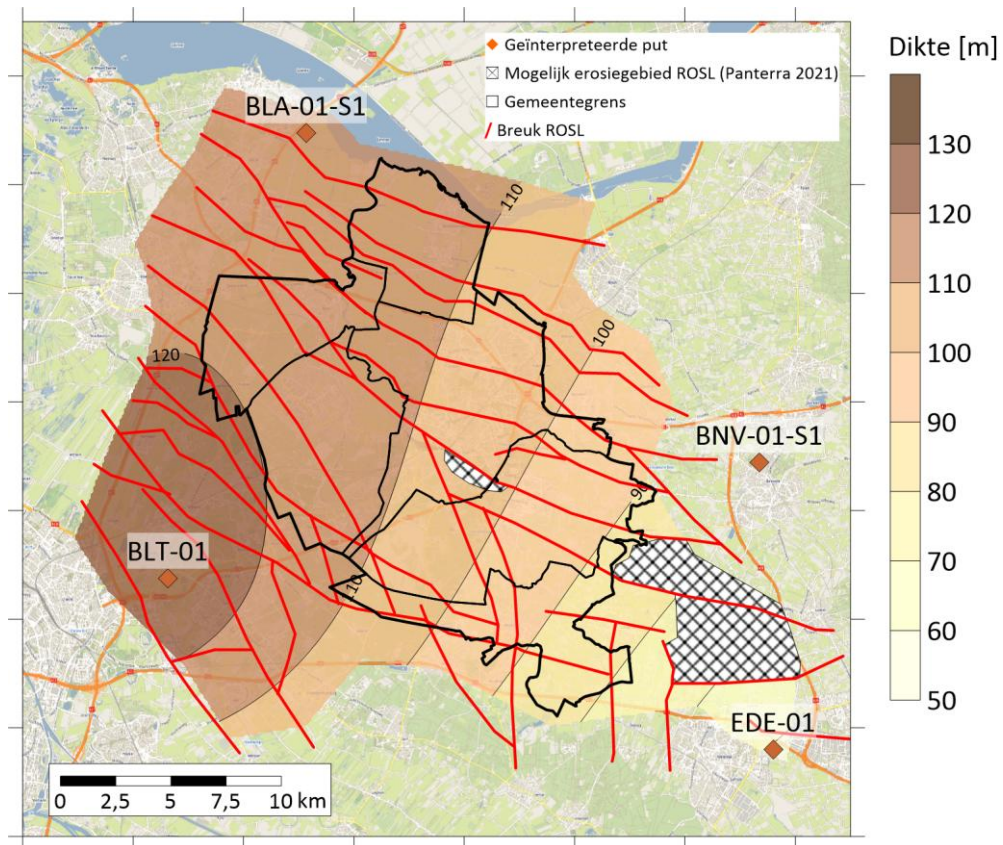
Figuur 3.4 | Temperatuur van de Formatie van Slochteren (°C).

3.2.3

Dikte

Door de grote variatie in de kwaliteit van de gebruikte seismische data was het in veel gevallen niet mogelijk om de dikte van de Formatie van Slochteren met voldoende zekerheid af te leiden uit de seismische interpretatie. Daarom is ervoor gekozen om de diktekaart (Figuur 3.5) op te stellen op basis van diktemetingen in regionale en lokale boringen, waaronder ook de nieuwe SCAN-boringen.

Uit deze kaart blijkt een duidelijke verdikking van de Formatie van Slochteren in westelijke richting: van ongeveer 50 meter in het oosten (bij boring EDE-01) tot meer dan 110 meter in het westen (bij boring BLT-01 en BLA-01-S1).



Figuur 3.5 | Diktekaart van de Formatie van Slochteren (m).

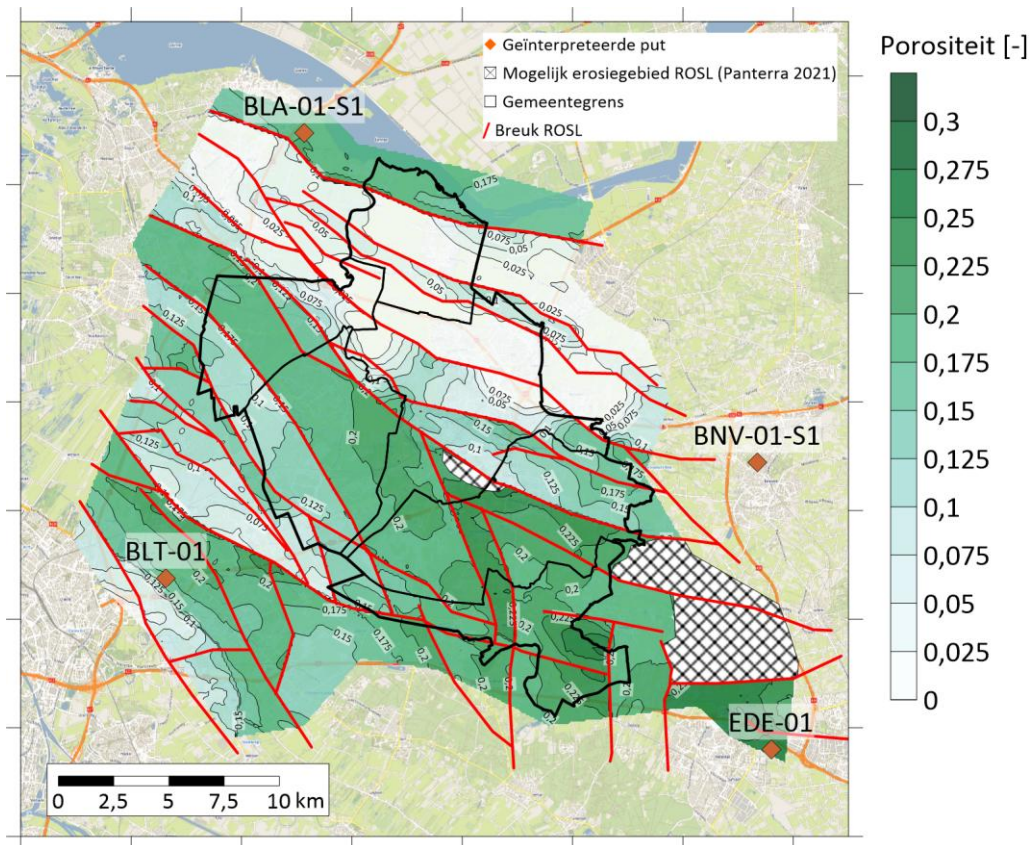
3.2.4 Gesteente-eigenschappen

De gesteente-eigenschappen van de Formatie van Slochteren zijn in kaart gebracht door de resultaten van de petrofysische interpretatie en puttesten te integreren met de resultaten van de seismische interpretatie en bestaande modellen en kaarten van TNO⁵.

Porositeit

De porositeit van de Formatie van Slochteren is sterk afhankelijk van de diepte (Figuur 3.6). Op de ondiep gelegen breukblokken ligt de porositeit veelal boven de 15% en kan deze oplopen tot meer dan 25%. Op de dieper gelegen breukblokken is de porositeit echter zeer laag (veelal lager dan 5%). Deze trend van een hoge porositeit op de ondiep gelegen breukblokken ligt in lijn met de eerder gepresenteerde studies van Panterra en TNO.

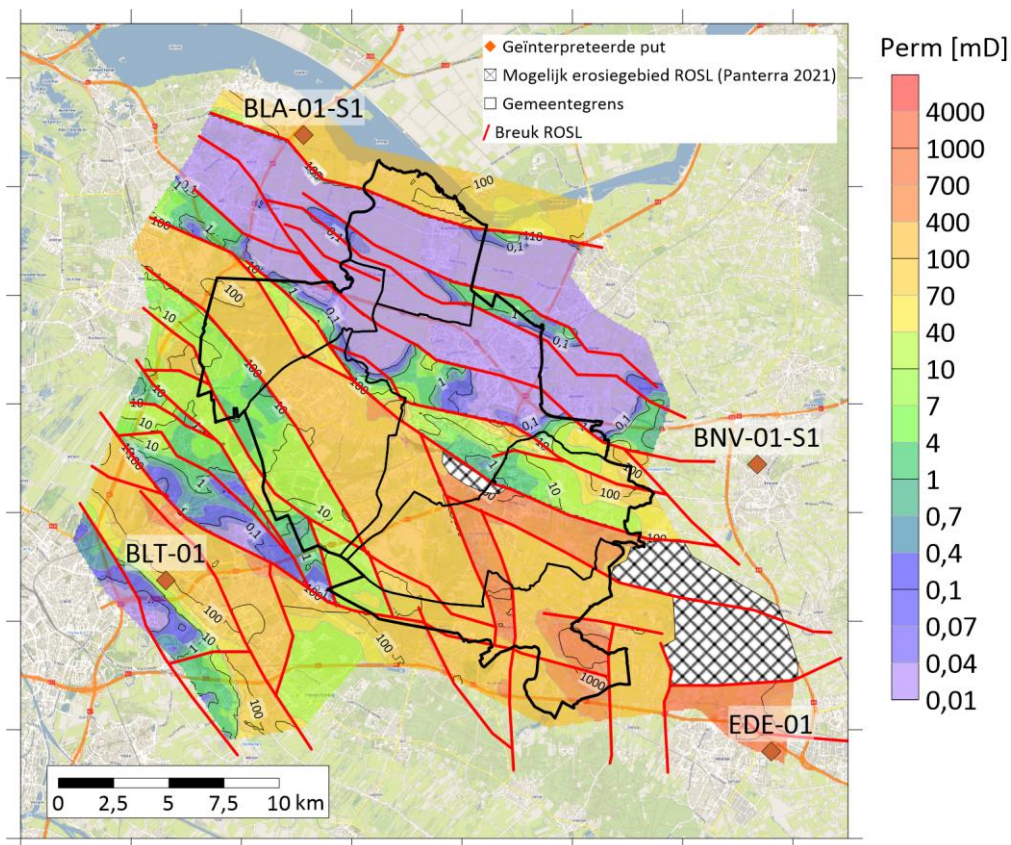
⁵ Nelskamp en Verweij 2012: Using basin modeling for geothermal energy exploration in the Netherlands - an example from the West Netherlands Basin and Roer Valley Graben (TNO Report).



Figuur 3.6 | Porositeit van de Formatie van Slochteren (-).

Doorlatendheid

De doorlatendheid van de Formatie van Slochteren (Figuur 3.7) is sterk gecorreleerd aan de porositeit. Hierdoor laten beide kaarten hetzelfde beeld zien. Op de ondiep gelegen breukblokken is de doorlatendheid veelal boven 100 mD en kan deze oplopen tot meer dan 1000 mD (e.g. EDE-01). Hiermee is de doorlatendheid op deze breukblokken relatief hoog. In de dieper gelegen breukblokken is Formatie van Slochteren veelal ondoorlatend.



Figuur 3.7 | Doorlatendheid (mD) van de Formatie van Slochteren (oranje-rood is doorlatend en groen-paars is ondoorlatend).

3.2.5 Potentie bepaling

De geothermische potentie is berekend op basis van de eerdergenoemde temperatuur-, dikte- en doorlatendheidskaarten en een set randvoorwaarden (Tabel 3.3) zijn potentiekaarten berekend (Figuur 3.8).

Voor deze berekening is onderstaande formule gebruikt:

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

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 3.3 | Input voor de potentiebepaling Formatie van Slochteren.

Parameter	Eenheid	Grid/waarde	Bron
Dikte	[m]	Grid, Figuur 3.5	O.b.v. putgegevens
Temperatuur	[°C]	Grid, Figuur 3.4	O.b.v. dieptekaart en een regionale temperatuurgradiënt
Doorlatendheid	[mD]	Grid, Figuur 3.7	O.b.v. de geologische achtergrond, seismiek en putgegevens
Saliniteit	[g/l]	190	
Putafstand	[m]	1100	Standaard
COP	[-]	15	COP = Coëfficiënt of Performance, 10 is een standaardwaarde voor een geothermiesysteem
Injectietemperatuur	[°C]	20	Standaard voor geothermiesystemen met een relatief lage temperatuur (<60°C)
Pomprendement	[-]	0,7	Standaard
Skin	[-]	0	Er wordt geen skin aangenomen

De kaarten laten zien dat de potentie in het projectgebied varieert tussen de 0 en 12.5 MWth.

In het projectgebied bevinden zich meerdere geologische breuken in de ondergrond. Deze breuken hebben geleid tot het ontstaan van zogenaamde breukblokken. Hierdoor zijn er aanzienlijke verschillen in diepte ontstaan binnen de Formatie van Slochteren van ongeveer 900 meter tot wel 3000 meter diep.

De temperatuur in de ondergrond is sterk afhankelijk van deze diepte. Diepere lagen zijn doorgaans warmer, wat resulteert in een brede spreiding van temperaturen tussen 40°C en 110°C. Hoewel diepere breukblokken een hogere temperatuur hebben, is hun doorlatendheid aanzienlijk slechter. Dit maakt ze minder geschikt voor geothermie. In tegenstelling daarmee hebben de ondiepere breukblokken een veel betere doorlatendheid, vaak boven de 100 mD en soms zelfs meer dan 1000 mD, wat ze juist wél geschikt maakt voor geothermische toepassingen.

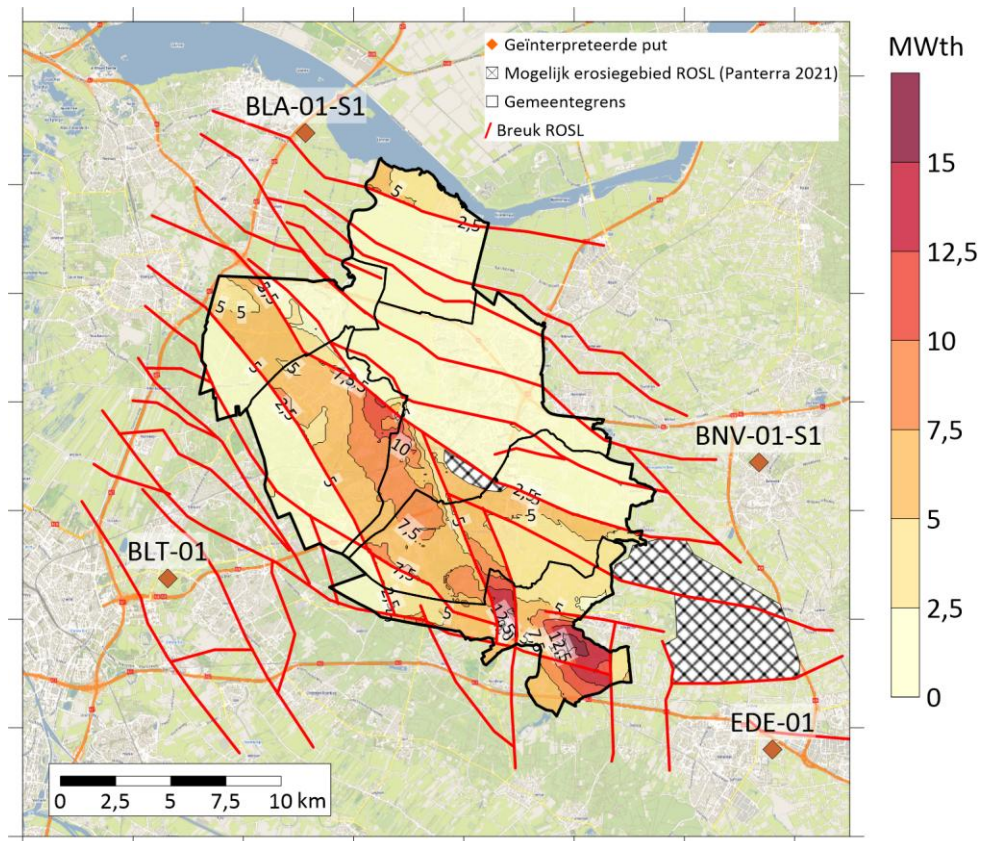
De potentie voor geothermie voor de Formatie van Slochteren in deze regio ligt dan ook voornamelijk in de ondiepere breukblokken. Deze potentie is weergegeven in een kaart (Figuur 3.8), waarin het thermisch vermogen is uitgedrukt in megawatt (MWth). Hoe hoger de thermische potentie, hoe donkerder rood de kleur op de kaart. Dit resulteert in een kansrijke strook die loopt vanaf het noordwesten bij Baarn, via Soest, de zuidkant van Amersfoort en Leusden, en richting Woudenberg, met vermogens tussen de 5 en 10 MWth. De hoogste potentie bevindt zich in het zuidoosten van het gebied. Naast deze brede strook met potentie is er in het uiterste noorden van het gebied een klein strookje met potentie tussen de 2,5 en 7,5 MWth.

Doublet inpassing

Bij geothermie wordt netto geen materiaal aan de ondergrond onttrokken (zoals bij olie en gas wel het geval is). Maar lokaal zijn er wel druk- en temperatuureffecten rond geothermieputten. Doordat de potentie in deze ondiepere breukblokken ligt, is het wel belangrijk om te onderzoeken waar putten gerealiseerd kunnen worden zonder effecten op breuken te hebben.

Met behulp van eerste aannames kan een invloedsgebied voor een doublet ingeschat worden. Wanneer zo'n eerste intekening gemaakt wordt, rekening houdend met breuken en boringsvrije

zones (waterwingebieden) kunnen er zo'n 10 geothermiesystemen passen in het grotere breukblok met kansen voor geothermie. Andere breukblokken lijken al snel te klein te zijn. Deze eerste inschatting is wel gemaakt op basis van de regionale resultaten van de studie en de daarbij behorende beschikbare data. Aanvullende data en een lokale studie kan uitwijzen dat meer (kleine) breuken in de ondergrond aanwezig zijn, waardoor minder dubletten mogelijk zijn.



Figuur 3.8 | Potentiekaart geothermie voor de Formatie van Slochteren in het projectgebied.

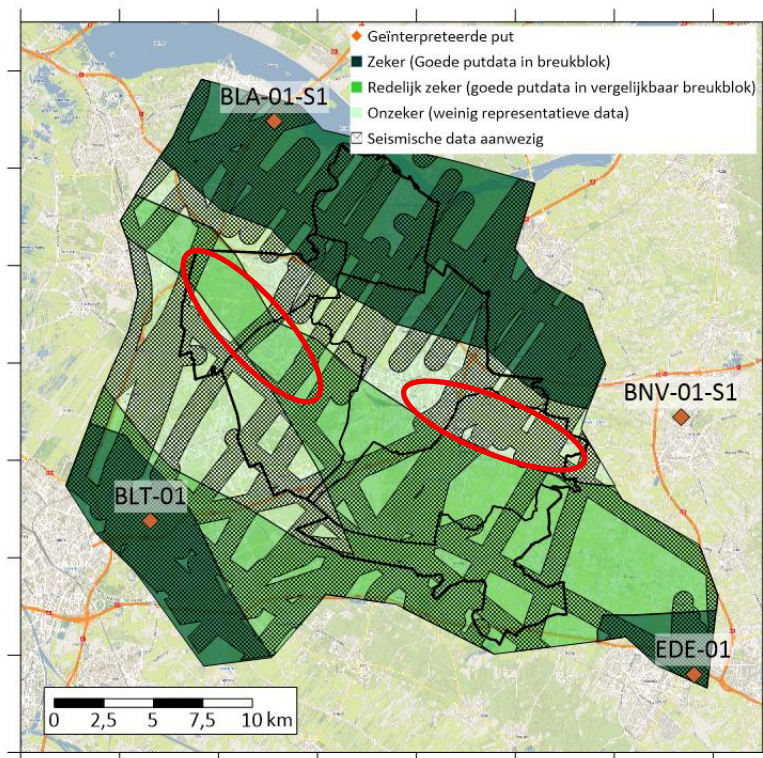
3.2.6 Beschikbare data en mate van zekerheid

De mate van zekerheid over de geothermische potentie in het projectgebied wordt bepaald door zowel de kwantiteit als de kwaliteit van de beschikbare data en gebruikte modellen. In dit gebied is zowel seismische data als putdata beschikbaar, aangevuld met puttesten uit recente SCAN-boringen EDE, BLT en AMS.

De seismische data speelt een belangrijke rol bij het bepalen van de diepte en dikte van de Formatie van Slochteren, de aanwezigheid en ligging van breuken, en de daaruit voortvloeiende structuren in de ondergrond. Deze data is voldoende dekkend en van goede kwaliteit om de diepte van het reservoir en de ligging van breuken op regionale schaal in kaart te brengen. Hierdoor ontstaat er een duidelijk regionaal beeld van de verschillende breukblokken en hun diepteligging. Echter, de seismische data is niet gedetailleerd genoeg om een accuraat lokaal beeld te krijgen, zeker in gebieden waar gaten zitten in de seismische dekking (b.v. bij Soest, Amersfoort en Baarn).

Voor deze gebieden bestaan er aanzienlijke onzekerheden over de diepte ligging van de Formatie van Slochteren en over de aanwezigheid van lokale en kleinere breuken.

Ook is de kwaliteit van de seismische data over het gehele geïnterpreteerde gebied veelal onvoldoende om de reservoir dikte nauwkeurig te bepalen. De putdata en puttesten leveren aanvullende informatie over de dikte van het reservoir en vooral de reservoirkwaliteit, zoals doorlatendheid.



Figuur 3.9 | Zekerheidskaart van de potentie van de Formatie van Slochteren. Rood omcirkeld gebieden met verschillen t.o.v. de provinciale studie.

Breukblokken waarin daadwerkelijk een put is geboord, resulteren in een hogere mate van zekerheid over de reservoir eigenschappen en de geothermische potentie dan breukblokken zonder boringen. Dit leidt tot drie gebieden waar de potentie met hoge zekerheid kan worden vastgesteld (Figuur 3.9). Dit zijn 1) het noordelijke deel van het gebied met de putten BLA en BNV, 2) het zuidelijke breukblok, waarin de SCAN-boring BLT is uitgevoerd en 3) het breukblok rond de SCAN-boring EDE. Hoewel de boringen EDE, BLT en AMS niet direct zijn geplaatst in het breukblok met de hoogste geothermische potentie, hebben ze toch een aanzienlijke voorspellende waarde voor dat gebied. Dit komt doordat deze boringen zijn uitgevoerd in breukblokken met vergelijkbare geologische geschiedenis. Dankzij de kwalitatief goede data uit de SCAN-boringen BLT, EDE en AMS, die representatief zijn voor het kansrijke gebied, kan de potentie van deze strook met redelijke zekerheid worden ingeschat. Wel is in het noordwestelijke deel van dit gebied minder seismische data aanwezig.

Parallel aan onze studie is de provinciale studie geüpdatet op basis van de nieuwe SCAN-data. Deze twee studies zijn door EBN en TNO vergeleken en komen in grote lijnen met elkaar overeen. In twee gebieden binnen de onderzoeksregio is een afwijking. Deze gebiedjes zijn met rood omcirkeld in Figuur 3.9. De verschillen worden veroorzaakt door zowel de schaal van de studie (provinciaal t.o.v. regionaal en verschillen in aannames, gebruikte trends en interpolaties). Door de (beperkte) beschikbare hoeveelheid data kan niet direct gezegd worden welke studie 'juist' is en vallen deze verschillen binnen de onzekerheid. Met aanvullende data kan deze onzekerheid verkleind worden.

In het noordelijkwestelijke gebiedje geeft onze een positiever beeld van de potentie. Met andere aannames kan de potentie tot zo'n 1,0 tot 2,5 MWth lager uitvallen. In het oostelijke gebied geeft deze studie juist een negatiever beeld waar de potentie 1,5 tot 3,0 MWth hoger kan uitvallen.

3.3 **FORMATIE VAN BREDA**

De ondiepe geothermie potentie van de Formatie van Breda is afhankelijk van verschillende eigenschappen:

- Allereerst moet de temperatuur van het water voldoende hoog genoeg zijn voor de beoogde toepassing. Over het algemeen geldt: hoe dieper, hoe warmer het is.
- Ook dient er voldoende water aanwezig te zijn, hierbij zijn de dikte en de zand/klei verhouding belangrijke parameters.
- Tot slot moet de permeabiliteit (doorlaatbaarheid) van het pakket voldoende zijn, zodat het formatiewater de mogelijkheid heeft om te stromen.

In dit hoofdstuk brengen we de belangrijkste eigenschappen van de Formatie van Breda in kaart.

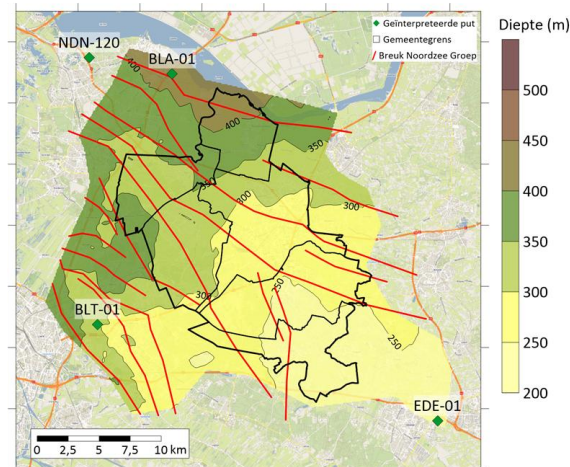
3.3.1 **Diepte en breuken**

Met behulp van een gedetailleerde seismische verdiepingsstudie is er een diepte- en breukenkaart van het reservoir gemaakt in en rondom het projectgebied (Figuur 3.10).

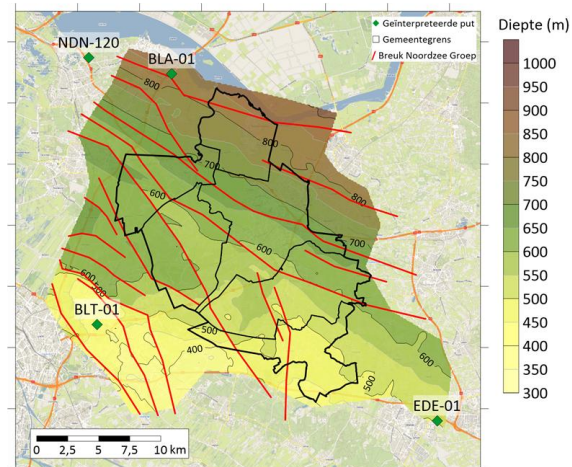
Voor het maken van deze kaart zijn alle nieuwe SCAN data en bestaande seismische gegevens opnieuw geïnterpreteerd. Ook zijn bij de interpretatie de bestaande kaarten en modellen van TNO⁶ gebruikt ter ondersteuning. Bij de seismische interpretatie zijn zowel de top als de basis van Formatie van Breda in kaart gebracht. Daarnaast zijn ook de breuken lokaal geïnterpreteerd.

⁶ Interpretatie van de Formatie van Breda door TNO (2023): <https://www.thermogis.nl/breda-formati>

Diepte top



Diepte basis



Figuur 3.10 | Diepte van de top en de basis van de Formatie van Breda (m).

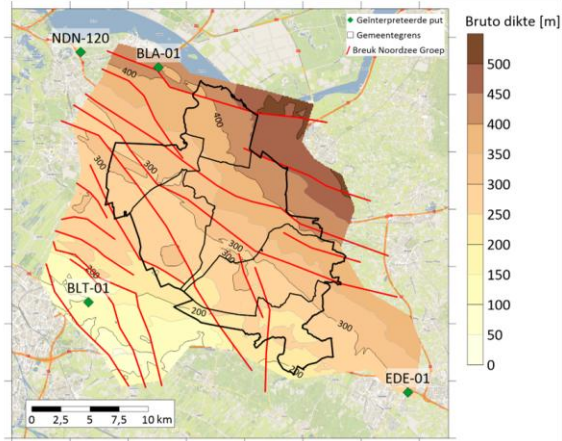
Uit de dieptekaarten (Figuur 3.10) blijkt dat de top van de Formatie van Breda geleidelijk dieper komt te liggen richting het noorden. In het zuidoosten van het projectgebied ligt de top van deze formatie op een diepte tussen de 200 en 250 meter, terwijl deze diepte in het noorden toeneemt tot ruim 450 meter. Ook de basis van de Formatie van Breda volgt een vergelijkbare trend: in het zuiden ligt deze rond de 400 meter diep, en neemt toe tot meer dan 800 meter in het noorden van het gebied.

3.3.2

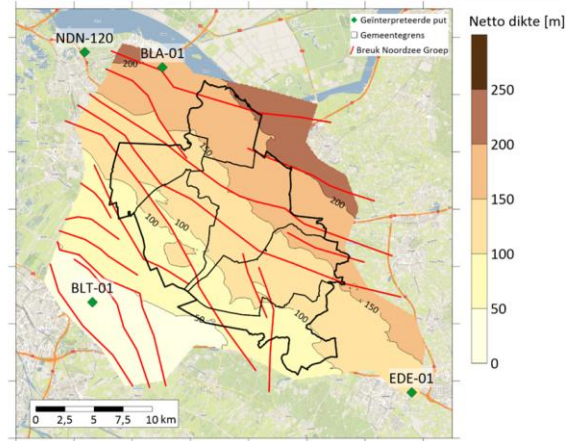
Dikte

De totale, oftewel bruto dikte, van de Formatie van Breda is bepaald aan de hand van de top en basis dieptekaarten (Figuur 3.11). De bruto dikte neemt sterk toe in noordoostelijke richting (van <200 m in het zuiden tot >500 m in het noordoosten). Om de hoeveelheid zand (netto dikte) binnen de Formatie van Breda te bepalen zijn de resultaten van de petrofysische interpretatie gebruikt. Deze resultaten laten zien dat de Formatie van Breda voor een groot deel uit klei bestaat en dat meestal alleen het bovenste gedeelte bestaat uit netto zand. Dit vaak zandige deel aan de bovenkant van de Formatie van Breda staat bekend als de afzettingen van Diessen. In het zuidwesten van het projectgebied bestaat de Formatie van Breda bijna volledig uit klei. Uit de netto diktekaart blijkt dat de hoeveelheid zand in het zuidwesten van het projectgebied minder dan 50 meter en in het noordoosten meer dan 150 meter bedraagt (Figuur 3.11).

Bruto dikte



Netto dikte



Figuur 3.11 | Bruto - en netto diktekaart van de Formatie van Breda (m).

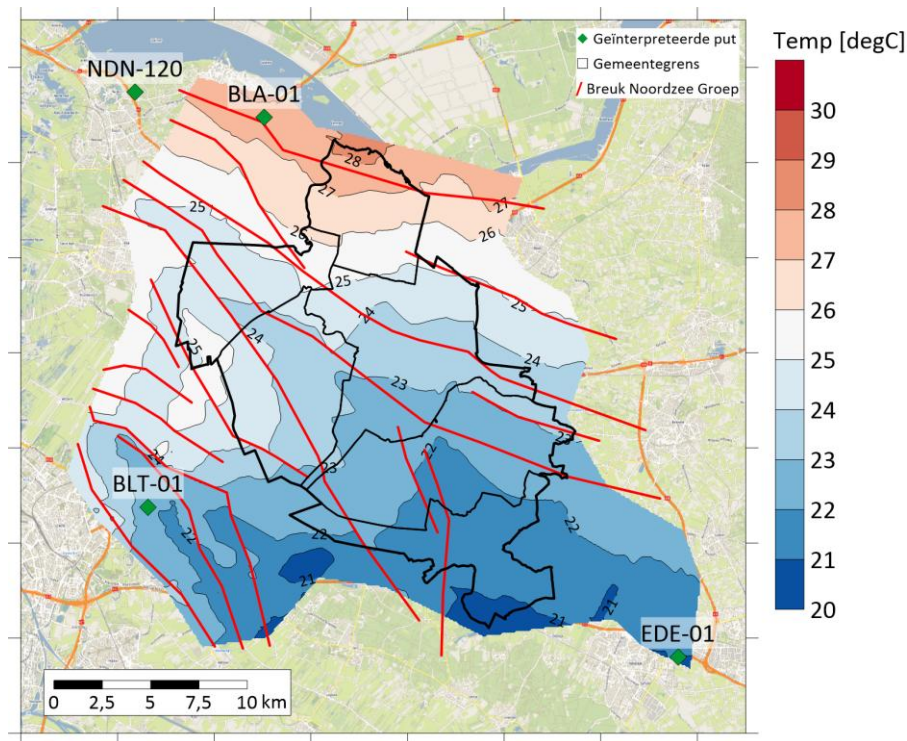
3.3.3

Temperatuur

De SCAN-Boring BLT-01 heeft een goede temperatuurlog van de ondiep gelegen lagen in de Noordzee Groep. Op basis van deze log kan er een regionale diepte vs. temperatuur relatie voor de Formatie van Breda worden opgesteld:

$$T (^{\circ}\text{C}) = 13 (^{\circ}\text{C}) + 0,028 (^{\circ}\text{C}/\text{m}) * \text{diepte (m)}$$

Op basis van deze relatie is de temperatuur in het reservoir berekend. Hiervoor is uitgegaan van het midden van het bovenste zandige deel van de Formatie van Breda, ook wel bekend als de afzettingen van Diessen. De resulterende temperatuurkaart (Figuur 3.12) toont dat de temperatuur in dit deel van het reservoir binnen het projectgebied meestal varieert tussen de 20 en 30 °C.

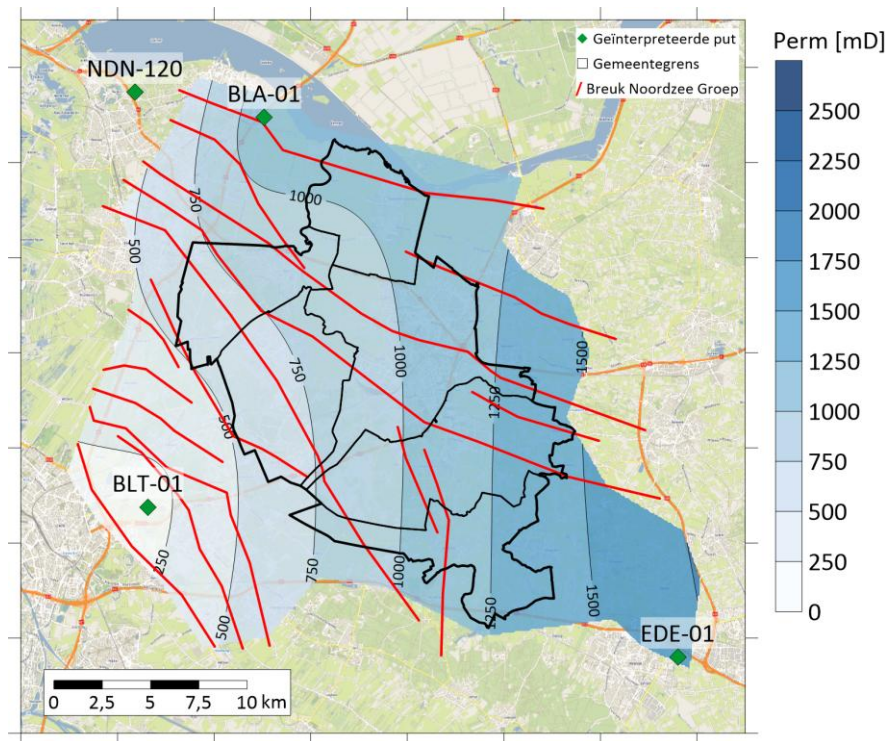


Figuur 3.12 | Temperatuurkaart van het zandige deel binnen de Formatie van Breda (°C).

3.3.4 Gesteente-eigenschappen

De eigenschappen van het gesteente binnen de Formatie van Breda zijn in kaart gebracht met behulp van verschillende bronnen en methoden: petrofysische analyses, korrelgroottemetingen uit ondiepe boringen, puttesten en de klassieke relatie van Van Baaren (1974), die een verband legt tussen korrelgrootte en doorlatendheid.

Uit de doorlatendheidskaart (Figuur 3.13) blijkt dat de doorlatendheid van de netto zandlagen binnen de Formatie van Breda toeneemt in oostelijke en noordoostelijke richting. In het westen van het gebied, bijvoorbeeld bij de put BLT-01, ligt de doorlatendheid onder de 250 mD. In het oosten, bij de put EDE-01, loopt deze op tot meer dan 1500 mD.



Figuur 3.13 | Doorlatendheid (mD) van het netto zand binnen de Formatie van Breda.

3.3.5

Potentiebepaling

De geothermische potentie van de Formatie van Breda (Figuur 3.14) is ook bepaald op basis van de temperatuurkaart, netto diktekaart en doorlatendheidskaart en een set randvoorwaarden (Tabel 3.4). Bij ongeconsolideerde pakketten zoals de Formatie van Breda is het belangrijk om zandlevering te vermijden. Hiervoor wordt het zogenoemde Drucker-Prager criterium gebruikt.

Voor deze berekening is onderstaande formule gebruikt:

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

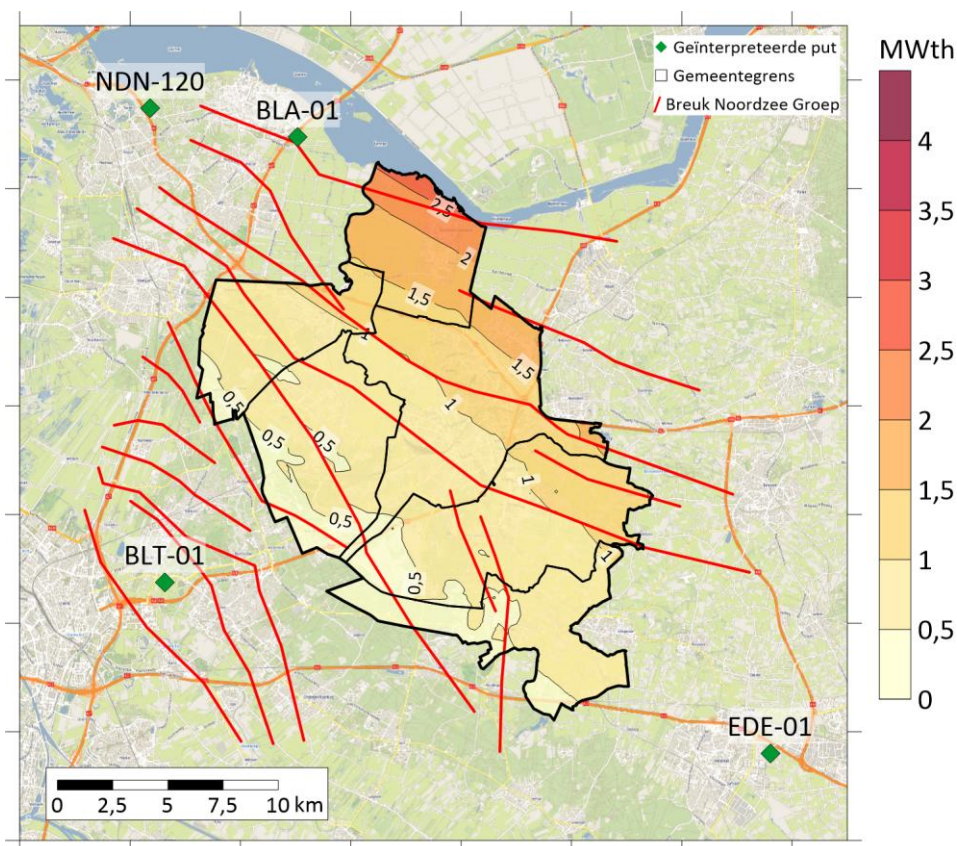
Hierbij is:

- Pt het thermisch vermogen in megawatt (MWth)
- Q het debiet. Het debiet is afhankelijk van een aantal factoren, namelijk:
 - Reservoirkwaliteit (doorlatendheid en netto dikte)
 - Korrelgrootte (D_{10})
 - Hoekigheid korrels
- 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 3.4 | Input voor de potentiebepaling Formatie van Breda

Parameter	Eenheid	Grid/waarde	Bron
Dikte	[m]	Grid, Figuur 3.11	O.b.v. putgegevens
Temperatuur	[°C]	Grid, Figuur 3.12	O.b.v. dieptekaart en een regionale temperatuurgradiënt
Doorlatendheid	[mD]	Grid, Figuur 3.13	O.b.v. de geologische achtergrond, seismiek en putgegevens
Injectietemperatuur	[°C]	5	Wordt vaak als minimum aangeduid, voor geothermiesystemen met een lage temperatuur (<30°C)
D10 korrelgrootte	[µm]	35	Beplaat o.b.v. korrelgrootteanalyses
Hoekigheid zandkorrels	[-]	0,35	Ingeschat o.b.v. formatiebeschrijvingen

Omdat deze formatie naar het noorden toe dieper ligt, is er een duidelijke noord-zuid trend zichtbaar in de temperatuur: hoe noordelijker, hoe hoger de temperatuur. Voor de doorlatendheid geldt juist een west-oost trend, waarbij de hoogste doorlatendheden voorkomen in het oosten van het gebied. Deze twee trends – hogere temperaturen in het noorden en betere doorlatendheid in het oosten – komen samen in de potentiekaart, waarin de geothermische potentie toeneemt richting het noordoosten van het projectgebied. De berekende potentie ligt in het projectgebied tussen de 0,5 en 2,5 megawatt thermisch (MWth).



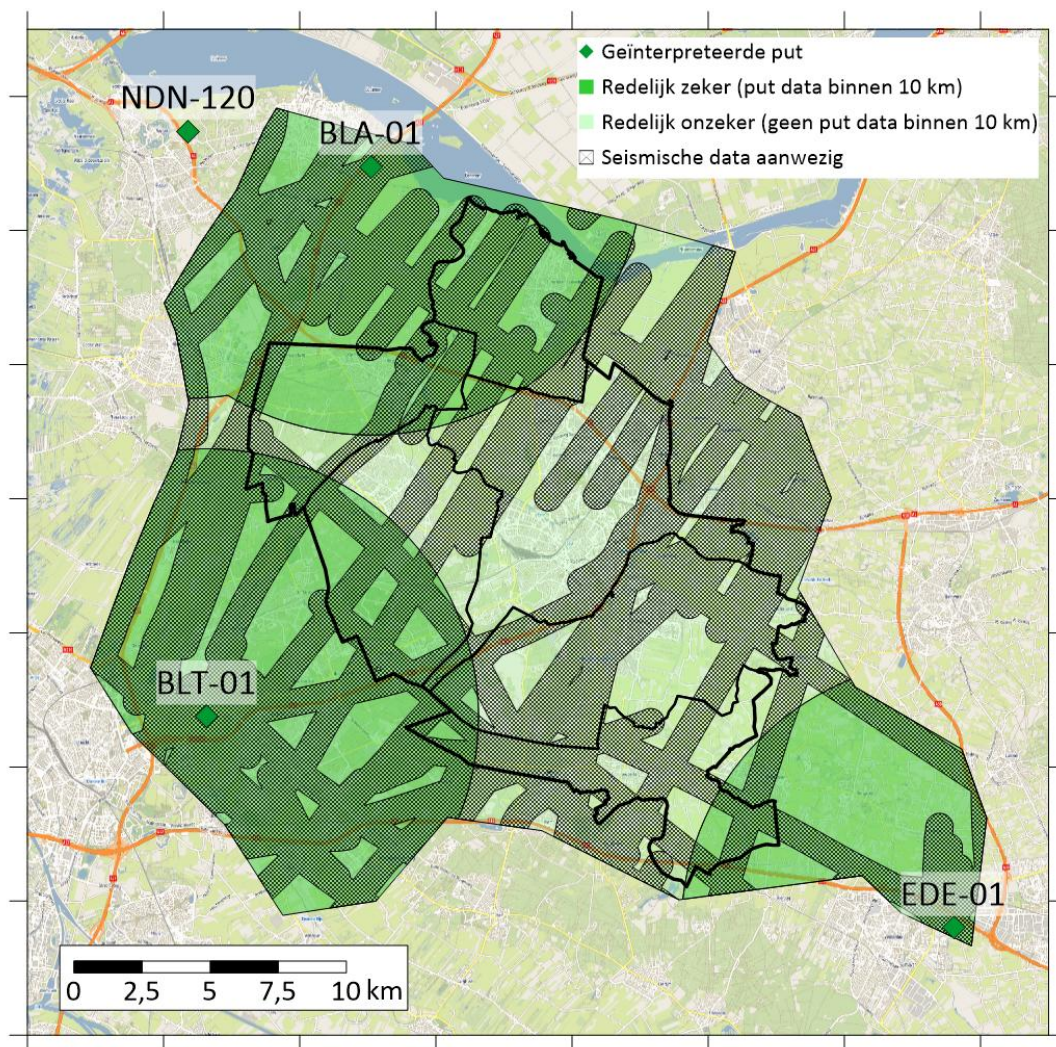
Figuur 3.14 | Potentiekaart van de Formatie van Breda (MWth). Voor deze potentiekaart is een retourtemperatuur van 5 °C gebruikt.

3.3.6 Beschikbare data en mate van zekerheid

De geothermische potentie van de Formatie van Breda is met redelijke onzekerheid ingeschat (zie Figuur 3.15). Binnen het projectgebied zijn namelijk geen directe putmetingen of puttesten beschikbaar voor deze formatie. Daardoor is het lastig om met voldoende betrouwbaarheid metingen uit putten op grotere afstand te vertalen naar de lokale situatie. Dit maakt de correlatie minder robuust dan bij bijvoorbeeld de Formatie van Slochteren, waarvoor wél directe data beschikbaar is.

De Formatie van Breda wordt pas recentelijk beschouwd als potentieel interessant voor geothermie. Hierdoor is de kennis over deze formatie nog beperkt, en zijn er tot op heden geen ondiepe geothermiesystemen gerealiseerd in deze laag. Dit gebrek aan praktijkervaring en directe data maakt het moeilijk om de geothermische potentie met hoge zekerheid vast te stellen.

Tot slot valt de Formatie van Breda vanwege de diepteligging onder twee verschillende wetgevingen (Omgevingswet en Mijnbouwwet) of soms volledig in de Omgevingswet. Dit kan de aanvraag van de vergunningen mogelijk ingewikkeld maken en kan ervoor zorgen dat subsidies voor geothermie (zoals de SDE++) niet kunnen worden aangevraagd.



Figuur 3.15 | Zekerheidskaart van de potentie van de Formatie van Breda.

4 Koppeling potentie met warmtevraag

De haalbaarheid van geothermie als warmtebron voor de gebouwde omgeving hangt niet alleen af van de ondergrondse potentie. Ook verschillende bovengrondse aspecten spelen een rol in de haalbaarheid. Om uit te zoeken welke gebieden en plaatsen in het projectgebied geschikt zijn voor (ondiepe) geothermie voeren we in dit hoofdstuk een eerste analyse uit naar de koppeling tussen warmtevraag van de bebouwde omgeving en geschiktheid van de ondergrond.

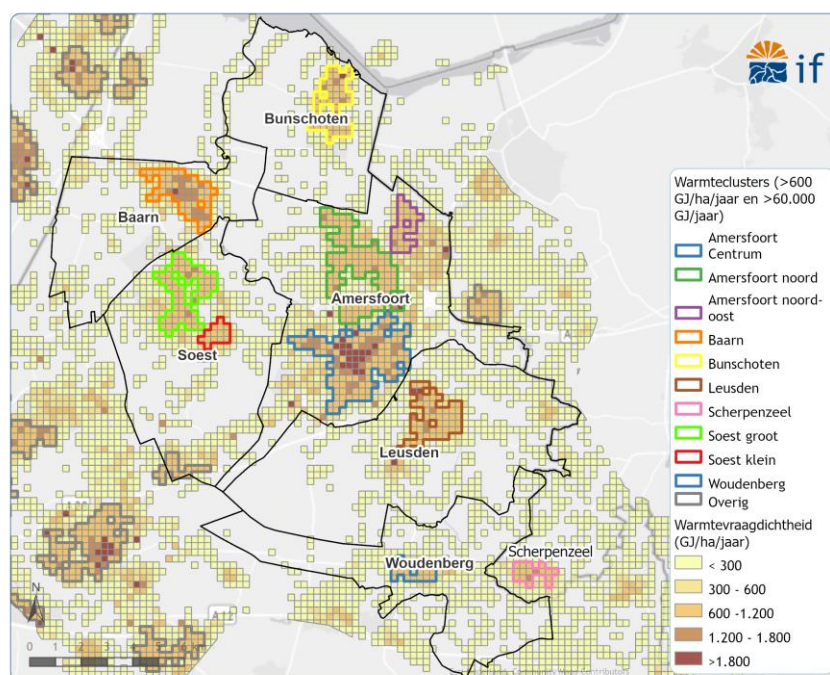
Hiervoor zijn warmteclusters bepaald die geschikt lijken voor een collectief warmtenet met geothermie o.b.v. warmtevraag en warmtevraagdichtheid (zie Bijlage 3, sectie 6.3). Als laatste koppelen we deze clusters aan de potentie van de bodem en bespreken de mogelijkheden van (ondiepe) geothermie voor de verschillende clusters.

4.1 HAALBAARHEID GEOTHERMISCH WARMTENET

De haalbaarheid van geothermie als bron voor de warmtelevering aan gebouwen hangt niet alleen af van de ondergrondse potentie. Verschillende bovengrondse aspecten spelen ook een rol. In het algemeen gelden de volgende punten:

- **Haalbaarheid warmtenet:** Het moet (financieel) mogelijk zijn om een warmtenet te realiseren om warmte vanuit het geothermiesysteem aan de gebouwde omgeving te leveren. De financiële haalbaarheid hangt van verschillende punten af:
 - **Warmtevraagdichtheid:** Een belangrijk aspect is de warmtevraagdichtheid van het gebied. Een hoge warmtevraagdichtheid houdt in dat er in een klein gebied veel vraag is naar warmte. Dit drukt de investeringskosten van het distributienet, maar schept wel de mogelijkheden voor veel afnemers van warmte.
 - **Aanwezigheid appartementen en woningcorporaties:** De realisatie van een warmtenet is financieel aantrekkelijker als er veel appartementen en woningcorporatiewoningen aanwezig zijn. Voor appartementen geldt dat er gemiddeld minder leidingwerk in de straat nodig is om ze aan te sluiten wat de kosten drukt. Het voordeel van woningcorporatiewoningen is dat er in één keer veel woningen aangesloten kunnen worden. Er hoeven geen afspraken gemaakt te worden met individuele woningeigenaren om aan te sluiten maar alleen met de woningcorporatie. De meeste woningcorporaties laten de bewoners wel stemmen over het aansluiten.
- **Afstand geothermie en warmtecluster:** hoe dichter een warmtecluster bij een geothermie doublet ligt, hoe lager de kosten zijn. Er is dan namelijk minder leidingwerk nodig om het doublet met het warmtenet te verbinden. De geothermiedoubletten moeten bovengronds in de buurt liggen maar hoeven niet precies boven deze lagen te liggen aangezien er gedeveerd geboord wordt. Bij een later ontwerp moet precies bepaald worden waar de geothermiedoubletten bovengronds geplaatst kunnen worden. Daarbij moet er ook rekening mee gehouden worden dat er bovengronds ruimte nodig is voor de realisatie van een geothermiedoublet.
- **Genoeg warmtevraag:** Een geothermiedoublet in de formatie van Slochteren met een potentie van 5 MW kan ongeveer 63.000 GJ warmte per jaar leveren en met een potentie van 10 MW ongeveer 126.000 GJ per jaar. Voor de financiële haalbaarheid van een doublet is het gunstig als er genoeg warmtevraag is om de volledige potentie kwijt te kunnen.

Binnen de regio hebben we een aantal warmteclusters bepaald (Figuur 4.1). Deze warmteclusters zijn een eerste grove inschatting waar mogelijkheden liggen voor een collectief warmtenet gebaseerd op een warmtedichtheid (>600 GJ/ha/jaar) en een warmtevraag (>60.000 GJ/jaar). Andere facetten zijn in deze eerste analyse nog niet meegenomen. Voor meer informatie over de warmtevraag, warmtedichtheid en de warmteclusters, zie Bijlage 3, sectie 6.3.



Figuur 4.1 | Bepaalde warmteclusters waar de warmtevraagdichtheid minimaal 600 GJ/ha/jaar is en de totale warmtevraag minimaal 60.000 GJ. De belangrijkste clusters zijn met een aparte kleur weergegeven.

Voor elk van deze warmteclusters hebben we een overzicht gemaakt met informatie over de gebouwen en woningen binnen deze clusters (zie Tabel 4.1 en Tabel 4.2). Deze overzichten zijn bedoeld om meer inzicht te geven

Tabel 4.1 | Informatie over gebouwen en woningen in de clusters Baarn, Bunschoten, Amersfoort en Amersfoort Noord. De clusters zijn bepaald met een minimale warmtevraagdichtheid van 600 GJ/ha/jaar is en een totale warmtevraag van minimaal 60.000 GJ.

	Baarn	Bunschoten	Amersfoort Centrum	Amersfoort noord	Amersfoort noordoost
Totale warmtevraag (GJ/jaar)	364.000	237.000	1.044.000	591.000	127.000
Warmtevraagdichtheid (GJ/ha/jaar)	1.040	880	1.220	880	810
Aantal woningen	9.586	7.245	31.925	20.101	4.156
Aantal utiliteit	529	299	2.135	524	46
Woningtypering					
Appartement	31,5%	24,5%	53,9%	25,7%	20,8%

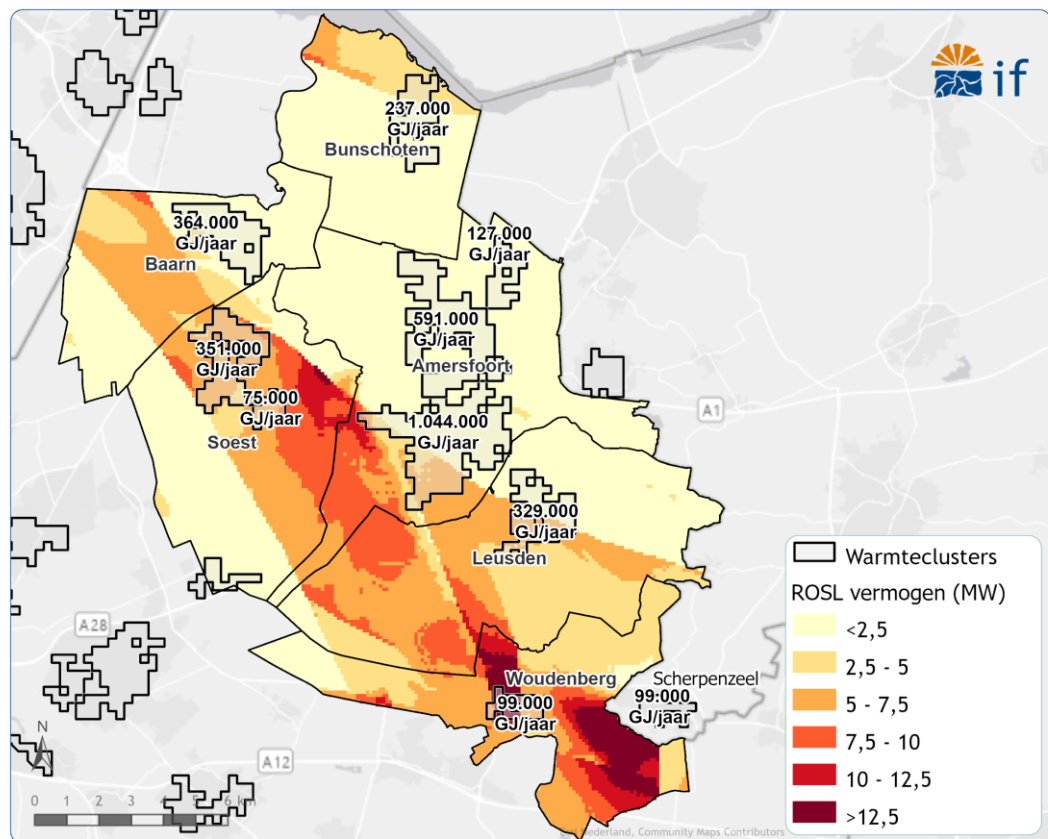
Hoekwoning	16,6%	19,9%	12,4%	15,7%	15,5%
Tussenwoning/geschakeld	30,3%	42,5%	27,6%	53,5%	47,2%
Twee-onder-een-kap	13,9%	8,8%	4,9%	3,2%	10,0%
Vrijstaande woning	7,7%	4,2%	1,3%	1,9%	6,4%
Bouwjaar woningen					
<=1900	4,6%	1,9%	3,8%	0,1%	0,0%
<=1945	23,8%	6,7%	27,3%	0,3%	0,0%
<=1965	22,1%	10,4%	18,3%	1,4%	0,1%
<=1985	28,4%	36,2%	21,5%	22,9%	0,1%
<=1995	7,4%	11,6%	7,2%	52,7%	0,0%
<=2005	5,7%	9,3%	5,6%	18,9%	31,5%
<=2015	3,7%	13,1%	6,2%	1,2%	33,3%
<=2025	4,3%	10,6%	9,9%	2,6%	34,9%
Huurwoningen					
Aandeel woningcorporatie	26%	14%	36%	25%	21%
Aandeel particuliere verhuur	11%	13%	19%	9%	9%
Totaal aandeel huurwoningen	37%	27%	55%	34%	30%

Tabel 4.2 | Informatie over gebouwen en woningen in de clusters Soest groot, Soest klein, Leusden, Woudenberg en Scherpenzeel. De clusters zijn bepaald met een minimale warmtevraagdichtheid van 600 GJ/ha/jaar is en een totale warmtevraag van minimaal 6.000 GJ.

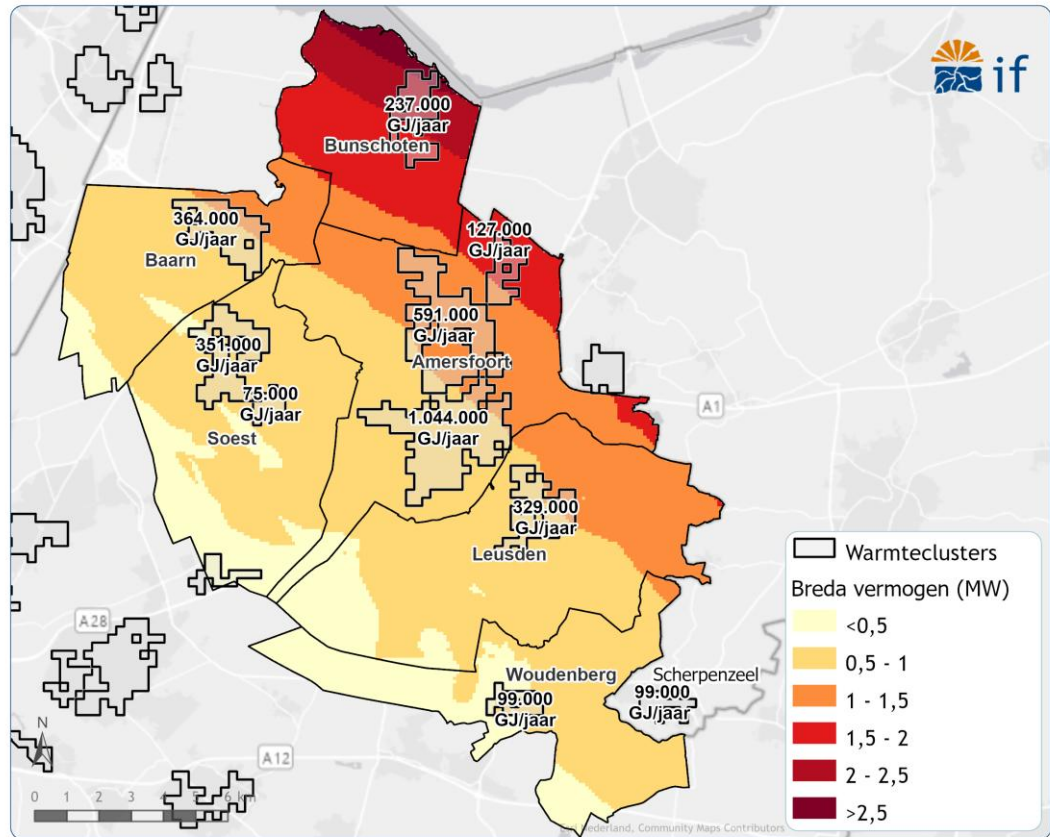
	Soest groot	Soest klein	Leusden	Woudenberg	Scherpenzeel
Totale warmtevraag (GJ/jaar)	351.000	75.000	329.000	99.000	99.000
Warmtevraagdichtheid (GJ/ha/jaar)	910	860	960	880	930
Aantal woningen	10.749	1.805	8.193	3.015	2.641
Aantal utiliteit	372	151	450	119	117
Woningtypering					
Appartement	44,3%	22,0%	27,1%	21,0%	20,0%
Hoekwoning	11,6%	14,2%	15,7%	21,2%	24,0%
Tussenwoning/geschakeld	26,2%	22,2%	48,6%	37,0%	32,0%
Twee-onder-een-kap	10,1%	28,0%	5,1%	14,0%	14,4%
Vrijstaande woning	7,8%	13,6%	3,5%	6,8%	9,6%
Bouwjaar woningen					
<=1900	0,3%	0,1%	0,1%	0,8%	0,7%
<=1945	14,8%	31,2%	0,4%	4,9%	11,9%
<=1965	17,1%	35,6%	3,5%	19,5%	9,2%
<=1985	46,0%	8,9%	66,1%	30,5%	41,2%
<=1995	11,6%	3,1%	14,8%	19,9%	12,3%
<=2005	5,5%	9,7%	5,4%	10,0%	10,0%
<=2015	2,5%	5,6%	2,5%	7,7%	6,5%
<=2025	2,2%	5,8%	7,2%	6,6%	8,2%
Huurwoningen					
Aandeel woningcorporatie	26%	8%	23%	22%	18%
Aandeel particuliere verhuur	14%	9%	10%	8%	10%
Totaal aandeel huurwoningen	40%	17%	33%	30%	28%

4.2 MATCH VRAAG EN AANBOD

In Figuur 4.2 en Figuur 4.3 zijn de potentiekaarten voor de formatie van Slochteren en Breda weergegeven die in eerder hoofdstukken zijn bepaald. In de kaarten zijn ook de warmteclusters weergegeven zoals bepaald in de vorige paragrafen. Voor de warmteclusters zijn de minimum eisen voor een collectief systeem gehanteerd.



Figuur 4.2 | Potentiekaart geothermie voor de Formatie van Slochteren. Ook de warmteclusters met warmtevraag (> 600 GJ/ha/jaar en > 60.000 GJ/jaar) zijn weergegeven.



Figuur 4.3 | Potentiekaart geothermie voor de Formatie van Breda. Ook de warmteclusters met warmtevraag (> 600 GJ/ha/jaar en > 60.000 GJ/jaar) zijn weergegeven.

Amersfoort

Formatie van Slochteren

In het zuidelijke deel van Amersfoort zijn de beste mogelijkheden voor geothermie in de formatie van Slochteren. Langs de randen van het cluster is de potentie hier namelijk tussen de 5 en 12,5 MWth. Vooral in het westen is de potentie hoog. Ook is het mogelijk, op basis van de huidige data, om een geothermiedoublet in te kunnen passen. De warmte geproduceerd met geothermie heeft rondom Amersfoort een temperatuur van rond de 65 °C. Dit is bijna toereikend om direct een MT-warmtenet (70 °C) te voeden. De omvang van de warmtevraag in het cluster Amersfoort Centrum is ruim voldoende voor zelfs meerdere geothermiedoubletten. Daarnaast is ook de warmtevraagdichtheid in sommige gebieden erg hoog en zijn er veel appartementen en woningcorporatiewoningen aanwezig. Amersfoort heeft op dit moment al een warmtenet in delen van het centrum waarmee warmte aan ongeveer 2.200 woningen wordt geleverd. Mogelijk kan de geothermie bron direct warmte aan dit net leveren. Dit alles biedt veel perspectief voor de realisatie van geothermie in de gemeente Amersfoort.

Formatie van Breda

Een andere mogelijkheid is geothermie in de formatie van Breda in het noordoosten van Amersfoort. De potentie is hier rond de 1,5 - 2 MWth en er kan warmte met een temperatuur van ongeveer 25 °C geproduceerd worden. In Amersfoort Noord staan alleen nieuwe woningen van na

1995 welke met lage temperatuur verwarmd kunnen worden (35 - 45 °C). De warmtevraag van het cluster is ruim voldoende, dus een mogelijkheid is om hier verder onderzoek te doen naar een LT- of ZLT-net. Het is daarbij interessant om deze optie te vergelijken met individuele lucht-/waterwarmtepompen.

Bunschoten

Formatie van Slochteren

Op 1 á 2 kilometer ten noordwesten van Bunschoten is de potentie tussen de 5 en 7,5 MWth. De temperatuur van de warmteproductie is daar rond de 65 °C. Dichterbij ligt de potentie onder de 5 MWth maar daar achten wij een geothermiesysteem niet financieel haalbaar vanwege de lage potentie. Inpassing van een geothermiedoublet lijkt nog lastiger, door een waterwingebied.

De totale warmtevraag in het cluster is toereikend voor een geothermiesysteem maar de warmtevraagdichtheid ligt aan de lage kant. Het realiseren van een geothermiesysteem in de Formatie van Slochteren lijkt ondergronds niet echt te passen rekeninghouden met breuken en omgevingsbelangen. Daarnaast zal geothermie met een warmtenet financieel uitdagend zijn vanwege de afstand, potentie die aan de lage kant is en warmtevraagdichtheid die aan de lage kant is. Andere warmtevoorzieningen lijken een geschiktere keus.

Formatie van Breda

De potentie in de formatie van Breda ligt in heel Bunschoten boven de 1,5 MWth en in het noorden zelfs boven de 2,5 MWth. De temperatuur van de warmteproductie is hier rond de 26 - 28 °C.

De warmtevraag van het cluster is ruim voldoende voor een geothermiesysteem. Dit maakt een geothermiesysteem mogelijk haalbaar maar een vergelijk met andere oplossingen is nodig om te onderzoeken of geothermie de beste warmtebron is. Aangezien Bunschoten dicht bij oppervlaktewater ligt is de vergelijking met aquathermie interessant.

Baarn

Formatie van Slochteren

Net buiten Baarn ten zuidwesten ligt de potentie tussen de 5 en 10 MWth waar een doublet ingepast zou kunnen worden. De warmteproductie heeft hier een temperatuur van 65 - 70 °C.

De warmtevraag in het cluster is ruim voldoende en zoals eerder bepaald is de warmtevraagdichtheid in Baarn ook aan de hogere kant. Ook is er een groot aandeel huurwoningen. Dit biedt mogelijkheden voor geothermie met als aandachtspunt de afstand tussen de kern van het cluster en de plek van een mogelijk geothermiesysteem. Een combinatie met Soest is mogelijk interessant maar dat is niet nodig om genoeg warmtevraag te realiseren.

Soest

Formatie van Slochteren

De potentie in en rondom Soest ligt tussen de 5 en 10 MWth. De productietemperatuur van warmte is hier rond de 65 - 70 °C en de inpassing van één of meerdere doubletten lijkt mogelijk. De omvang van de warmtevraag in het cluster is ruim voldoende. Een nadeel is dat er geen duidelijke kern van het cluster is met hoge warmtevraagdichtheid dat kan dienen als start van een warmtenet. Dit blijkt uit Figuur 6.15 waar geen cluster is gevonden in Soest. Een voordeel is dat de afstand tussen een mogelijk geothermiedoublet en het cluster klein is. Een combinatie met Baarn is mogelijk interessant maar dat is niet nodig om genoeg warmtevraag te realiseren.

Leusden

Formatie van Slochteren

De potentie in het zuidelijke deel van Leusden ligt tussen de 5 en 7,5 MWth en ten zuiden ligt een stuk met een potentie van 7,5 - 10 MWth. Wel is hier de vraag of het mogelijk is om een geothermiedoublet in te passen tussen de breuken.

De productietemperatuur van de warmte is rond de 45 °C. Om een MT-warmtenet (70 °C) te voeden is een warmtepomp nodig die de temperatuur nog een stuk moet verhogen wat elektriciteit kost. Het vermogen en elektriciteitsverbruik van de warmtepomp zal vanwege de relatief lage temperatuur voor geothermie hoger liggen dan bij voorgaande genoemde gebieden. De totale warmtevraag in Leusden is ruim voldoende voor een warmtenet.

Woudenberg

Formatie van Slochteren

De potentie in Woudenberg is zeer goed en ligt boven de 12,5 MWth. De productietemperatuur ligt rond de 50 °C waardoor de inzet van een warmtepomp nodig is om de temperatuur naar de 70 °C te krijgen voor een MT-warmtenet. Echter, door de breuken in de ondergrond en een waterwingebied in de buurt, lijkt het niet mogelijk om een doublet in te passen.

Daarnaast, met een systeem van 12,5 MWth en 3.500 vollasturen is per jaar 158.000 GJ aan warmte te leveren. De warmtevraag in Woudenberg is daar echter niet hoog genoeg voor. De warmtevraag van het cluster ligt wel boven de 60.000 GJ, en daarmee mogelijk wel interessant. Maar om de volle potentieel te benutten is aanvullende warmtevraag nodig. Een mogelijkheid is om te kijken naar een combinatie met Scherpenzeel. Er ligt echter een aantal kilometer tussen beide plaatsen wat extra kosten aan leidingwerk met zich meebrengt en negatief is voor de financiële haalbaarheid. Daarnaast moet nog steeds een groot deel van beide plaatsen worden aangesloten op het warmtenet om genoeg warmtevraag te genereren.

Conclusie

De hoogste haalbaarheid voor een warmtenet met geothermie als bron schatten we in voor Amersfoort. Daar is namelijk een hoge potentie in de formatie van Slochteren (>10 MWth) te vinden in de buurt met ook genoeg warmtevraag om een warmtenet te realiseren. Ook speelt mee dat de productietemperatuur (65 °C) in de buurt van Amersfoort hoog is, er veel huurwoningen (55% in het centrum en zuidelijke deel) en appartementen (54% in het centrum en zuidelijke deel) in Amersfoort zijn, er in bepaalde delen al een warmtenet ligt en dat de warmtevraagdichtheid hoog is (1.220 GJ/ha/jaar in het centrum en zuidelijke deel).

Daarna zijn Soest en Baarn het interessantst. De potentie van geothermie in de formatie van Slochteren is redelijk goed maar ligt wel aan de randen of buiten de clusters. Wat vooral een voordeel aan deze plekken is, is de hoge warmtevraag en warmtevraagdichtheid, met name voor Baarn. Dit biedt de meeste mogelijkheden voor een warmtenet dat financieel haalbaar is. Er moet in een vervolg wel onderzocht worden of andere bronnen dan geothermie (financieel) aantrekkelijker zijn.

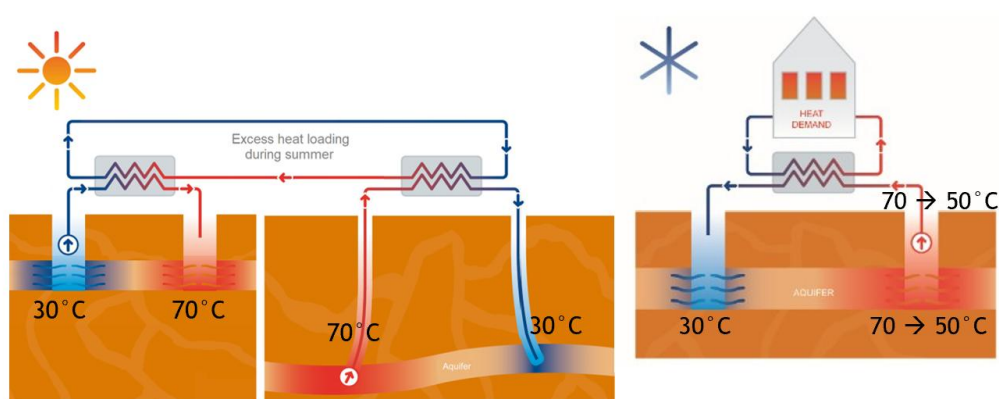
Voor de overige gemeente geldt dat er technisch en energetisch ook mogelijkheden zijn om geothermie in te zetten. De potentie van de ondergrond is echter soms wat aan de lage kant of ligt op een afstand van de bovengrondse warmtevraag. Daarnaast is de warmtevraag bovengronds soms te laag of is de warmtevraagdichtheid lage kant voor een groot warmtenet. We hebben in dit

onderzoek geen vergelijking gemaakt met andere warmtebronnen dus dat is interessant om nog te doen in een vervolg. Mogelijk zijn andere warmtebronnen dan geothermie namelijk beter geschikt. Dit hangt wel af van de criteria waarmee de verschillende oplossingen worden afgewogen. Naast financieel zijn ook andere aspecten belangrijk zoals netcongestie, duurzaamheid en complexiteit.

5 Warmteopslag

5.1 INLEIDING

Bij een HTO wordt een warmteoverschot tijdelijk opgeslagen in de ondergrond, zodat dit op een later moment gebruikt kan worden. In Figuur 5.1 is het principe van een HTO-systeem schematisch weergegeven.



Figuur 5.1 | Schematisering van de werking van een HTO-systeem dat gekoppeld is aan een warmtebron. In de zomersituatie wordt het HTO-systeem met warmte geladen vanuit de warmtebron (links), en in de wintersituatie wordt de opgeslagen warmte weer teruggewonnen (rechts).

Om de bodemgeschiktheid voor HTO te bepalen zijn voor een aantal locaties quickscans uitgevoerd. Daarnaast worden de lokale restricties die een risico vormen voor de vergunningverlening van een HTO-systeem beschreven. De quickscans worden uitgevoerd voor de warmteclusters:

- Bunschoten;
- Baarn;
- Soest
- Amersfoort en Leusden;
- Woudenberg.

De haalbaarheid wordt in de quickscans beoordeeld middels twee categorieën:

- Bodemgeschiktheid
- Juridische risico's

Per categorie zijn een aantal kernfactoren gekozen die als bepalend worden gezien voor de haalbaarheid. Deze factoren zijn opgenomen in Tabel 5.11 en daaronder nader toegelicht.

Tabel 5.11 | Lijst met beoordelingscriteria die gehanteerd worden bij de quickscans.

	Hoog risico als	Mogelijk risico, als	Zeer geschikt, als
Bodemgeschiktheid			

Opslagpakket - Diepte	n.v.t.	<50 of >500 m-mv	50 - 500 m-mv
Opslagpakket - Dikte	<10 m	10 - 15 m	> 15m
Opslagpakket - Lithologie	Klei en silt	Kleirijk zand, glauconiet	Zand
Opslagpakket - doorlatendheid*	< 3 m/d	3 - 5 m/d, > 20 m/d	5 - 20 m/d
Dikte afsluitende kleilaag	< 5 m	5 - 10 m	> 10 m
Grondwaterstroming	> 40 m/jaar	15 - 40 m/jaar	< 15 m/jaar
Juridische haalbaarheid			
Kwaliteit grondwater in opslagpakket	n.v.t.	Zoet grondwater, of zowel zoet als zout	Zout grondwater
Locatie t.o.v. bestaande restrictiegebieden	In restrictiegebied	Buiten restrictiegebied, maar op < 500 m afstand	> 500 m afstand
Nabijheid bestaande grondwatergebruikers	Grondwatergebruikers in de buurt (<500 m)	Grondwatergebruikers in de buurt (<500 m)	Grondwatergebruikers niet in de buurt (>500 m)

* Horizontale doorlatendheid, uitgaande van een natuurlijke grondwatertemperatuur van 10 - 15 °C.

5.1.1

Bodemgeschiktheid

Opslagpakket

De belangrijkste vereiste voor toepassing van warmteopslag is de aanwezigheid van een opslagpakket. Een opslagpakket is een zandlaag die voldoende doorlatend is, zodat er grondwater (en daarmee ook warmte) aan kan worden onttrokken en in kan worden geïnfilteerd. Aan de doorlatendheid van het opslagpakket zit ook een bovengrens, omdat een hoge doorlatendheid gepaard gaat met grotere warmteverliezen door opdrijving van warmte. Daarnaast leveren diepere opslagpakketten een beperkter risico op voor belangen nabij de oppervlakte vergeleken met ondiepe opslagpakketten.

Voor het opslagpakket zijn dus de factoren dikte, doorlatendheid, diepte en lithologie van belang.

Afsluitende lagen

Voor HTO is het essentieel dat er zich aan de bovenkant van het opslagpakket een goed afsluitende kleilaag bevindt. Die kleilaag beperkt warmteverliezen naar ondiepere lagen en zorgt daarmee voor een aanzienlijke verbetering van het terugwinrendement. Daarnaast is het wenselijk dat het opslagpakket aan de onderkant ook door een kleilaag wordt afgesloten. Daarmee wordt voorkomen dat er koud grondwater van onder de bronfilters in de warme bron wordt aangetrokken. Om te spreken van 'goede geschiktheid' voor HTO is als uitgangspunt genomen dat een bovengelegen kleilaag minimaal 5 m dik moet zijn om als afsluitende laag te kunnen functioneren. De kleilaag aan de onderkant van het opslagpakket is vergeleken met de kleilaag aan de bovenkant van ondergeschikt belang en daarom wordt deze hier niet als criterium meegenomen.

Grondwaterstroming

Hoge grondwaterstroomsnelheid kan er voor zorgen dat opgeslagen warmte weglekt, wat een negatieve impact heeft op het rendement van het systeem. Bij voorkeur wordt het HTO-systeem daarom in de diepere lagen gerealiseerd waar de grondwaterstroomsnelheid doorgaans lager is.

5.1.2 Juridische risico's

Uitgangspunt van deze quickscan is toepassing van HTO tot een maximale diepte van 500 m-mv. Tot die diepte geldt de Waterwet als wettelijk kader voor vergunningverlening. Vanuit de Waterwet valt een HTO-systeem onder de juridische definitie van 'Open Bodemenergiesystemen'.

Zoet- en zoutgrondwater

Zout grondwater wordt over het algemeen gezien als grondwater met een van nature lage kwaliteit. Zoet grondwater is in Nederland een belangrijke natuurlijke hulpbron en zodoende zijn daar meer belangen mee gemoeid dan bij het zoute grondwater. Voor open bodemenergiesystemen (zoals WKO en HTO) geldt dat het vermengen van zoet met zout grondwater vanuit het oogpunt van grondwaterbeheer niet wenselijk is. Daarom wordt gekeken of in een potentieel HTO-opslagpakket een zoet/zout grensvlak aanwezig is.

Restrictie-gebieden

Er bestaan restrictie-gebieden waar vanuit de wetgeving geen toepassing van Open Bodemenergie wordt toegestaan, zoals grondwaterbeschermingsgebieden, drinkwaterwinningen of boringsvrije zones. Aanwezigheid van deze zones nabij de projectlocatie kan een restrictie zijn.

Omgevingsbelangen

De aanwezigheid van omgevingsbelangen nabij de projectlocatie (zoals andere grondwatergebruikers) is mede bepalend voor de vergunbaarheid van HTO op de locatie. Deze scan bevat een overzicht van de aanwezige omgevingsbelangen op basis van publiek beschikbare informatiebronnen. De afstand tot die belangen is bepalend voor de beoordeling.

5.2 BODEMGESCHIKTHEID

5.2.1 Bodemopbouw uit het Regionaal Geohydrologisch Informatie Systeem (REGIS)

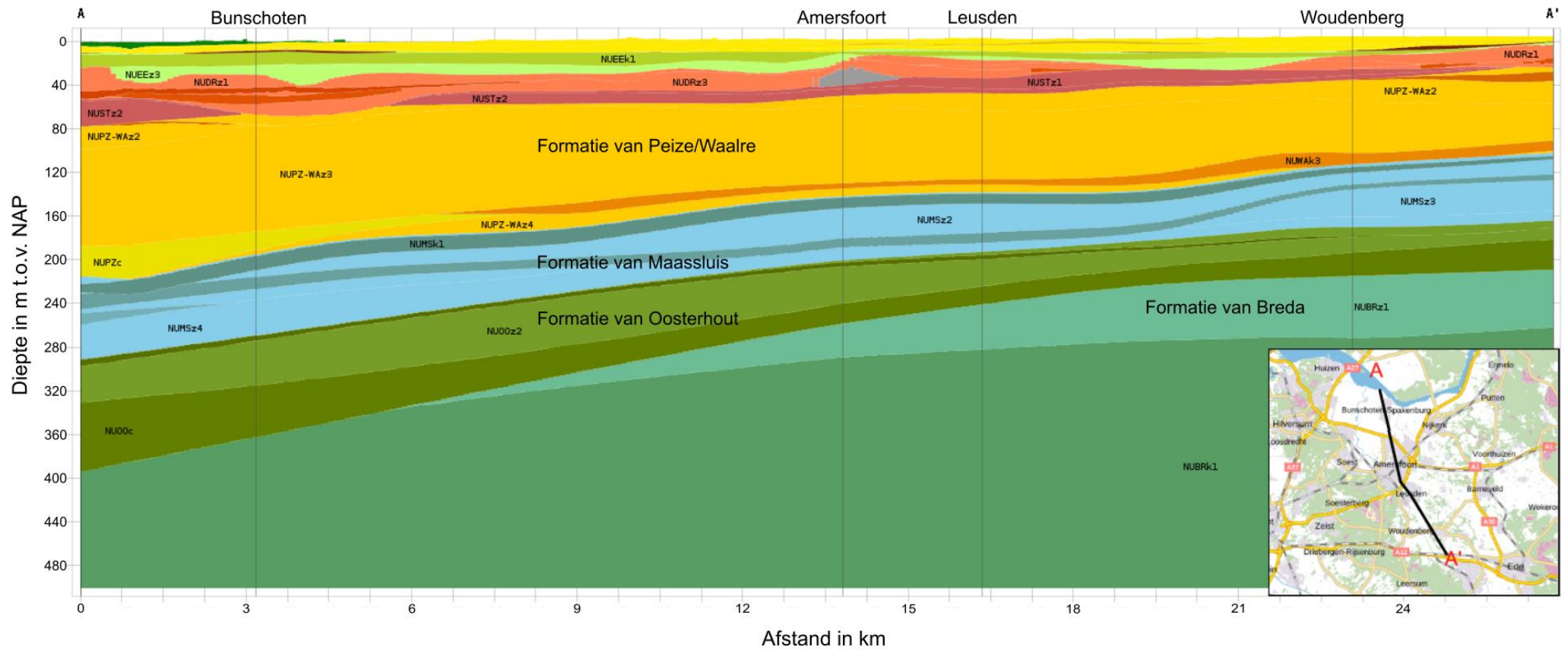
Er is een dwarsdoorsnede gemaakt langs door de ondergrond van het projectgebied, zie Figuur 5.2. Deze dwarsdoorsnede is gemaakt op basis van het ondergrondmodel REGIS v2.2, waarin de verschillende kleuren verschillende geologische formaties representeren. Binnen de formaties worden lichte en donkere tinten gebruikt om respectievelijk watervoerende pakketten en klei(ige) lagen te tonen. Het REGIS-model geeft een zo goed mogelijke inschatting van de opbouw van de ondergrond op basis van verschillende boringen, maar het blijft een model: in werkelijkheid kan de bodemopbouw afwijken. Daarom is het voor een project altijd belangrijk om de lokale opbouw en eigenschappen van de ondergrond nader te onderzoeken aan de hand van informatie uit de directe omgeving.

Op basis van de gebruikte informatie is de bodemopbouw op hoofdlijnen te beschrijven zoals die hieronder is weergegeven in Tabel 5. De bodemopbouw is het meest representatief voor Amersfoort. Lokaal kunnen dieptes en diktes van formaties afwijken.

Tabel 5.7 | Geschematiseerde bodemopbouw op de projectlocatie o.b.v. dwarsdoorsnede in REGIS. Geel gearceerde zandlagen lijken kansen voor HTO te bevatten en zijn nader beoordeeld (hoofdstuk 5.2).

diepte [m-mv]	lithologie	Naam voor potentieel HTO opslagpakket
0 - 5	Fijn tot matig fijn zand, lokaal met dunne veenlagen	
5 - 60	Complexe eenheid van overwegend matig tot grof zand. Lokaal met klei en grindbijmengingen	

60 - 65	Matig tot grof zand. Lokaal met grindbijmenging	
65 - 150	Zand, grof tot uiterst grof	Peize/Waalre
150 - 170	Klei en enkele zandlagen, lokaal ook veen	
170 - 190	Zand, afwisselend fijn tot matig grof. Lokaal met schelpmateriaal	Maassluis A
190 - 200	Klei	
200 - 215	Zand, afwisselend fijn tot matig grof. Lokaal met schelpmateriaal	Maassluis B
215 - 220	Klei	
220 - 275	Zand, zeer fijn tot zeer grof. Lokaal met schelpmateriaal	Oosterhout
	Zand, zeer fijn tot matig grof. Lokaal met schelpmateriaal	
275 - 300	Zeer fijn tot matig fijn zand	Breda
300 - 500	Klei	



Figuur 5.2 | Dwarsdoorsnede door de ondergrond van het studiegebied op basis van het REGIS v2.2-model.

5.2.2 Potentiële opslagpakketten voor HTO

Op basis van de dwarsdoorsnedes uit REGIS en de onderzochte boorprofielen lijken er potentiële opslagpakketten voor HTO met daarboven een afsluitende kleilaag aanwezig te zijn in de geologische formaties van (1) Peize/Waalre, (2) Maassluis en (3) Oosterhout en (4) Breda. De ligging van deze formaties is te zien in de dwarsdoorsnede (Figuur 5.2). In de dwarsdoorsnede is duidelijke trend zichtbaar: naar het zuiden komen de formaties ondieper te liggen en nemen ze in dikte af.

In onderstaande sectie zijn de formaties algemeen beschreven. In sectie 0 zijn de formaties per warmtecluster verder uitgewerkt en zijn de relevante bodemparameters beschreven.

Formatie van Peize/Waalre

Over het gehele studiegebied komt de Formatie van Peize/Waalre voor. De formatie bestaat hier uit vrijwel één dik pakket van circa 100 m zand, waarbij de dikte afneemt naar het zuiden. Het zand is matig grof tot grof met een hoge doorlatendheid van circa 40 m/d. Een afsluitende kleilaag aan de bovenkant van de formatie ontbreekt veelal in het studiegebied. Daar waar het Laagpakket van Gieten aanwezig is in de ondergrond is wel een dunne kleilaag aanwezig. De verbreiding van deze kleilaag is beperkt tot Bunschoten en delen van Baarn.

Formatie van Maassluis

Binnen de Formatie van Maassluis zijn twee zandlagen die mogelijk potentie bieden voor HTO, hierna aangeduid met Maassluis A en B. De formatie van Maassluis is sterk heterogeen. Dit betekent dat de bodemopbouw varieert op korte afstanden. Zowel de dikte als de diepte van de zandlagen verschillen daardoor sterk binnen het studiegebied.

Maassluis A betreft een pakket van circa 5 - 30 m zand afgedekt door een kleilaag van ongeveer 10 m dik. Het zand is overwegend fijn tot matig grof en heeft een geschatte doorlatendheid van 10 tot 25 m/d.

In het diepere deel van de formatie van Maassluis bevindt zich waarschijnlijk een tweede zandlaag: Maassluis B. Ook voor deze laag wordt een dikte van 5 - 30 m verwacht, met daarboven een kleilaag van circa 5 - 10 m. Het zand in deze laag is eveneens fijn tot matig grof. Naar verwachting is de doorlatendheid van dit pakket lager: circa 5 - 10 m/d door een hoger gehalte aan klei en leem.

Formatie van Oosterhout

Binnen de Formatie van Oosterhout lijkt één opslagpakket aanwezig dat potentie biedt voor HTO. De dikte van dit pakket varieert grofweg tussen 15 en 50 m, waarbij de dikte afneemt naar het zuiden. Het betreft fijn tot matig grof zand met een geschatte doorlatendheid tussen 5 en 10 m/d. Aan de bovenzijde bevindt zich waarschijnlijk een kleilaag van circa 5 m dik. Het onderste deel van de Formatie van Oosterhout heeft naar verwachting een te lage doorlatendheid voor de toepassing van HTO.

Formatie van Breda

In het zuidelijk deel van het studiegebied komt naar verwachting binnen de Formatie van Breda een zandpakket voor. Dit pakket is mogelijk geschikt voor HTO. Het betreft een pakket van maximaal 40 m dik, waarbij de dikte afneemt richting het noorden. Het pakket bestaat naar verwachting uit fijn zand met een geschatte doorlatendheid tussen 3 en 5 m/d. Boven het pakket is

mogelijk een kleilaag aanwezig. Zowel de dikte als aanwezigheid van deze kleilaag is echter onzeker vanwege een gebrek aan data.

Zandlagen met weinig potentie voor HTO

De zandlagen tussen 5 en 60 m-mv worden niet meegenomen in de beoordeling omdat op voorhand de verwachting is dat deze weinig potentie voor HTO bieden: deze lagen liggen te ondiep en zijn gevoelig voor lage rendementen door het zeer grove zand en de grote dikte.

5.3 JURIDISCHE RISICO'S

De juridische risico's zijn per warmtecluster verwerkt in Tabel 5.2 t/m Tabel 6. De score is hieronder nader toegelicht.

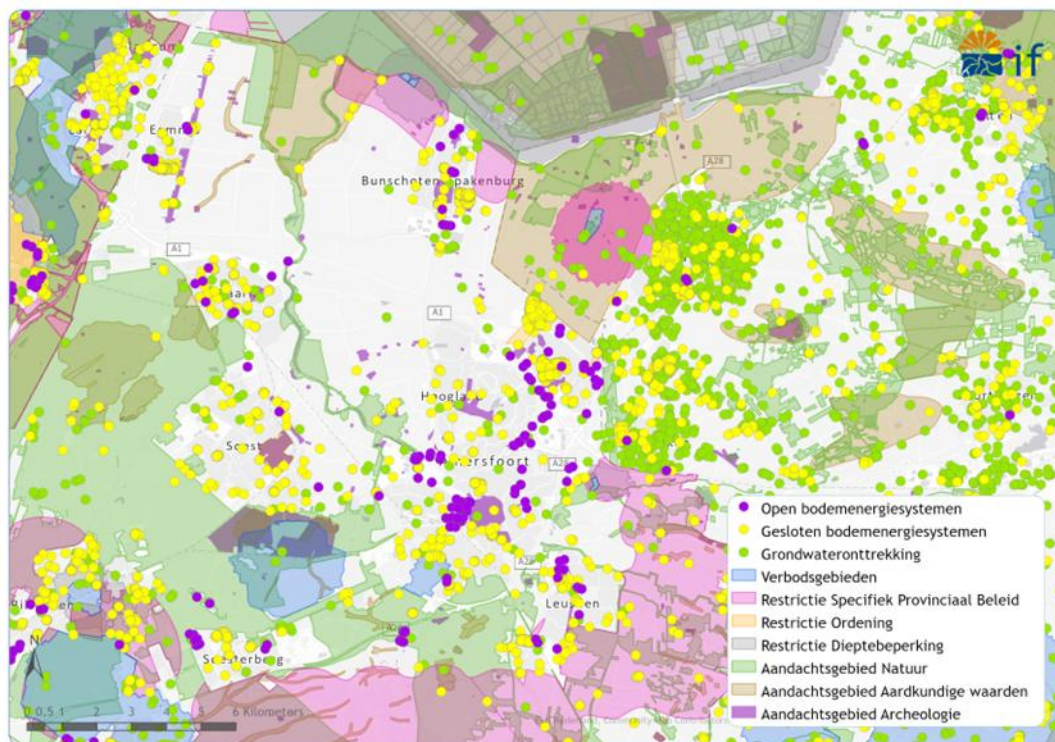
Zoet en zout grondwater

De overgang van zoet naar zout grondwater varieert binnen het gebied met de warmteclusters tussen een diepte van ca. 120 - 230 m, en bevindt zich in de formatie van Peize/Waalre of Maassluis. Dat betekent dat het grondwater in de formatie van Peize/Waalre en Maassluis zowel zoet als zout kan zijn, en in de formatie van Oosterhout zout. Met name het vermengen van zoet en zout grondwater is niet toegestaan en dat betekent een aandachtspunt voor de (juridische) potentie voor HTO in de formatie van Peize/Waalre of Maassluis, afhankelijk van de locatie van het warmtecluster.

Restrictie-gebieden en omgevingsbelangen

Op basis van beschikbare informatie uit de WKO-tool (www.wkotool.nl) is hieronder weergegeven welke restrictiegebieden en omgevingsbelangen aanwezig zijn op de projectlocatie. Er wordt opgemerkt dat dit overzicht in deze Quickscan onvolledig kan zijn en dat navraag bij het bevoegd gezag moet worden gedaan om een volledig beeld te ontvangen van het heersende beleid en de aanwezige omgevingsbelangen.

De WKO-tool (wkotool.nl) laat gebieden zien waar specifieke bescherming voor geldt vanuit het oogpunt van drinkwaterbescherming, natuur, ruimtelijke ordening en andere grondwaterbelangen zoals andere open bodemenergiesystemen. Zie Figuur 5.2.



Figuur 5.2. Inventarisatie van de omgevingsbelangen binnen en in de omgeving van de warmteclusters (bron: WKO-tool).

Uit de WKOtool (wkotool.nl) blijkt dat er binnen elk warmtecluster gebieden zijn waar op basis van de omgevingsbelangen HTO vergunbaar is. Hieronder zijn per warmtecluster de belangrijkste juridische risico's beschreven.

Bunschoten

Binnen het stedelijk gebied van Bunschoten gelden geen beperkingen voor bodemenergie, zoals boringsvrije zones, grondwaterbeschermingsgebieden of aandachtsgebieden voor aardkundige waarden. Dit betekent dat er volgens de huidige regelgeving ruimte is voor toepassing van HTO. Wel bevindt zich in het centrum een zone met hoge archeologische waarde, en direct ten noorden van Bunschoten ligt een aandachtsgebied voor natuurwaarden. Omdat een HTO-systeem slechts beperkt invloed mag hebben op de grondwaterstand in dit natuurgebied, vormt dit een aandachtspunt, maar is geen showstopper. Daarnaast zijn er meerdere vergunde bodemenergiesystemen en grondwateronttrekkingen aanwezig binnen het stedelijk gebied, die niet negatief beïnvloed mogen worden. Ten westen en oosten van Bunschoten liggen strategische grondwatervoorraden, waar HTO niet is toegestaan in de formaties Peize/Waalre, Maassluis en Oosterhout. Bovendien bevindt zich ten westen een verbodsgebied rond de drinkwaterwinning Eempolder, waar realisatie van HTO uitgesloten is.

Baarn

In Baarn zijn binnen het stedelijk gebied geen restricties voor bodemenergie, zoals boringsvrije zones, grondwaterbeschermingsgebieden of aardkundige aandachtsgebieden. Dit biedt volgens de geldende regelgeving mogelijkheden voor HTO. Rond de historische kern ligt een zone met hoge archeologische waarde. Het westen en oosten grenzen direct aan aandachtsgebieden voor natuurwaarden, waar een HTO-systeem slechts beperkt invloed mag hebben op de

grondwaterstand. In het westen komen bovendien gebieden met aardkundige waarden voor, waarvoor nader onderzoek nodig is om te bepalen of HTO hier kan worden toegepast. Binnen het stedelijk gebied zijn meerdere vergunde bodemenergiesystemen en grondwateronttrekkingen aanwezig, die niet negatief beïnvloed mogen worden.

Soest

Binnen het stedelijk gebied van Soest gelden geen beperkingen zoals boringsvrije zones of grondwaterbeschermingsgebieden, waardoor HTO hier volgens de huidige regelgeving mogelijk is. Rond de Molenweg bevindt zich echter een zone met aardkundige waarden en een hoge archeologische verwachting. Voor deze locatie is nader onderzoek vereist om te beoordelen of HTO hier kan worden gerealiseerd. Soest wordt omringd door aandachtsgebieden voor natuurwaarden, waar invloed op de grondwaterstand beperkt moet blijven. Daarnaast liggen er enkele zones met aardkundige waarden en hoge archeologische verwachting rondom Soest. Ten zuiden van Soest ligt de beschermingszone van de drinkwaterwinning Soestduinen, waar HTO niet is toegestaan. Daarnaast zijn er binnen het stedelijk gebied meerdere vergunde bodemenergiesystemen en grondwateronttrekkingen die niet negatief beïnvloed mogen worden.

Amersfoort

In Amersfoort zijn binnen het stedelijk gebied geen restricties zoals boringsvrije zones of grondwaterbeschermingsgebieden, waardoor HTO hier volgens de geldende regelgeving mogelijk is. In het centrum bevindt zich een zone met hoge archeologische verwachting, waarvoor nader onderzoek nodig is om te bepalen of HTO kan worden toegepast. Aan de stadsranden liggen diverse aandachtsgebieden voor natuurwaarden, waar invloed op de grondwaterstand beperkt moet blijven. In het zuidwesten van Amersfoort ligt de beschermingszone van de drinkwaterwinning Amersfoort-Berg, waar HTO niet is toegestaan. Binnen het stedelijk gebied zijn bovendien meerdere vergunde bodemenergiesystemen en grondwateronttrekkingen aanwezig die niet negatief beïnvloed mogen worden.

Leusden

Binnen het stedelijk gebied van Leusden gelden geen beperkingen zoals boringsvrije zones of grondwaterbeschermingsgebieden, waardoor HTO hier volgens de huidige regelgeving mogelijk is. Langs de Hamersveldseweg bevindt zich een zone met hoge archeologische verwachting. Aan de stadsranden liggen meerdere aandachtsgebieden voor natuurwaarden, waar invloed op de grondwaterstand beperkt moet blijven. Langs de oostelijke en zuidelijke grenzen van Leusden liggen strategische grondwatervoorraden, waar HTO niet is toegestaan in de formaties Peize/Waalre, Maassluis en Oosterhout. Binnen het stedelijk gebied zijn daarnaast meerdere vergunde bodemenergiesystemen en grondwateronttrekkingen aanwezig die niet negatief beïnvloed mogen worden.

Woudenberg

In Woudenberg gelden binnen het stedelijk gebied geen restricties zoals boringsvrije zones of grondwaterbeschermingsgebieden, waardoor HTO hier volgens de geldende regelgeving mogelijk is. In het centrum en ten noorden van Woudenberg bevinden zich zones met hoge archeologische verwachting. Ten noorden van Woudenberg liggen enkele aandachtsgebieden voor natuurwaarden, waar invloed op de grondwaterstand beperkt moet blijven. Ten westen van het stedelijk gebied van Woudenberg ligt een gebied met strategische grondwatervoorraden, waar HTO niet is toegestaan in de formaties Peize/Waalre, Maassluis en Oosterhout. Ten oosten van Woudenberg geldt een diepterestrictie van maximaal 10 m-mv rond de drinkwaterwinning Woudenberg, waardoor HTO

niet mogelijk is. Binnen het stedelijk gebied zijn enkele vergunde bodemenergiesystemen en grondwateronttrekkingen aanwezig die niet negatief beïnvloed mogen worden.

Resultaten uitgevoerde quickscans

De beoordeling van de bodemgeschiktheid en juridische aandachtspunten zijn beschreven in onderliggende paragrafen en samengevat in Tabel 5.2 tot en met Tabel 6.

5.4 RESULTATEN HAALBAARHEID WARMTEOPSLAG PER WARMTECLUSTER

Per warmtecluster is een quickscan uitgevoerd voor de haalbaarheid van HTO. Hierbij zijn Amersfoort en Leusden samen genomen omdat de bodem op deze locaties vergelijkbaar is. De quickscans zijn uitgevoerd op basis van putdata, indien beschikbaar, en het REGIS v2.2-model. De quickscans is uitgevoerd voor de bebouwde kom.

5.4.1 Warmtecluster Bunschoten

Tabel 5.22 | Resultaten van de Quickscan-beoordeling van de bodemgeschiktheid en juridische haalbaarheid. Groen: kansrijk, oranje: aandachtspunt, rood: showstopper.

	Peize/Waalre	Maassluis	Oosterhout
Bodemgeschiktheid			
Diepte opslagpakket	50 m-mv	220 m-mv	280 m-mv
Dikte opslagpakket	130 m	50 m	50 m
Lithologie opslagpakket	zand	zand met lokaal veel kleilagen en enkele schelpenbanken	zand
Horizontale doorlatendheid (K_h)	40 m/d	15 m/d (10 - 25)	5 - 10 m/d
Dikte afsluitende kleilaag bovenkant	ca. 7 m	5 - 10 m	ca. 5 m
Grondwaterstroming	10 m/jaar	< 5 m/jaar	< 5 m/jaar
Juridische haalbaarheid			
Kwaliteit grondwater in opslagpakket	zoet/zout	zout	zout
Restrictie-regels in de kern van Bunschoten	Niet gelegen in restrictiegebieden. Het centrum van Bunschoten heeft een zone met hoge archeologische verwachting.		
Locatie t.o.v. bestaande restrictiegebieden	Direct ten noorden van Spakenburg zijn aandachtsgebieden voor natuur aanwezig. Ten westen van Bunschoten is een drinkwaterbeschermingszone aanwezig. Ten westen en ten oosten van Bunschoten zijn strategische grondwatervoorraden aanwezig.		
Nabijheid bestaande grondwatergebruikers op beoogde opslagdiepte	Drinkwaterwinning Eempolder ten westen van Bunschoten wint water uit de Formatie van Peize/Waalre. Open bodemenergiesystemen binnen Bunschoten onttrekken en infiltreren water uit en in de Formatie van Peize/Waalre.		

5.4.2 Warmtecluster Baarn

Tabel 3 | Resultaten van de Quickscan-beoordeling van de bodemgeschiktheid en juridische haalbaarheid. Groen: kansrijk, oranje: aandachtspunt, rood: showstopper.

	Peize/Waalre	Maassluis A	Maassluis B	Oosterhout
Bodemgeschiktheid				
Diepte opslagpakket	60 m-mv	185 m-mv	230 m-mv	260 m-mv
Dikte opslagpakket	90 m	25 - 30 m	20 - 30 m	50 m
Lithologie opslagpakket	zand	zand met lokaal veel kleilagen	zand met lokaal veel kleilagen	zand
Horizontale doorlatendheid (K_h)	40 m/d	10 - 25 m/d	5 - 10 m/d	5 - 10 m/d
Dikte afsluitende kleilaag bovenkant	Afwezig. Alleen lokaal kleilagen aanwezig	Circa 10 - 15 m. Lokaal erg wisselend	5 - 10 m. Lokaal erg wisselend	Circa 5 m. Lokaal erg wisselend
Grondwaterstroming	15 m/jaar	< 5 m/jaar	< 5 m/jaar	< 5 m/jaar
Juridische haalbaarheid				
Kwaliteit grondwater in opslagpakket	zoet	zoet/zout	zoet/zout	zout
Restrictie-regels in de kern van Baarn	Niet gelegen in restrictiegebieden. Het centrum van Baarn heeft een zone met hoge archeologische verwachting.			
Locatie t.o.v. bestaande restrictiegebieden	Direct ten oosten en westen van Baarn zijn aandachtsgebieden voor natuur aanwezig. Ten westen van Baarn is een aandachtsgebied aardkundige waarden aanwezig.			
Nabijheid bestaande grondwatergebruikers op beoogde opslagdiepte	Geen grondwatergebruikers nabij de projectlocatie			

5.4.3 Warmtecluster Soest

Tabel 4 | Resultaten van de Quickscan-beoordeling van de bodemgeschiktheid en juridische haalbaarheid. Groen: kansrijk, oranje: aandachtspunt, rood: showstopper.

	Peize/Waalre	Maassluis A	Maassluis B	Oosterhout
Bodemgeschiktheid				
Diepte opslagpakket	60 m-mv	175 m-mv	200 m-mv	225 m-mv
Dikte opslagpakket	85 m	20 m	10 - 15 m	60 m
Lithologie opslagpakket	Zand	zand met lokaal veel kleilagen	zand met lokaal veel kleilagen	zand
Horizontale doorlatendheid (K_h)	40 m/d	15 m/d (10 - 25)	5 - 10 m/d	5 - 10 m/d
Dikte afsluitende kleilaag bovenkant	Afwezig	Circa 10 m. Lokaal erg wisselend	5 - 10 m	Circa 5 m. Lokaal erg wisselend
Grondwaterstroming	15 m/jaar	< 5 m/jaar	< 5 m/jaar	< 5 m/jaar

Juridische haalbaarheid				
Kwaliteit grondwater in opslagpakket	zoet	zoet	zoet	zoet/zout
Restrictie-regels in de kern van Soest	Rondom de molenweg, in het oosten van Soest is een gebied met archeologische en aardkundige waarden. Geen verdere restrictiegebieden in de kern van Soest			
Locatie t.o.v. bestaande restrictiegebieden	Ten zuiden van Soest is een drinkwaterbeschermingszone aanwezig. Rondom Soest zijn natuurgebieden aanwezig. Daarnaast zijn er enkele gebieden van aardkundige waarde rondom Soest aanwezig en enkele gebieden met een hoge archeologische verwachting.			
Nabijheid bestaande grondwatergebruikers op beoogde opslagdiepte	Geen grondwatergebruikers nabij de projectlocatie			

5.4.4 Warmteclusters Amersfoort en Leusden

Tabel 5 | Resultaten van de Quickscan-beoordeling van de bodemgeschiktheid en juridische haalbaarheid. Groen: kansrijk, oranje: aandachtspunt, rood: showstopper.

	Peize/Waalre	Maassluis A	Maassluis B	Oosterhout	Breda
Bodemgeschiktheid					
Diepte opslagpakket	60 m-mv	160 m-mv	200 m-mv	220 m-mv	260 - 290 m-mv
Dikte opslagpakket	70 m	10 - 20 m	30 m	20 - 40 m	15 - 50 m
Lithologie opslagpakket	zand en enkele lokale lemlagen	zand met lokaal veel kleilagen en schelpenbanken	zand met lokaal enkele kleilagen en schelpenbanken	zand met schelpenbanken	zand
Horizontale doorlatendheid (K_h)	40 m/d	15 m/d (10 - 25)	5 - 10 m/d	5 - 10 m/d	0 - 1,5 m/d
Dikte afsluitende kleilaag bovenkant	Afwezig	5 m	1 - 3 m	0 - 3 m	ca. 20 m
Grondwaterstroming	20 m/jaar	< 5 m/jaar	< 5 m/jaar	< 5 m/jaar	< 5 m/jaar
Juridische haalbaarheid					
Kwaliteit grondwater in opslagpakket	zoet/zout	zout	zout	zout	zout
Restrictie-regels in de kern van Amersfoort en Leusden	Niet gelegen in restrictiegebieden. In het centrum van Amersfoort en meerdere kleine gebieden binnen de stad bevinden zich zones met hoge archeologische verwachting. Rond de Hamersveldseweg in Leusden bevindt zich ook zone met hoge archeologische verwachting. Er zijn meerdere aandachtsgebieden van natuur aanwezig rond Amersfoort en Leusden.				
Locatie t.o.v. bestaande restrictiegebieden	Ten oosten van Leusden bevindt zich een strategische grondwatervoorraad.				

Nabijheid bestaande grondwatergebruikers op beoogde opslagdiepte	De drinkwaterwinning Amersfoort-Berg wint water uit het freatische eerste watervoerende pakket. Dit pakket bestaat uit gestuwde afzettingen en ligt boven de Formatie Peize/Waalre.
--	---

5.4.5 Warmtecluster Woudenberg

Tabel 6 | Resultaten van de Quickscan-beoordeling van de bodemgeschiktheid en juridische haalbaarheid. Groen: kansrijk, oranje: aandachtspunt, rood: showstopper.

	Peize/Waalre	Maassluis A	Maassluis B	Oosterhout	Breda
Bodemgeschiktheid					
Diepte opslagpakket	50 m-mv	130 m-mv	150 m-mv	180 m-mv	225
Dikte opslagpakket	80 m	10 m	30 m	10 - 15 m	40 m
Lithologie opslagpakket	zand	zand met lokaal veel kleilagen en schelpenbanken	zand met lokaal veel kleilagen en schelpenbanken	zand met lokaal kleilagen en schelpenbanken.	zand
Horizontale doorlatendheid (K_h)	40 m/d	15 m/d (10 - 25)	Circa 10 m/d	5 - 10 m/d	0 - 1,5 m/d
Dikte afsluitende kleilaag bovenkant	Afwezig	Circa 5 - 10 m	Circa 5 - 10 m	Afwezig	Ca. 0 - 20 m
Grondwaterstroming	20 - 25 m/jaar	<5 m/jaar	< 5 m/jaar	< 5 m/jaar	< 5 m/jaar
Juridische haalbaarheid					
Kwaliteit grondwater in opslagpakket	zoet	zoet/zout	zoet/zout	zout	zout
Restrictie-regels in de kern van Woudenberg	In het westen van Woudenberg is een aandachtsgebied archeologie aanwezig.				
Locatie t.o.v. bestaande restrictiegebieden	Direct ten oosten van Woudenberg is een drinkwaterwinning aanwezig met daarom een restrictiegebied. Daarnaast is het gebied direct rondom Woudenberg aangewezen als strategische grondwatervoorraad. Ook zijn er enkele natuurgebieden en aandachtsgebieden archeologie direct ten noorden van Woudenberg.				
Nabijheid bestaande grondwatergebruikers op beoogde opslagdiepte	Drinkwaterwinning Woudenberg wint water uit de Formatie van Peize/Waalre				

5.5 POTENTIE HTO

Op basis van de gegevens uit tabellen van paragraaf 5.4 zijn indicatieve berekeningen uitgevoerd om de potentie van HTO op een bepaalde locatie te bepalen. De potentie wordt ingeschat door op basis van de eigenschappen van de meeste geschikte laag (bodemgeschiktheid en juridisch) het

debiet per put in te schatten en een inschatting te maken van het opslagrendement van deze laag⁷. Het debiet wordt bepaald aan de hand van ontwerpnormen die zijn opgesteld voor WKO-systemen (BRL11000), waarbij een correctie wordt toegepast op de viscositeit. Voor de lauwe bronnen wordt een temperatuur van 25 °C aangehouden en voor de warme bronnen de temperatuur die door de geothermie op de locatie geleverd kan worden. De pakketkeuze is gemaakt door te bepalen welk pakket het meest geschikt is qua doorlatendheid en dikte. Bij een gelijke geschiktheid van verschillende pakketten, is vanuit kostenoverweging het meest ondiepe pakket gekozen.

Bij de berekende rendementen moet opgemerkt worden dat ze slechts indicatief zijn. Het werkelijke rendement hangt af van factoren zoals het systeemconcept, bronconfiguratie en afkaptemperatuur. Bij een geoptimaliseerd systeem kan het rendement significant hoger zijn dan in de tabel gepresenteerd.

Tabel 5.7 | Potentie HTO.

Locatie	Pakket (k [m/d], H [m])	Doorlatendheid k [m/d]	Dikte [m]	T-injectie [°C]	Debiet [m³/h]	indicatief opslagrendement [%]
Bunschoten	Maassluis (15 , 50)	15	50	65	170	65
Baarn	Maassluis A (15, 30)	15	30	70	100	64
Soest	Maassluis A (15, 20)	15	20	70	70	63
Amersfoort	Maassluis B (10, 30)	10	30	65	80	65
Leusden	Maassluis B (10, 30)	10	30	45	65	60
Woudenberg	Maassluis B (10, 30)	10	30	50	70	62

5.6

CONCLUSIE

Binnen ieder warmtecluster lijkt er een mogelijkheid om HTO toe te passen op basis van de bodemopbouw en de omgevingsbelangen. In de Formatie van Peize/Waalre is bij alle warmteclusters met uitzondering van Bunschoten de afsluitende kleilaag te dun/afwezig om een HTO-systeem te realiseren. De Formatie Maassluis is mogelijk geschikt in alle warmteclusters voor de toepassing van HTO. Wel varieert de dikte van de afsluitende laag, waardoor deze op sommige locaties mogelijk te dun is. De heterogeniteit van het pakket en de beperkte data over de Formatie van Maassluis zorgen voor een onzekerheid in de haalbaarheid van HTO. Daarnaast is een belangrijk aandachtspunt de aanwezigheid van de zoet/zoutovergang in de Formatie van Maassluis bij de meeste warmteclusters. De afsluitende kleilaag boven de Formatie van Oosterhout is bij de meeste warmteclusters te dun of afwezig om een HTO-systeem te realiseren. Vanwege gebrek aan boringen met gegevens over de Formatie van Oosterhout is er een zeer grote onzekerheid in de haalbaarheid van een HTO-systeem in deze formatie. De realisatie van een HTO-systeem lijkt in de Formatie van Breda niet mogelijk vanwege de lage doorlatendheid.

⁷ Analysis of recovery efficiency in high-temperature aquifer thermal energy storage: a Rayleigh-based method, Hydrogeology Journal (2014) 22: 281-291, Schout, et al.

6 Bijlages

Als toevoeging voor dit hoofdrapport zijn er ook twee bijlages geschreven. Deze bijlages geven verdiepende informatie over: 1) de regionale geologische geschiedenis en de verschillende aardlagen en 2) de gebruikte gegevens, gemaakte interpretaties en de opschaling van de resultaten. Deze bijlages kunnen op zichzelf worden gelezen maar dienen hoofdzakelijk als naslagwerk.

6.1 BIJLAGE 1: GEOLOGISCHE SETTING EN BESCHRIJVING VAN MOGELIJKE RESERVOIRS

In deze bijlage geven we een uitgebreide beschrijving van de regionale geologische geschiedenis en belangrijke geologische processen die in en rondom de deelnemende gemeentes hebben plaatsgevonden. Ook wordt er in deze bijlage we een uitgebreide inventarisatie van de verschillende aardlagen in het studiegebied toegelicht. Deze bijlage kan op zichzelf worden gelezen en dient als achtergrond informatie voor het hoofddocument. De bestuurd gemeentes worden in dit document ter versimpeling vaak projectlocatie of studiegebied genoemd.

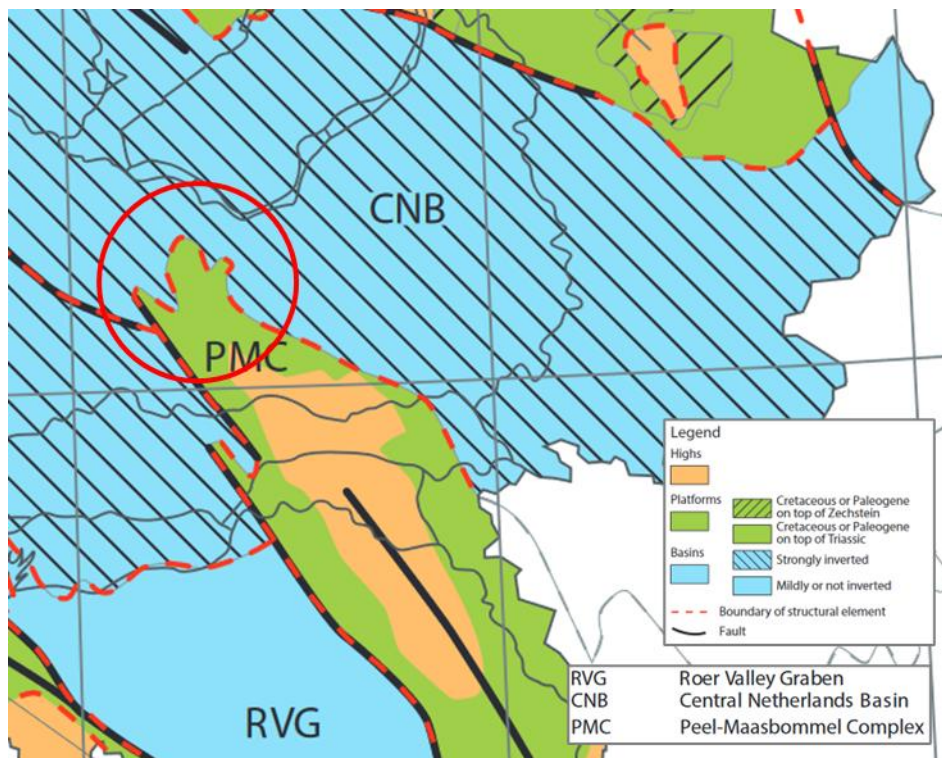
6.1.1 Regionale geologie

Algemene geologische geschiedenis

Om een volledig beeld te krijgen van de geothermische potentie in het onderzoeksgebied is het belangrijk om inzicht te krijgen in de geologische opbouw en geschiedenis. Hiermee kan een eerste beeld gevormd worden welke geologische formaties aanwezig zijn en welke laagpakketten geschikt kunnen zijn voor geothermie.

Gedurende miljoenen jaren heeft Nederland zich voornamelijk in een 'laagland' bevonden. Dit betekent dat er gedurende al die jaren metersdikke sedimenten zijn afgezet. Deze sedimenten bestaan uit met name zand en klei, en in mindere mate uit kalkafzettingen (carbonaatgesteenten) en evaporieten (zoals zout). Door begraving zijn deze sedimenten verandert in vast gesteente. Het bovenste deel van de Nederlandse ondergrond bestaat hoofdzakelijk uit meer dan 10 kilometer sediment⁸. Deze sedimenten zijn door gebergtevorming of juist bekkenvorming omhoog of omlaag bewogen. Dit resulteerde in de vorming van zogenoemde structurele hogen en bekkens. Doordat perioden van gebergtevorming en bekkenvorming elkaar afwisselden, zijn sommige bekkens omhoog gekomen (geïnverteerd). Hierdoor hebben bepaalde bekkens gesteente-eigenschappen die specifiek zijn voor hun diepteligging (Figuur 6.1).

⁸ De Jager, 2007: Geology of the Netherlands, chapter: Geological Development 2017



Figuur 6.1 | Structuurkaart van noordwest Nederland tijdens het Laat Jura - Vroeg Krijt⁹. De projectlocatie bevindt zich in de rode cirkel. De verschillende kleuren en arceringen reflecteren de verschillen in geologische processen zoals gebergtevorming, bekkenvorming of inversie die de verschillende structuren hebben doorgeemaakt. De belangrijkste structurele hoges (highs), platformen (platforms) en bekken (basins) zichtbaar op deze kaart zijn: RVG - Roerdaalslenk, CNB - Centraal Nederland Bekken en PMC - Peel-Maasbommel Complex.

Structurele elementen

Het studiegebied bevindt zich op de transitie zone tussen het Centraal Nederland Bekken (CNB) en het Peel-Maasbommel Complex (PMC), zie ook Figuur 6.1. Beide gebieden hebben een eigen geologische geschiedenis meegemaakt, dit resulteert in verschillende gesteentekkenmerken.

Centraal Nederland Bekken (CNB)

Het Centraal Nederland Bekken wordt gekenmerkt door dikke pakketten uit de geologische tijdperken Trias en Jura. Het gebied heeft door compressie als gevolg van de vorming van de Alpen (Laat Krijt) inversie meegemaakt. Hierdoor ontbreken op veel plekken de sedimenten uit het Krijt, deze zijn namelijk door de hoogteligging niet afgezet of geërodeerd. Ook heeft deze inversie invloed gehad op eigenschappen van de afzettingen: doordat deze dieper hebben gelegen dan ze nu liggen kunnen eigenschappen zoals de doorlatendheid afwijken van wat er voor de huidige diepte verwacht wordt. Na de inversie in het Laat-Krijt zijn in het Kenozoïcum, tijdens een periode van algemene bodemdaling, sedimenten van zand en klei afgezet op de toenmalige topografie.

Peel-Maasbommel Complex (PMC)

⁹ Kombrink et al., 2012: New insights into the geological structure of the Netherlands; results of a detailed mapping project, 2012, Netherlands Journal of Geosciences

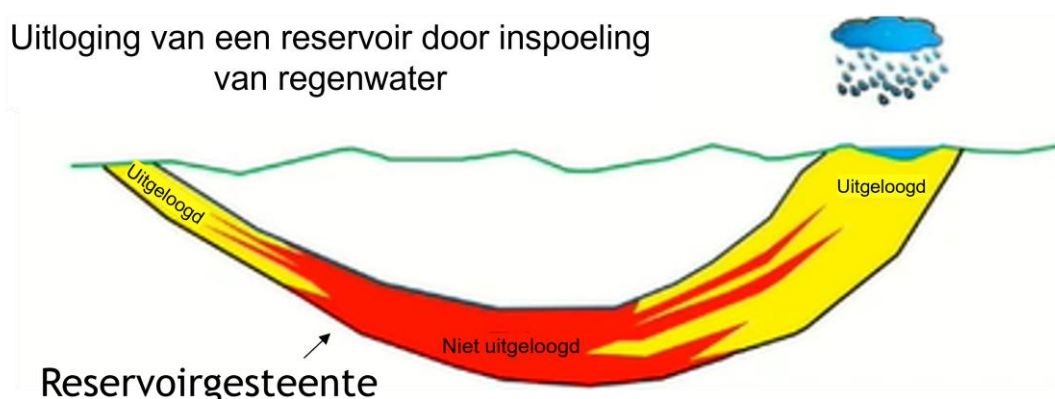
De Het Peel-Maasbommel Complex (PMC) bevindt zich direct ten zuiden van het CNB (Figuur 6.1). Het bestaat uit een combinatie van meerdere NW-ZO georiënteerde breukblokken. Ten tijde van het Laat-Jura tot het Vroeg-Krijt is het PMC omhoog bewogen, waardoor afzettingen uit het Perm tot en met het Jura geërodeerd zijn. Deze tektonische fase heeft voortgeduurd tot de vorming van de Alpen in het Krijt. In tegenstelling tot het CNB zorgde dit in het PMC juist voor daling, waardoor er op het PMC wel ruimte kwam voor afzettingen van het Krijt. Nadat het Krijt was afgezet, zijn er ook hier sedimenten van zand en klei uit het Kenozoïcum afgezet.

Kans op uitloging voor reservoirgesteente nabij het PMC en op andere platform elementen

Afhankelijk van de geologische situatie kan reservoirgesteente verschillende processen hebben meegemaakt gedurende de miljoenen jaren vanaf afzetting tot nu. Normaal gesproken wordt een reservoirgesteente afgezet en vervolgens dieper en dieper begraven onder nieuwe sedimenten. Over het algemeen geldt voor zo'n situatie, hoe dieper het reservoir is begraven, hoe slechter de reservoirkwaliteit.

Echter, tijdens gebergtevorming kan het voorkomen dat dat (diep) begraven reservoirgesteente terug naar het oppervlak wordt geduwd. Eenmaal aan het oppervlak kan doormiddel van inspoeling van regenwater het reservoir worden uitgeloozd, een proces waarbij (klei)mineralen oplossen en mogelijk de reservoirkwaliteit sterk wordt verbeterd (Figuur 6.2). Dit proces heet uitloging.

Uitloging van een reservoir door inspoeling van regenwater



Figuur 6.2 | Conceptdoorsnede van een reservoir die ten delen aan het oppervlak ligt waardoor die deels wordt uitgeloozd door de inspoeling van regenwater. Het figuur is aangepast naar een presentatie uit de week van de aardwarmte van EBN, gehouden in 2021.

Tijdens het Krijt heeft in de gebieden rondom het PMC mogelijk uitloging plaatsgevonden van reservoirgesteentes uit het Perm en Trias. Hierdoor is de reservoirkwaliteit van deze gesteentes mogelijk sterk verbeterd. Dit is ook terug te zien in de relatief goede eigenschappen van het Trias en het Slochteren in verschillende SCAN-boringen (e.g. EDE-01, BLT-01 en AMS-01). Het uitzoeken waar deze uitloging heeft plaatsgevonden en welke gebieden dit tot positieve effecten heeft geleid is onderdeel geweest van deze studie en zit ook verwerkt in de uiteindelijke kaarten.

6.1.2 Selectie van mogelijk geschikte aardlagen

Voor de winning van warm water is een gesteentepakket met een hoge permeabiliteit (doorlaatbaarheid) en een hoge porositeit nodig. Dit wordt een aquifer of reservoirgesteente genoemd. In de Nederlandse praktijk zijn dit ideaal gezien goed gesorteerde grofkorrelige zandstenen. Over het algemeen geldt: hoe (grof) zandiger een laag is, hoe hoger de porositeit en permeabiliteit zijn. Daarnaast wordt ook gekeken naar de temperatuur en de netto dikte (het bruikbare deel van een laag). Hoe hoger de temperatuur is, hoe hoger de geothermische potentie. De dikte van een laag is relevant omdat het slagen van een project voor een groot deel afhangt van de hoeveelheid water die opgepompt kan worden.

In onderstaande paragrafen wordt per geologisch tijdvak in meer detail gekeken welke gesteentelagen, ook wel “formaties” of “laagpakketten” genoemd, kunnen dienen als een reservoirgesteente voor geothermie.

Kenoziöcum

De afzettingen uit het Kenoziöcum zijn hoofdzakelijk zand-, klei- en siltstenen. In het studiegebied bevinden zich meerdere zandige laagpakketten die mogelijk interessant zijn. Op basis van bestaande modellen lijkt het Formatie van Breda interessant als reservoir voor ondiepe geothermie (lage temperatuur) delen van het studiegebied en verder naar het noorden en noordoosten. Andere lagen liggen te ondiep (Peize-Waalre, Maassluis en Oosterhout) of zijn waarschijnlijk te dun / niet aanwezig of zijn onvoldoende doorlatend (Voort, Berg, Zand van Brussel en Orp).



Potentieel reservoir	Eigenschappen	Opmerkingen
Peize-Waalre, Maassluis en Oosterhout	<p>Peize-waalre: Zeer doorlatend (> 50 m/d) en ± 75 meter dik. Ligt echter veel te ondiep voor de toepassingen van ondiepe geothermie (basis < 160 m-mv).</p> <p>Maassluis: Redelijk tot goed doorlatend (5 - 25 m/d) en ongeveer 30 meter dik. Ligt echter veel te ondiep voor de toepassingen van ondiepe geothermie (basis < 215 m-mv).</p> <p>Oosterhout: Redelijk doorlatend (voldoende voor geothermie) (5-10 m/d) en ongeveer 30 meter dik. Ligt echter veel te ondiep voor de toepassingen van ondiepe geothermie (basis < 300 m-mv).</p>	Eerste inschattingen op basis van het REGIS II V2.2.3 model ¹⁰
Formatie van Breda	<p>Formatie van Breda: Uitvoerig geanalyseerd door TNO (o.a. Freek Smit 2022). Mogelijk bestaand uit (zeer / matig) fijn zand. Er bestaan putten met voldoende data. Doorlatendheid ligt mogelijk rond de 1000 mD (Smit 2022). Kan op plekken zeer dik zijn > 500 m. De top ligt rond de 400 meter. Richting het westen wordt de Formatie van Breda echter iets kleiiger en minder doorlatend (zie NDN-120, AMS-01, BLT-01, WRV-01).</p>	Eerste inschattingen op basis van modellen van TNO en masterstudie van Freek Smit (2022) ¹¹ .

¹⁰ REGIS II V 2.2.3: <https://www.dinoloket.nl/ondergrondmodellen/kaart>

¹¹ Masterstudie Freek Smit (TUDelft & TNO) (2022): <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A416ab31c-99e0-4119-9b1e-c8143f9a4eb3>

Zandige delen binnen de Formatie van Breda zijn in delen van het onderzoeksgebied mogelijk geschikt voor OGT (o.b.v. conclusies van TNO).

Laagpakket van Voort, Laagpakket van Berg, Zand van Brussel en Laagpakket van Orp	Laagpakket van Voort: Mogelijk aanwezig in het studiegebied (tot 40 meter bij VHZ-01). Diepte tussen 600 - 1200 mTVD. Waarschijnlijk klei en slecht doorlatend (< 100 mD) (VHZ-01 en ThermoGIS). Reservoirkwaliteit waarschijnlijk onvoldoende voor de toepassing van OGT.	Eerste inschattingen gemaakt op basis van ThermoGIS ¹² en originele composite well logs van lokale putten
	Laagpakket van Berg: Aanwezig in het studiegebied. Diepte tussen 600 - 1200 meter. Dikte tussen 0 - 45 m. Doorlatendheid geschat tussen 100 - 300 mD (zeer onzeker). In VHZ-01 en BNV-01-S1 bestaat dit pakket uit klei/silt/mergel. Reservoirkwaliteit en dikte hoogstwaarschijnlijk onvoldoende voor OGT.	
	Zand van Brussel: Ten NO van het studiegebied aanwezig. Diepte tussen 800 - 1200 meter. Dikte ten NO van het studiegebied is rond de 30-40 m (BNV-01-S1 en VHZ-01). Doorlatendheid geschat tussen 250 - 1000 mD (zeer onzeker). Waarschijnlijk te dun / niet aanwezig binnen het studiegebied.	
	Laagpakket van Orp: Ten NO van het studiegebied aanwezig. Diepte tussen 800 - 1200 meter. Dikte ten NO van het studiegebied is tussen de 0-30 m (ALE-01, ERM-01, BNV-01-S1 en VHZ-01). Doorlatendheid geschat rond de 500 mD (zeer onzeker). Waarschijnlijk te dun / niet aanwezig binnen het studiegebied.	

Krijt/Jura

Het Delft Zandsteen Laagpakket, het Alblasterdam Laagpakket en het Rijswijk Laagpakket uit de Schieland en Rijnland groepen vormen belangrijke geothermische reservoirs in westelijk Nederland. Echter zijn door geologische processen deze zandige laagpakketten in het projectgebied nooit afgezet of grotendeels geërodeerd.

In de SCAN-Boring EDE-01 en de boringen VHZ-01 en BNV-01-S1 zijn er wel zandlagen uit de Rijnland groep en het Jura aangetroffen. Kerndata uit EDE-01 laat zien dat deze zandlagen enigszins doorlatend kunnen zijn. Bij veel andere putten rondom het studiegebied wordt enkel klei of ondoorlatend zand aangetroffen (BLT-01 en AMS-01). Op basis van informatie uit Dinoloket en ThermoGIS lijken deze zandlichaam zich te beperken tot kleine gebieden rondom de putten. Het is daarmee onduidelijk hoe wijdverspreid deze zandlagen binnen het onderzoeksgebied zijn en hoe de dikte van deze laag binnen het studiegebied veranderd.



¹² ThermoGIS: <https://www.thermogis.nl/>

Potentieel reservoir	Eigenschappen	Opmerkingen
Vlieland Zandsteen Formatie & Nieuwerkerk Formatie	Deels of mogelijk niet aanwezig in het studiegebied. Diepte tussen de 1000 - 1300 mTVD. Dikte tussen 0 en 200 meter (VHZ-01 = +200 m, BNV-01-S1 = ±40 m, EDE-01 = 45 m, BLT-01 = alleen klei, AMS-01 = niet doorlatend zand). De zandlagen zijn redelijk doorlatend in EDE-01 (kerndata). Op basis van de aanwezige data zijn er veel onzekerheden over de aanwezigheid, dikte, hoeveelheid zand en de doorlatendheid. Hiermee is de potentie voor (O)GT zeer onzeker en moeilijk te kwantificeren.	Eerste inschatting op basis van putgegevens (NLOG), ThermoGIS en Dinoloket

Trias

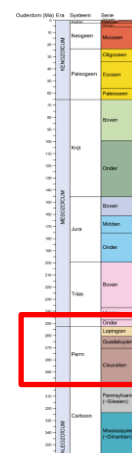
Binnen het Trias vormen de zanden uit de Boven- en Onder-Germaanse Trias Groepen (bv. Röt Randzandsteen Laagpakket of de Hoofd Bontzandsteen Subgroep) de belangrijkste reservoirs voor geothermie. In Vierpolders en Brielle wordt er ook aardwarmte uit deze lagen gewonnen. In het studiegebied liggen de geschatte dieptes en temperaturen van de zanden uit het Trias respectievelijk tussen de 1000 - 2500 m. Ook blijkt uit eerdere inventarisaties naar de zanden uit het Trias in het projectgebied dat de bruto diktes rond de 100 m liggen in het ZW (BLT-01) en rond de 40 meter in het NO (BNV-01-S1). In het ZW zijn de doorlatendheden en netto zanddiktes binnen het Trias redelijk (BLT-01: ± 40 meter zand en ± 100 mD). De doorlatendheden en netto zanddiktes nemen in noordoostelijk richting sterk af (BNV-01: volledig gecementeerd en ondoorlatend zand). Daarmee lijkt de potentie voor geothermie sterk afhankelijk te zijn van de locatie binnen het projectgebied. Een mogelijke verklaring hiervoor zijn de mogelijke kansen en effecten van uitloging die nabij het PMC groter zijn dan in het NW van het projectgebied. Wel blijkt er uit putgegevens dat de uiteindelijke potentie vaak slechter is dan de potentie van de Formatie van Slochteren op dezelfde locatie (e.g. BLT-01)



Potentieel reservoir	Eigenschappen	Opmerkingen
Zanden uit de Boven- en Onder-Germaanse Trias Groepen	Dieptes en temperaturen liggen respectievelijk tussen de 1000 - 2500 m. Diktes van de zandlagen variëren 100 meter in het ZW tot ongeveer 40 meter in het NO. In het ZW (BLT-01) zijn de doorlatendheden in de zanden van het Trias redelijk. In het NO (BNV-01-01) is het Trias volledig ondoorlatend. Hierdoor zijn de zanden uit het Trias een mogelijk redelijk reservoir voor geothermie in het ZW van het projectgebied. Wel blijkt uit putgegevens dat de Formatie van Slochteren hoogstwaarschijnlijk meer potentie heeft.	Eerste inschatting op basis van putgegevens op NLOG.

Perm

Binnen het Perm vormen de zanden uit de Slochteren Formatie (onderdeel van de Rotliegend groep) het belangrijkste reservoir voor geothermie. In Koekoekspolder, Luttelgeest, Andijk, Middenmeer en Heemskerk zijn er grote opererende geothermie projecten in de Slochteren Formatie. Daarnaast wordt de potentie van deze formatie ook elders in Nederland onderzocht (bv. Zwolle, Leeuwarden en Lelystad). De Slochteren Formatie is ook een belangrijk onderdeel van het door EBN ontwikkelde SCAN programma waarin de ondergrond van regio's met weinig geologische informatie in kaart wordt gebracht met seismisch onderzoek en proefboringen.



In het projectgebied is het Slochteren volledig aanwezig. Het ligt op een diepte tussen de 1000 m op de platformen en op meer 3000 m in de bekkens. De temperatuur varieert tussen de 45-120°C, afhankelijk van de diepte. De dikte van het reservoir neemt in westelijke richting sterk toe (van 60 meter bij EDE-01 tot 120 meter bij BLT-01). Regionale putgegevens en nieuwe SCAN-Boringen tonen aan dat de doorlatendheden van de Formatie van Slochteren zeer hoog kunnen zijn, zeker op de ondiep gelegen breukblokken (e.g. BLA-01-S1, EDE-01 en NVG-01). Uit de SCAN-boringen BLT-01 en AMS-01 blijkt zelfs dat op 2000 meter de doorlatendheden waarschijnlijk hoog genoeg zijn voor de toepassing van geothermie. Deze relatief hoge doorlatendheden op de ondiepe breukblokken (platformen) kunnen mogelijk worden toegeschreven aan de effecten van uitlogging. Uit deze gegevens blijkt dus dat er op de ondiep gelegen breukblokken (platformen) waarschijnlijk potentie is voor geothermie. In de dieper gelegen bekkens zijn de doorlatendheden van de Formatie van Slochteren waarschijnlijk te laag (e.g. BNV-01-S1).

Potentieel reservoir	Eigenschappen	Opmerkingen
Rotliegend Groep (Formatie van Slochteren)	Aanwezig in en rond het projectgebied. Dieptes liggen tussen de 1000 en 3000 meter. Temperaturen liggen in tussen de 45 - 120 °C. De te verwachten diktes liggen tussen 55 en 120 meter. Doorlatendheden van de Formatie van Slochteren zijn mogelijk op de ondiepe gelegen breukblokken zeer hoog (e.g. EDE-01, BLA-01-S1 en NVG-01). In de dieper gelegen bekkens zijn de doorlatendheden hoogstwaarschijnlijk te laag (e.g. BNV-01-S1). Op basis van deze eigenschappen lijkt de Slochteren Formatie in delen van het projectgebied zeer interessant voor de toepassing van geothermie.	Eerste inschatting op basis van regionale putten (NLOG), ThermoGIS en rapportage provinciale studie geothermie

6.2 BIJLAGE 2: SEISMISCHE INTERPRETATIE, PETROFYSISCHE INTERPRETATIE EN OPSCHALING

In deze bijlage geven wij een kort overzicht van alle data en methodes die zijn gebruikt voor de lokale verdieping geothermie in opdracht van de gemeentes Amersfoort, Baarn, Leusden, Soest en Woudenberg. Ook worden er belangrijke tussentijdse resultaten en gehanteerde relaties toegelicht. Het is aan te raden om eerst Bijlage 1: Geologische setting en reservoir beschrijving te lezen. Deze bijlage kan op zichzelf worden gelezen maar dient als technische achtergrond informatie voor het hoofddocument.

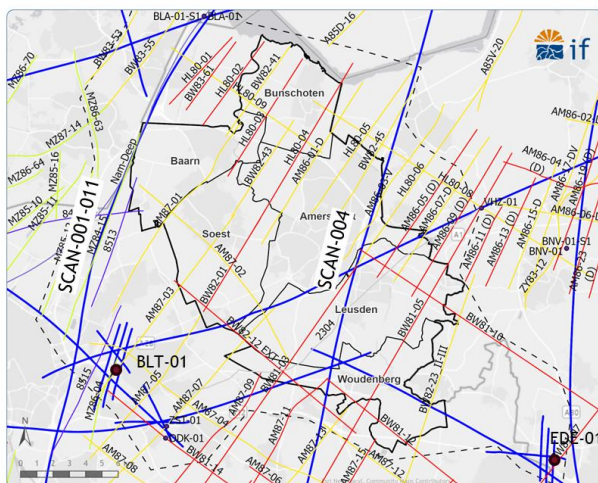
6.2.1 Seismische interpretatie

Gebruikte gegevens

Voor een lokale verfijning van de ondergrond in en rondom de deelnemende gemeentes zijn de volgende seismische lijnen (opnieuw) geïnterpreteerd (Figuur 6.3):

- **SCAN lijnen (blauw):** Deze lijnen zijn recent geschoten en vrijgeven in het kader van het SCAN programma. Voor deze studie zijn deze lijnen geïnterpreteerd.
- **Herbewerkte lijnen uit het SCAN programma (rood, geel & groen):** Deze (oude) seismische lijnen (jaren '70 en '80) zijn binnen het SCAN programma herbewerkt en waar nodig gedigitaliseerd. Voor deze studie zijn een groot deel van deze lijnen geïnterpreteerd.
- **2 oude analoge seismische lijnen (grijs):** Deze oude lijnen (jaren '60) zijn voor deze studie gedigitaliseerd en geïnterpreteerd.

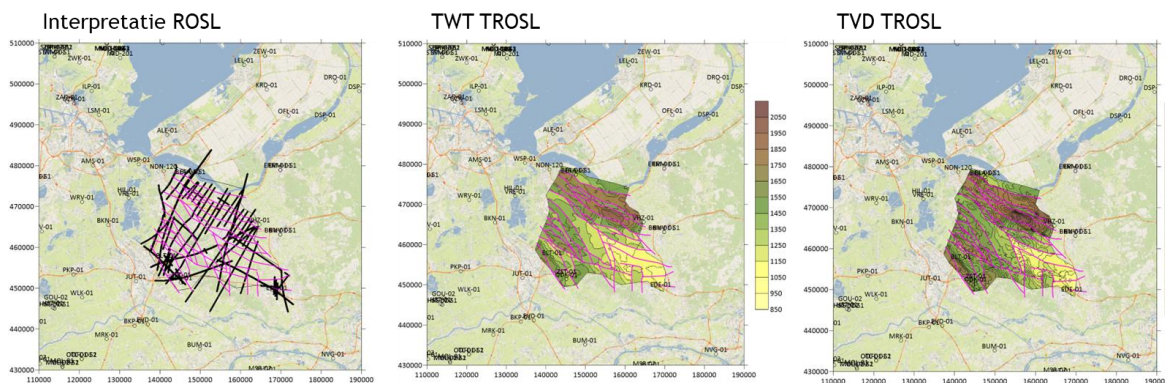
Om de verschillende stratigrafische eenheden te correleren aan de seismische data zijn tijdens de interpretatie ook de gegevens uit putten BLT-01 en BLA-01-S1, BNV-01-S1 en EDE-01 gebruikt. Daarnaast zijn eerdere interpretaties van de provinciale studie van Panterra (2021) en modellen van TNO gebruikt ter ondersteuning van deze seismische interpretatie.



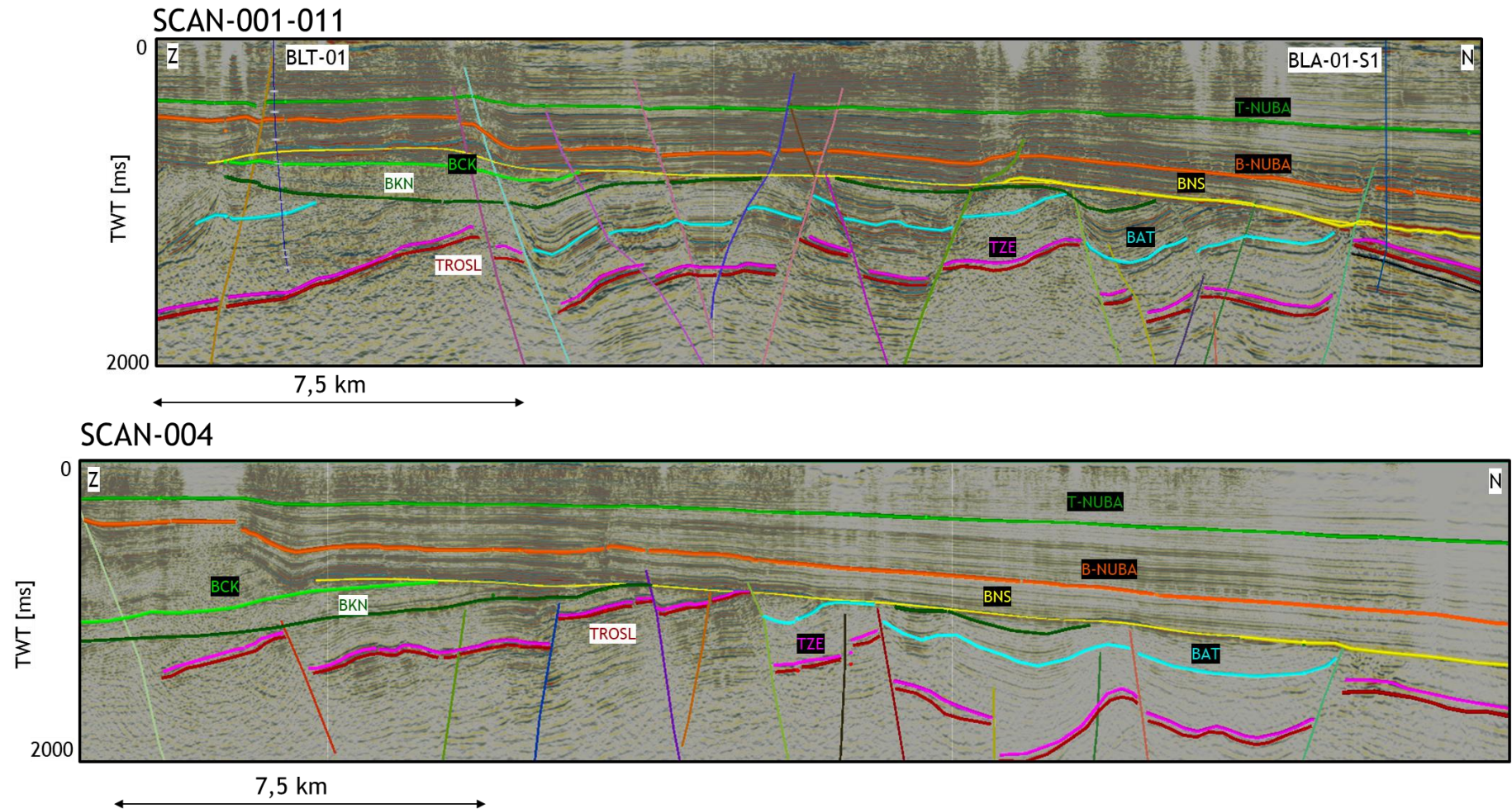
Figuur 6.3 | Gebruikte seismische data in deze studie

Resultaten

In Figuur 6.4 en Figuur 6.5 staan resultaten van de seismische interpretatie ter illustratie weergegeven met alle formaties en breuken die zijn geïnterpreteerd. Deze interpretaties zijn vervolgens gebruikt voor het maken van de TWT-, diepte-, breukenkaarten (Figuur 6.4). Het interpoleren van de 2D interpretaties naar de TWT-kaarten is gedaan met behulp van Inverse Distance Weighted gridding met breuken in Surfer V27. Voor de tijd-diepte-conversie is het snelheidsmodel van TNO gebruikt (Velmod V4). Tot slot zijn de belangrijkste horizons (T-NUBA, B-NUBA, TZE en TROSL) getied aan de putten binnen het interpretatie gebied. Let op: vanwege het gridden en interpoleren bestaan er onzekerheden in de resultaatkaarten in gebieden waar geen / weinig seismische lijnen beschikbaar zijn. De uiteindelijke resultaatkaarten blijven een model.



Figuur 6.4 | Links) 2D interpretaties van de Formatie van Slochteren. Midden) Geïnterpoleerde TWT-kaart van de Formatie van Slochteren (ms) (Inverse Distance Weighting met breuken). Rechts) Dieptekaart van de Formatie van Slochteren getied aan de lokale putten.



Figuur 6.5 | Seismische interpretatie van de SCAN lijnen SCAN-001-011 en SCAN-004. Voor de locatie van de lijnen zie Figuur 6.3. Afkortingen zijn als volgt: T-NUBA = Top Formatie van Breda, B-NUBA = Basis Formatie van Breda, BNS = Basis Noordzee Groep, BCK = Basis Krijt-kalk Groep, BKN = Basis Rijnland Groep, BAT = Basis Altena Groep / Top Trias Groep, TZE = Top Zechstein Groep en TROSL = Top Formatie van Slochteren.

6.2.2 Petrofysische interpretatie

Gebruikte gegevens

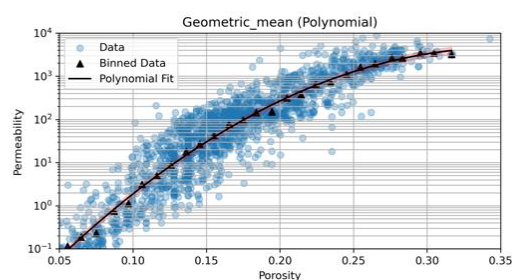
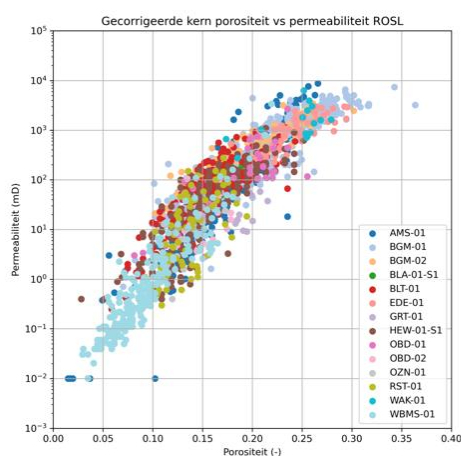
Bij de petrofysische interpretatie van de Formaties van Slochteren en Breda zijn verschillende datasets en modellen gebruikt:

- **Putten met petrofysische logs (Tabel 6.1):** In deze tabel staan de putten en de logs die zijn gebruikt voor de petrofysische interpretatie van de Formaties van Slochteren en Breda. De kwaliteit van de logs en daarmee de interpretatie is sterk afhankelijk van de put. Interpretaties van de Formatie van Breda zijn sowieso relatief onzeker vanwege de onzekerheden in de logdata en de maar weinige directe data die doorlatendheid aantonen.
- **Kernplugmetingen Formatie van Slochteren (Figuur 6.6):** Voor het opstellen van de porositeit-permeabiliteit relatie zijn kernplugmetingen gebruikt van verschillende lokale en regionale putten. Uit de data bleek dat een geomteric mean averaged tweede orde polynomial relatie een beste fit had. Deze relatie is tijdens petrofysische interpretatie gebruikt voor het omrekenen van de porositeit naar een permeabiliteit.
- **Korrelgroottemetingen (d50) Formatie van Breda (Tabel 6.2):** Om de doorlatendheid van de Formatie van Breda te bepalen is het van Baaren 1974 model gebruikt (Veldkamp e.a. 2022). De belangrijke input voor dit model is de korrelgrootte (d50). Voor de Formatie van Breda zijn verschillende diepe en ondiepe boringen met boorbeschrijvingen gebruikt voor het bepalen d50 binnen en rond het studiegebied. Deze data is geïnterpoleerd (kriging) om de korrelgrootte lokaal in kaart te brengen. Met behulp van een korrelgrootte per put is vervolgens de porositeitslog omgerekend naar een permeabiliteit. Hierin hebben we aangenomen dat de Formatie van Breda ongeconsolideerd en goed gesorteerd is.
- **Temperatuur- en saliniteitsmetingen:** Temperatuurmetingen, temperatuurlogdata en saliniteitsmetingen uit de SCAN-boringen AMS-01, EDE-01 en BLT-01 zijn gebruikt tijdens de petrofysische interpretatie en opschaling.

Tabel 6.1 | Putten en modellen gehanteerd voor de petrofysische interpretatie van de Formaties van Slochteren (ROSL) en Breda (NUBA).

Put	Gebruikt voor interpretatie ROSL	Gebruikt voor interpretatie NUBA	Vclay model ROSL	Vclay model NUBA	Porosity model ROSL	Porosity model NUBA
BNV-01-S1	X	-	GR	-	RHOB	-
BLA-01-S1	X	X	GR	GR	RHOB	DT (wyllie unconsolidated)
ALE-01	X	X	GR	GR	NPHI-RHOB	NPHI-RHOB
LSM-01	X	-	GR	-	RHOB	-
NVG-01	X	-	GR	-	RHOB	-
EDE-01	X	X	GR	GR	RHOB	NPHI
BLT-01	X	X	GR	GR	RHOB	DT (wyllie unconsolidated)
AMS-01	X	X	GR	GR	RHOB	DT (wyllie unconsolidated)
NDN-120	-	X	-	GR		RHOB
WSP-01	-	X	-	GR		RHOB

WRV-01	-	X	-	GR	RHOB
EPE-01	-	X	-	GR	DT (wyllie unconsolidated)
ERM-01	-	X	-	GR	DT (wyllie unconsolidated)
OFL-01	-	X	-	GR	DT (wyllie unconsolidated)
KRD-01	-	X	-	GR	NPHI-RHOB



- 2nd order polynomial (geometric mean) geeft de beste fit voor de regionale kerndata:
- $Kh \text{ (mD)} = 10^{((-51.6878 \cdot (\phi_{ie}^2)) + (37.2399 \cdot \phi_{ie}) + 2.96882)}$

Figuur 6.6 | Links) Gecorrigeerde (Juhazs) kernplugmetingen gebruikt voor de porositeit-permeabiliteit relatie (rechts) voor de Formatie van Slochteren.

Tabel 6.2 | Korrelgroottemetingen uit boorbeschrijvingen van de Formatie van Breda in en rondom het studiegebied.

Well	X	Y	Korrelgrootte spreiding (µm)	D50 (µm)
BKN-01	127145	465480	70 (Smit 2022)	70
HIL-01	131855	473020	80 (Smit 2022)	80
NDN-120	140900	478700	75-125 (RGD 1972)	100
ADK-GT-01	141923.4	526448.44	50 - 75 (Smit 2022)	62.5
LING-HTO-02	190869	436910	100 - 200 (IF 2021)	150
EDE-01	169013.9	449001.81	Zeer fijn tot fijn (105-150)	125
WAA-01	134502	418962.17	90-120 (RDG 1972)	100
VHZ-01	164647	465586	fijn tot matig fijn (125-175)	150
BG32G0137 (De Glind)	162800	458290	fijn tot matig fijn (125-175)	136
B39E0251	165783	448783	fijn tot matig fijn (140-160)	150
B32F0113	174980	473100	matig fijn (140 - 190) (Hoofdzakelijk 140)	140
B33A0192	188330	471770	Matig fijn 140	140
B32H0227	176520	460600	Zeer fijn 120	120
AMS-01	123395.3	480051	Kleistein (2 - 63)	32.5

BLT-01	141577.6	456881.76	Eerste 30 meter bestaat uit zeer fine zand (100-150). Daarna hoofdzakelijk klei (2 - 63). Aanname is een mix tussen zeer fijn zand en klei en we gebruiken de lage range van uiterst fijn zand (63 mu)	63
--------	----------	-----------	---	----

Resultaten

De resultaten van de petrofysische interpretatie van de Formatie van Slochteren staan uiteengezet in Tabel 6.3. Ter illustratie staan de interpretaties van putten BLT-01 en EDE-01 weergegeven in Figuur 6.7. Uit de resultaten blijkt dat de putten gelegen op de ondiepe breukblokken (geologische platformen) relatief hoge een permeabiliteit hebben. Dieper gelegen putten en putten gelegen in de geologische bekkens (e.g. ALE-01 en BLA-01-S1) hebben een veel lagere permeabiliteit.

Tabel 6.3 | Resultaten van de petrofysische interpretatie van de Formatie van Slochteren.

Well	Top (TVDm)	Bottom (TVDm)	Bruto dikte (m)	Netto dikte (m)	N/G	Effectieve Porositeit (-) (geometric mean)	Permeabiliteit (mD) (geometric mean)
BNV-01-S1	2187.0	2270.1	83.1	33.6	0.4	0.08	1
BLA-01-S1	1450.8	1569.1	118.3	118.1	1	0.19	179
ALE-01	1733.9	1856.5	122.6	119.1	0.97	0.12	6
LSM-01	1311.8	1453.7	141.9	137.4	0.97	0.16	41
NVG-01	1101.0	1119.5	18.5	18	0.97	0.28	2538
EDE-01*	1156.5	1216.0	59.5	59.4	1	0.26	1387
BLT-01**	1862.5	1984.9	122.4	119.9	0.98	0.16	41
AMS-01	2040.4	2151.3	110.9	108.8	0.98	0.16	55

* Puttest resultaten EDE-01: 70 - 90 Dm --> Kh reservoir = 1175 - 1500 mD

** Puttest resultaten BLT-01: 6 Dm --> Kh reservoir = 50 mD

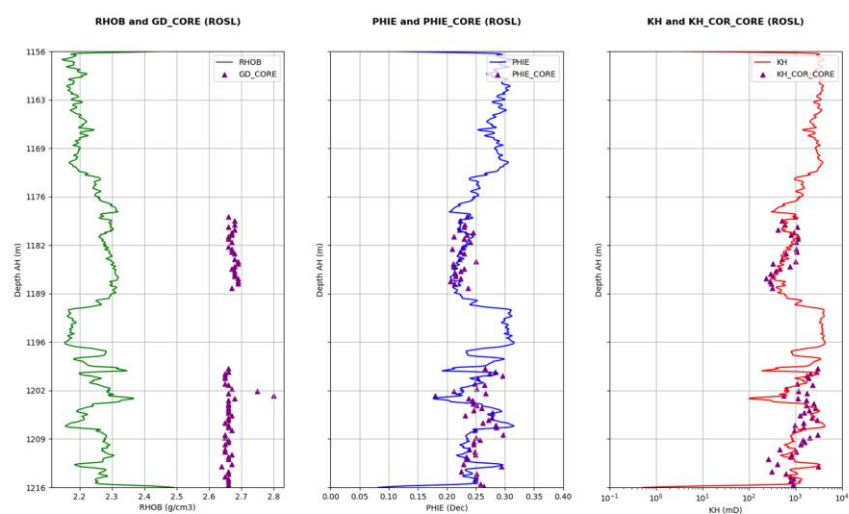
De resultaten van de petrofysische interpretatie van de Formatie van Breda staan uiteengezet in Tabel 6.4. Ter illustratie staan de interpretaties van putten EDE-01 en BLA-01 weergegeven in Figuur 6.8. Uit de resultaten blijkt dat de oostelijk gelegen putten vaak een hogere permeabiliteit hebben (e.g. EDE-01, EPE-01, ERM-01). Dit komt voornamelijk vanwege de grotere korrelgrootte die daar aanwezig is. Ook is uit de interpretatie duidelijk zichtbaar dat N/G sterk afneemt richting het westen (e.g. BLT-01, WRV-01, AMS-01). Tot slot blijkt uit de interpretatie dat met name het bovenste gedeelte van de Formatie van Breda meer zand bevat en dat het onderste gedeelte hoofdzakelijk bestaat uit klei (Figuur 6.8).

Tabel 6.4 | Resultaten van de petrofysische interpretatie van de Formatie van Breda.

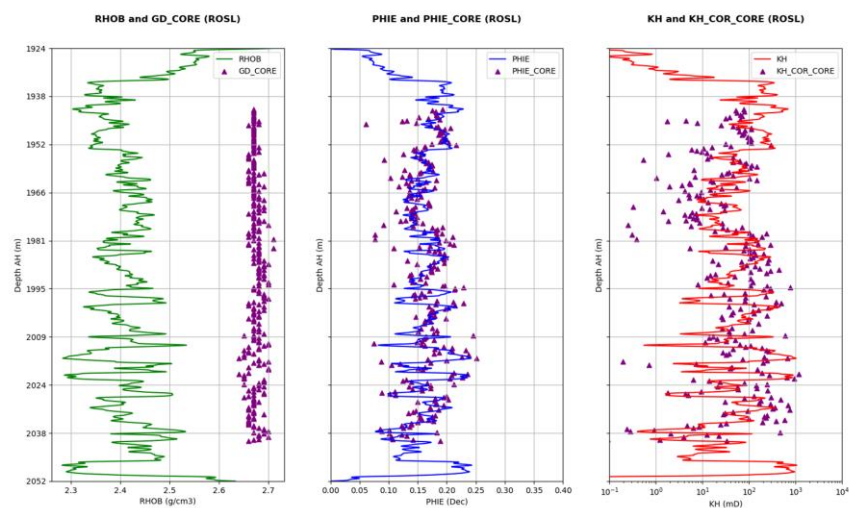
Well	Top (TVDm)	Bottom (TVDm)	Bruto dikte (m)	Netto dikte (m)	N/G	Effectieve Porositeit (-) (geometric mean)	Permeabiliteit (mD) (geometric mean)
BLA-01	450.6	850	399.4	172.7	0.43	0.29	894
NDN-120	391	552	161	85.3	0.53	0.24	261
WSP-01	428	775	347	183.3	0.53	0.31	648
WRV-01	470.8	534.3	63.5	0.1	0	0.2	29
BLT-01	297.4	415.4	118	26.5	0.22	0.25	130

AMS-01	514.5	578	63.5	9.3	0.15	0.23	25
EDE-01	209	505	296	129.8	0.44	0.31	1454
EPE-01	245	710	465	145.2	0.31	0.33	2709
ERM-01	522	1005.3	483.3	211.5	0.44	0.28	1151
OFL-01	410	934	524	180.8	0.35	0.25	521
KRD-01	522	883	361	251.3	0.7	0.28	817
ALE-01	460	950	490	333.6	0.68	0.27	405

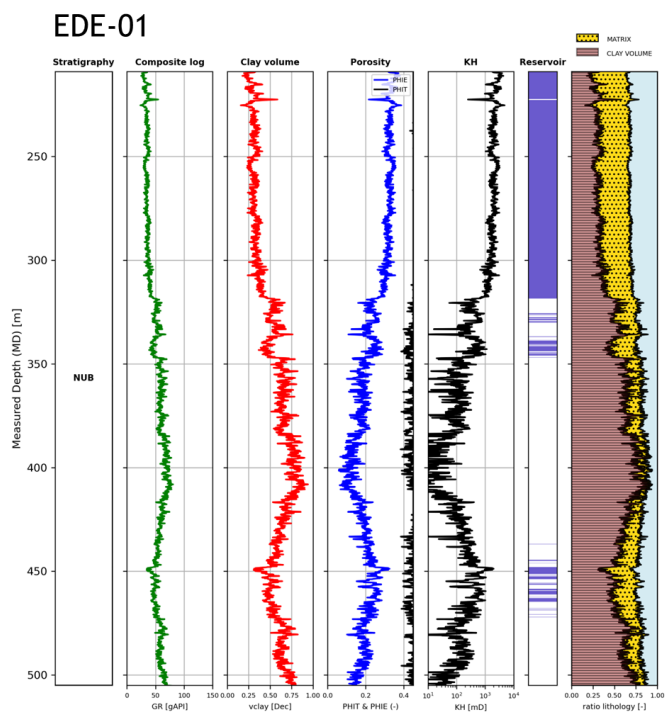
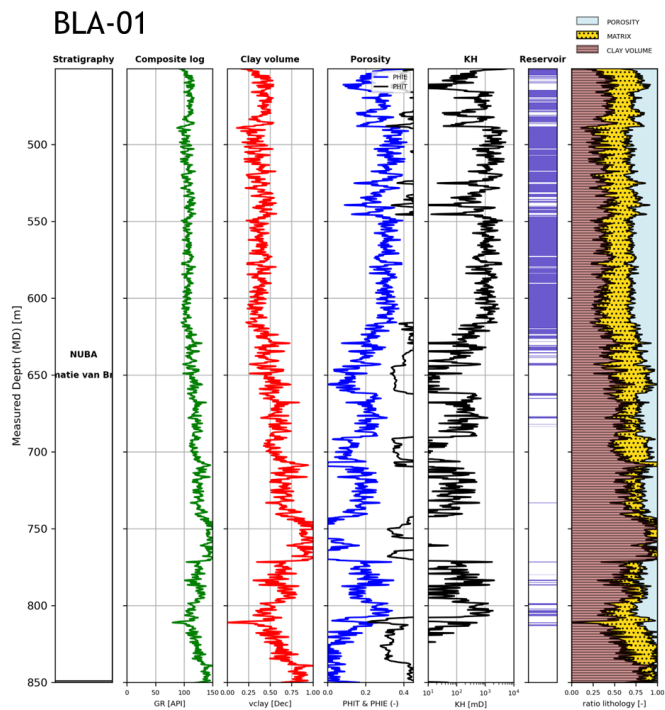
EDE-01



BLT-01



Figuur 6.7 | Petrofysische interpretatie van de SCAN-Boringen EDE-01 en BLT-01 en het vergelijking met de beschikbare kerndata.



Figuur 6.8 | Resultaten van de petrofysische interpretatie van de Formatie van Breda in de putten BLA-01 en EDE-01.

6.2.3 Opschaling

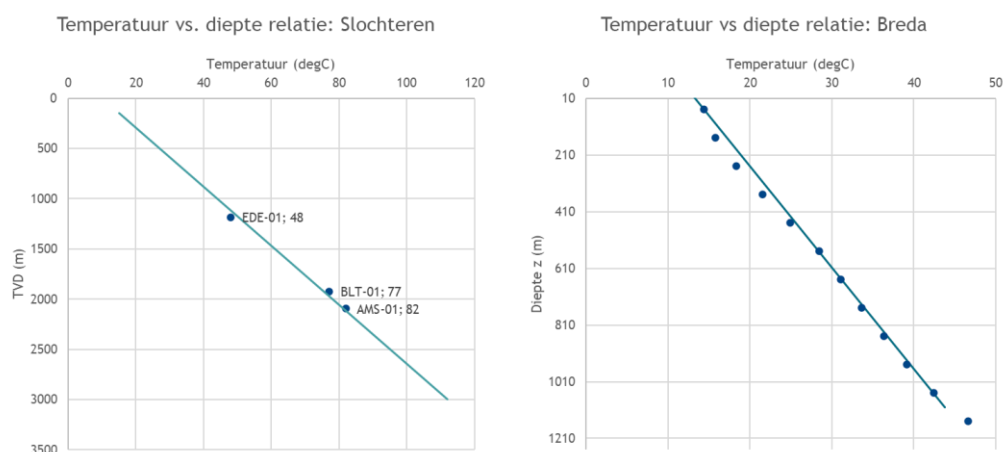
Voor het bepalen van de uiteindelijke reservoir eigenschappen (temperatuur, porositeit, permeabiliteit) zijn verschillende opschalingsmethode en relaties gebruikt welke hieronder staan weergegeven en toegelicht.

Opschaling van de temperatuur

Op basis van temperatuurmetingen van de Formatie van Slochteren in de SCAN-boringen AMS-01, BLT-01 en EDE-01 is er een regionale diepte vs. temperatuur relatie worden opgesteld (Figuur 6.9 links):

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

Met behulp van deze relatie is vervolgens de dieptekaart van de Formatie van Slochteren omgerekend tot een temperatuurkaart.



Figuur 6.9 | Links) temperatuurmetingen uit de SCAN-Boringen en de opgestelde temperatuur vs. diepte relatie voor de Formatie van Slochteren. Rechts) Temperatuurlog data uit BLT-01 met de daarvan afgeleide temperatuur vs. diepte relatie voor de Formatie van Breda.

De SCAN-Boring BLT-01 heeft een goede temperatuurlog van de ondiep gelegen lagen in de Noordzee Groep. Op basis van deze log is er een lokale diepte vs. temperatuur relatie voor de Formatie van Breda opgesteld (Figuur 6.9 rechts):

$$T (^{\circ}\text{C}) = 13 (^{\circ}\text{C}) + 0,028 (^{\circ}\text{C/m}) * \text{diepte (m)}$$

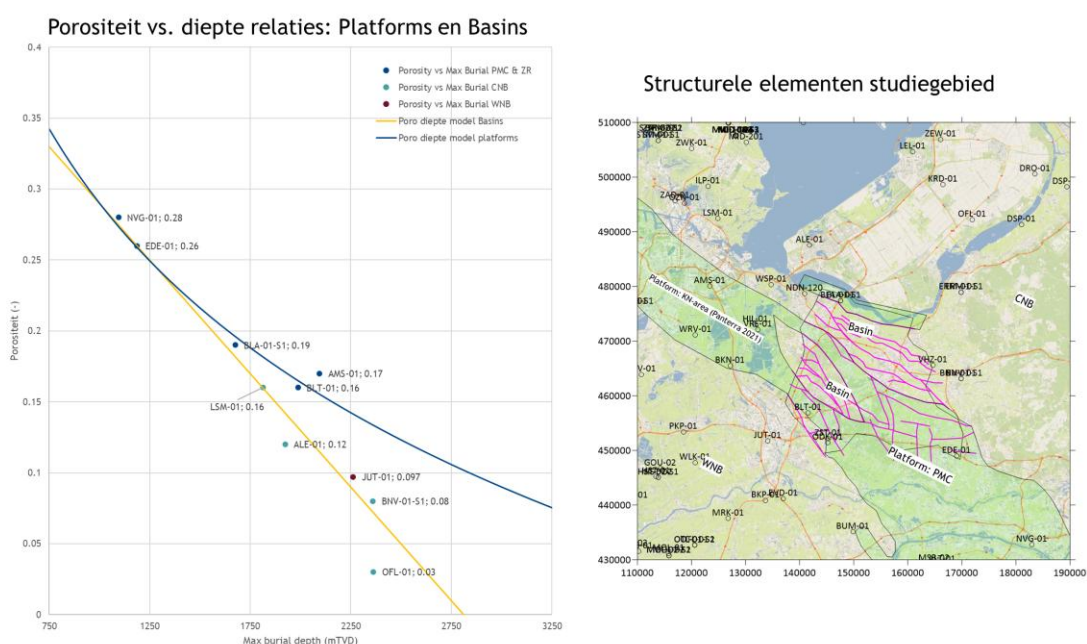
Met behulp van deze relatie is vervolgens de temperatuurkaart gemaakt.

Opschaling van de porositeit

Voor de opschaling van de porositeit van de Formatie van Slochteren is een zogeheten porositeit-diepte relatie opgesteld. Om deze relatie op te stellen zijn de resultaten van de petrofysische interpretatie geïntegreerd met de dieptekaart en de burial-anomaly kaart van Nelskamp en Verweij (TNO) 2012. De resulterende plot geeft de maximale begravingdiepte t.o.v. porositeit per put weer (Figuur 6.10). Uit deze plot blijkt dat er twee relaties kunnen worden opgesteld, één die geld

voor de ondieper gelegen platformen (e.g. AMS-01, EDE-01 en NVG-01) en één die geldt voor de dieper gelegen bekkens (basins) (e.g. BNV-01-S1, OFL-01 en ALE-01).

Deze relaties zijn vervolgens in combinatie met de regionale geologische structuren (wat is een platform en wat is een bekken) (Figuur 6.10), de dieptekaart en de burial-anomaly kaart gebruikt om een porositeitskaart te maken (Figuur 3.6).

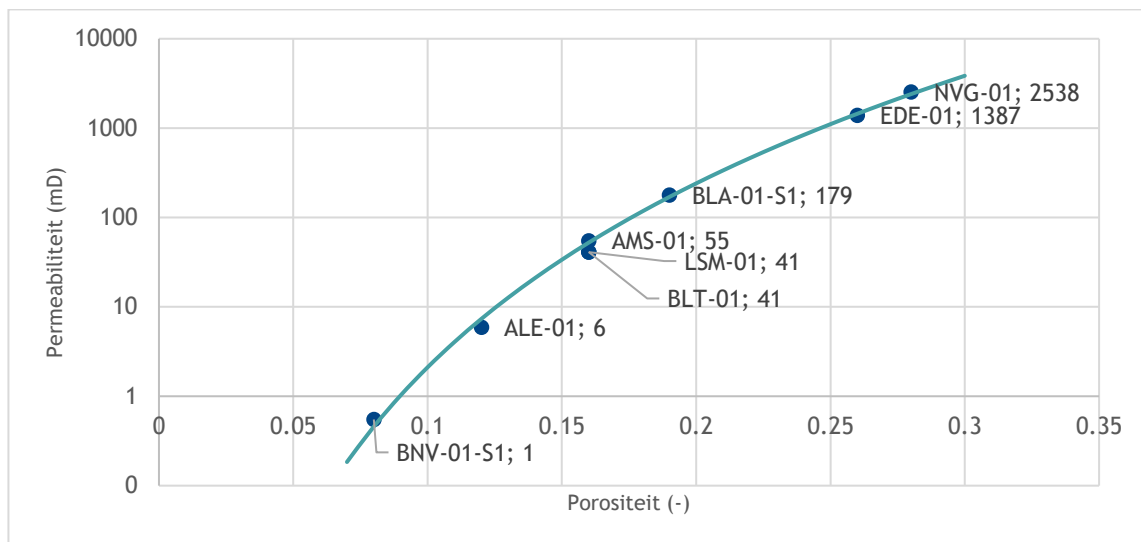


Figuur 6.10 | Links) Porositeit-diepte (max burial) relaties voor de Formatie van Slochteren geldende voor de platformen en de basins binnen het studiegebied. Rechts) Structurele elementen binnen het studiegebied. Deze elementen zijn gebaseerd op de seismische interpretatie, de kaarten van Kombrink 2012 en de structurele elementen gedefinieerd in de provinciale studie van Panterra (2012).

Voor de Formatie van Breda is de porositeit verkregen uit de petrofysische interpretatie direct geïnterpoleerd met behulp van kriging.

Opschaling van de permeabiliteit

De permeabiliteitskaart van de Formatie van Slochteren is gemaakt door de porositeitskaart om te rekenen met een opgeschaalde porositeit-permeabiliteit relatie (Figuur 6.11). Voor de Formatie van Breda is de berekende permeabiliteit uit de putten direct geïnterpoleerd (m.b.v. kriging).

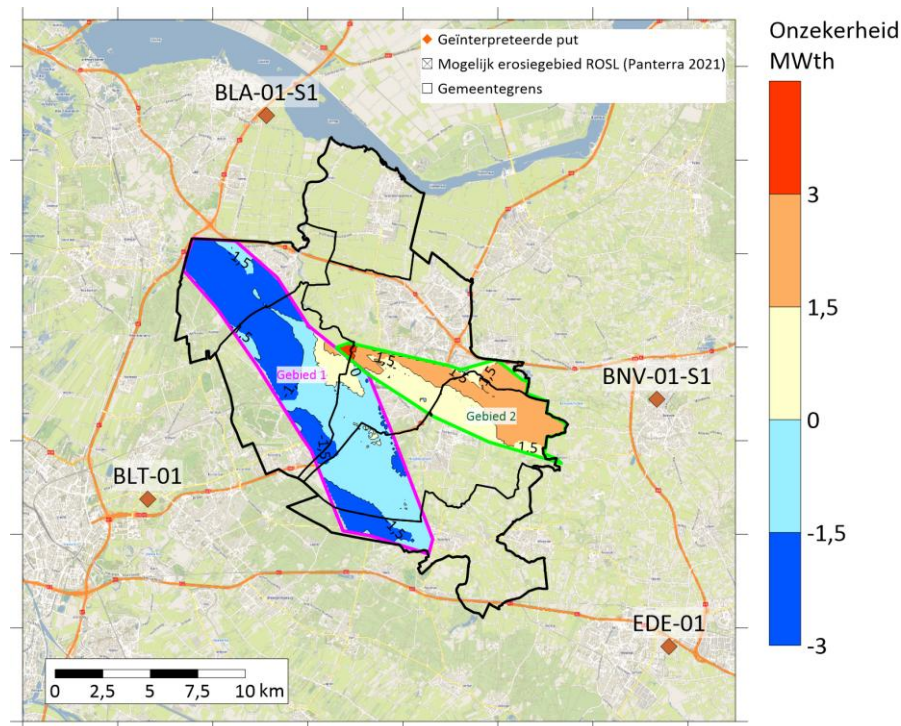


Figuur 6.11 | Opgeschaalde porositeit-permeabiliteit relatie voor de Formatie van Slochteren

Onzekerheid op opschalingstrend

De reservoir eigenschappen van de Formatie van Slochteren binnen de grenzen van de deelnemende gemeenten zijn grotendeels gebaseerd op een geologisch model welke geijkt is op putgegevens die buiten het projectgebied vallen (e.g. AMS-01, BLT-01, EDE-01 en BLA-01-S1). Dit geologische model staat hierboven uiteengezet. Het gebruik van dit model gaat samen met onzekerheden die zich ook uiten in de uiteindelijke potentie. Zo zijn er twee gebieden die in de huidige interpretatie behoren tot verschillende geologische structuren (gebied 1: platform & gebied 2: bekken). Vanwege het ontbreken van directe putgegevens valt het echter niet uit te sluiten dat deze gebieden behoren tot de andere structuur. Hierdoor bestaat er een onzekerheid in de potentie van de Formatie van Slochteren in deze gebieden.

Voor gebied 1 bestaat er vooral onzekerheid of dit gebied kan worden gezien als geologisch platform of moet worden geclassificeerd als bekken. Mocht dit niet het geval zijn dan moeten er voor dit gebied de negatieve bekken trend andere trends worden toegepast voor reservoir eigenschappen, met als gevolg dat de potentie ongeveer 1,0 tot 2,5 MWth lager uitvalt. Dit is zeker het geval in delen van Soest en Baarn waar de Formatie van Slochteren iets dieper ligt.



Figuur 6.12 | Onzekerheid in het berekende vermogen als gevolg van onzekerheden in gehanteerde geologische model (platform vs bekken). Zie de bijlages voor meer informatie over de gehanteerde modellen.

Gebied 2 is nu geclassificeerd als geologisch bekken. Ook dit is onzeker omdat er op basis van de seismische interpretatie ook indicaties zijn dat delen van dit gebied ook als geologisch platform kunnen worden geclassificeerd. Mocht dit het geval zijn dat valt er goed te beargumenteren dat er voor dit gebied de positievere platform trend moet worden toegepast op de reservoir eigenschappen. Dit heeft als gevolg dat de opnieuw berekende potentie 1,5 tot 3 MWth hoger kan uitvallen (Figuur 6.12), zeker in de gebieden waar de Formatie van Slochteren ondieper ligt.

6.3 BIJLAGE 3: BEPALEN (TOEKOMSTIGE) WARMTEVRAAG, WARMTEDICHTHEID EN WARMTECLUSTERS

In deze bijlage wordt toegelicht hoe de huidige en toekomstige warmtevraag van het projectgebied is ingeschat en hoe we tot de warmtedichtheid hebben bepaald. De warmtevraag en warmtevraagdichtheid van de gebouwde omgeving spelen een belangrijke rol en daarom analyseren we deze aspecten in de eerste paragraaf. Op basis daarvan maken we warmteclusters waarin de warmtevraagdichtheid en warmtevraag hoog zijn waardoor er mogelijkheden zijn voor collectieve warmtenetten. Uiteindelijk beschrijven we de verschillende warmteclusters.

6.3.1 Warmtevraag en warmtevraagdichtheid

Zoals besproken in de vorige paragraaf zijn de warmtevraag en warmtevraagdichtheid belangrijk voor de haalbaarheid van een geothermiesysteem in de gebouwde omgeving. We hebben daarom voor het projectgebied de warmtevraag inzichtelijk gemaakt op basis van het huidige gasverbruik en kentallen. Daarnaast is een schatting gemaakt van de toekomstige warmtevraag waarin rekening is gehouden met isolatie. De warmtevraag is uiteindelijk vertaald naar een warmtevraagdichtheid.

Huidige warmtevraag

Het gasverbruik van kleinverbruikers is openbaar te raadplegen via de gasnetbeheerder, wat een beeld geeft op postcode-zes niveau. Voor de grootverbruikers is een schatting gemaakt op basis van kentallen. Deze methode geeft op buurt-/wijkniveau een goede eerste inschatting van de totale warmtevraag die geschikt is voor het detailniveau van dit onderzoek. Voor individuele gebouwen kan de inschatting echter wel (fors) verschillen met de werkelijkheid. Bij blokverwarming kunnen ook verschillen ontstaan doordat daar soms een grootverbruikersaansluiting aanwezig is en de woningen dus niet in de data van kleinverbruikers zitten. In een vervolg kan de warmtevraag voor specifieke gebieden in meer detail onderzocht worden, maar voor dit onderzoek geeft de inschatting een goede mogelijkheid voor de match met de potentie van geothermie. In Tabel 6.6 is de geschatte huidige warmtevraag van de verschillende gemeentes in het projectgebied weergegeven.

De huidige warmtevraag wordt bepaald op basis van het gasverbruik. Het gasverbruik van kleinverbruikers is openbaar te raadplegen via de netbeheerder, wat een beeld geeft op postcode zes niveau. We hebben voor het projectgebied het gasverbruik inzichtelijk gemaakt. Dit aardgas wordt grotendeels door een gasketel gebruikt om water te verwarmen, ter functie van ruimteverwarming en bereiden van warmtapwater. Daarnaast kan aardgas gebruikt worden om mee te koken. Om te bepalen wat de warmtevraag van de woningen is, moet het aardgasverbruik in kuub omgezet worden naar warmtevraag in MWh of GJ. Deze omzettingfactor is in dit rapport als volgt tot stand gekomen:

- Het uitgangspunt is de veelgebruikte HR104 combiketel.
- 78% van het aardgas wordt gebruikt voor verwarming (CBS, 2018).
 - Bij de productie van ruimteverwarming is het gemiddelde rendement 104% (op basis van een HR-combiketel en de onderste verbrandingswaarde van aardgas. Bron: ACM).
- 20% van het aardgas wordt gebruikt voor tapwaterbereiding (CBS, 2018).
 - Bij de productie van tapwater is het gemiddelde rendement 72% (op basis van HR-combiketel en de onderste verbrandingswaarde van aardgas. Bron: ACM).
- 2% van het aardgas wordt gebruikt voor koken (CBS, 2018). In de toekomst vindt dit elektrisch plaats.
- Calorische onderwaarde (verbrandingswaarde) van aardgas is 31,65 MJ/m³.

Door de fracties verwarming en tapwaterbereiding te vermenigvuldigen met het rendement en de calorisch onderwaarde van aardgas ontstaat een factor waarmee de warmtevraag bepaald kan worden. Het resultaat is factor $30,3 \text{ MJ/m}^3 = 8,4 \text{ kWh/m}^3$ voor de omzetting van aardgas naar warmtevraag.

Blokverwarming

Blokverwarming houdt in dat de warmte voor appartementen in een appartementen complex in een centrale gasketel wordt opgewekt. Daarvandaan wordt het dan gedistribueerd naar de appartementen. Als er veel appartementen zijn aangesloten op dezelfde centrale gasketel dan komt het voor dat er een grootverbruikersaansluiting voor gas aanwezig is. Hierdoor komen de woningen niet voor in de data van de netbeheerders voor kleinverbruikers. Als er echter in dezelfde postcode van de appartementen wel woningen zijn met een kleinverbruikers aansluiting dan wordt het gasverbruik van die woningen over alle woningen en appartementen verdeeld. Dit leidt tot een onderschatting van het gasverbruik. Als de appartementen met blokverwarming liggen in een postcode die niet voorkomt in de data van netbeheerders dan worden de warmtevraag ingeschat met een kental.

Toekomstige warmtevraag

Door verduurzaming van woningen neemt de warmtevraag af. Betere isolatie zorgt ervoor dat minder warmte verloren gaat en daardoor neemt de warmtevraag af. De hoeveelheid afname van de warmtevraag hebben we gebaseerd op de verwachte sprong in energielabels. Het gebruik maken van energielabels is geen perfecte methode vanwege de volgende redenen:

- De methode voor het vaststellen van een energielabel van een woning is de afgelopen jaren een paar keer gewijzigd. De beschikbare energielabels zijn daarom niet allemaal met dezelfde methode vastgesteld.
- Behalve het niveau van isolatie wordt een energielabel ook beïnvloedt door duurzame energie opwek zoals bijvoorbeeld zonnepanelen.

Ondanks dat de methode niet perfect is geeft het wel een indicatie voor de afname in warmtevraag. Dezelfde methode is ook toegepast in de Startanalyse van het PBL¹³.

We hebben de verwachte afname in warmtevraag bepaald voor het volgende scenario:

- Woningen worden verwarmd met midden temperatuur warmte (ca. 70 °C).

Voor de verwarming op midden temperatuur wordt minimaal energielabel D nodig geacht. De woningen die op dit moment nog een te laag energielabel hebben zullen voor aanvang van aansluiting op een midden temperatuur warmtenet verduurzaamd moeten worden. Het gaat daarbij vooral om maatregelen die effect hebben op de schil van de woning, zoals: gevel-, vloer-, spouwmuur- en dakisolatie, of vervanging van ramen. Deze maatregelen zorgen er namelijk voor dat het label verandert en de temperatuur voor ruimteverwarming omlaag kan bij een gelijkblijvend comfort. Tabel 6.5 laat de energiebesparing van de woningen zien door de sprong te maken naar energielabel D¹³.

Tabel 6.5 | Energiebesparing door woning verder te verduurzamen en daarmee een beter energielabel te verkrijgen.

Huidige energielabel	Beoogd energielabel	Energiebesparing
Verwarmen met midden temperatuur warmte		
G	D	11%

¹³ PLB, Bepaling energiebesparing door isolatie van woningen in de startanalyse 2020, 12 november 2022.

F	D	11%
E	D	8%
Onbekend	D	16%

We hebben geen afname in warmtevraag bepaald voor utiliteit. Het is namelijk lastig te voorspellen hoeveel de afname voor de verschillende utiliteitsfuncties zal zijn.

Het is de verwachting dat de huidige warmtevraag van de gebouwen in de toekomst gaat veranderen. Door verduurzaming en extra isolatie van de gebouwen zal de toekomstige warmtevraag afnemen. Er is daarbij gekeken naar het volgende toekomstscenario:

- Gebouwen worden verwarmd met midden temperatuur warmte (ca. 70 °C).

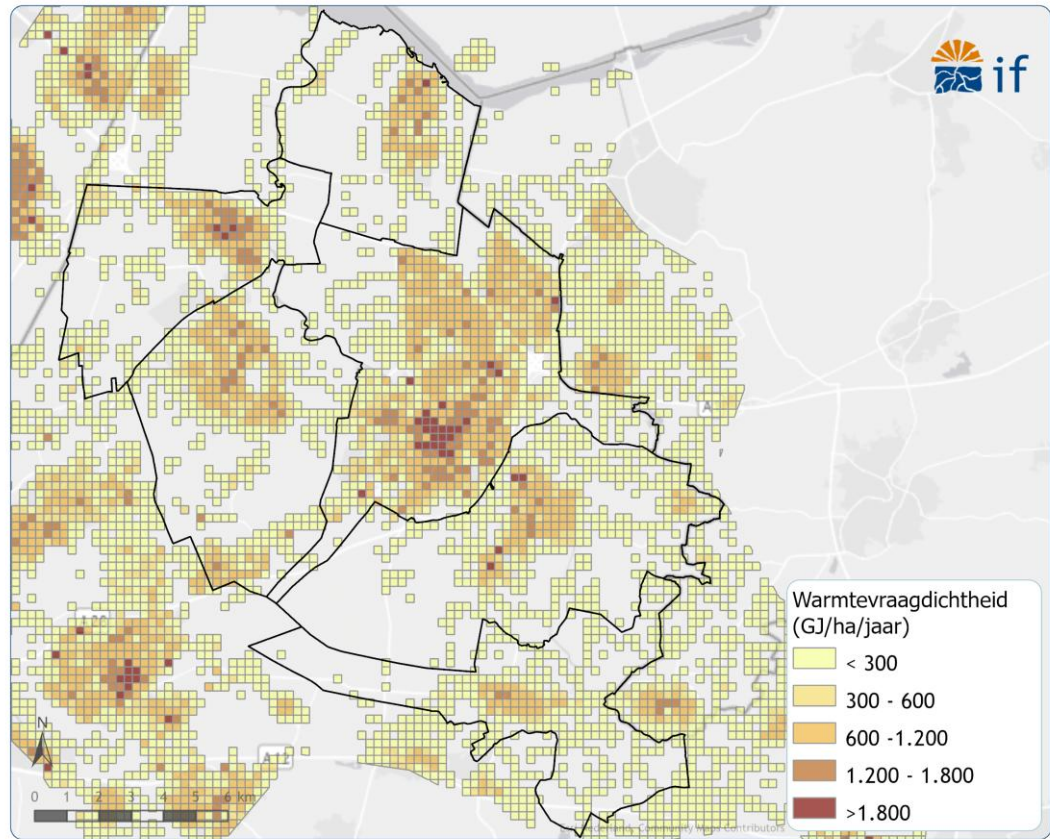
Als gevolg van de (toenemende) isolatie is het mogelijk voor de gebouwen om aan te sluiten op een midden temperatuur warmtenet wat gevoed wordt door geothermie. Het voordeel van dit type warmtenet is dat de temperatuur hoog genoeg is om direct tapwater te leveren en daarvoor is geen extra techniek in de woning nodig. Als een warmtenet op lage temperatuur (rond de 45-50 °C) wordt uitgelegd dan is extra isolatie nodig, is er techniek in de woning nodig voor de tapwaterproductie en zijn veelal aanpassingen nodig aan het afgiftesysteem (convectoren of vloerverwarming). Dit type warmtenet is daarom vooral goed toepasbaar bij nieuwere woningen, die al bij de bouw zeer goed geïsoleerd worden. In Tabel 6.6 is de verwachte warmtevraag na isolatie van de verschillende gemeentes in het projectgebied weergegeven.

Tabel 6.6 | huidige warmtevraag per gemeente en na isolatie naar minimaal energielabel D zodat de gebouwen verwarmd kunnen worden met MT-warmte.

Gemeente	Huidige warmtevraag [GJ/jaar]	Warmtevraag na isolatie voor MT-warmte [GJ/jaar]
Amersfoort	3.364.000	2.635.000
Baarn	651.000	531.000
Bunschoten	387.000	335.000
Leusden	629.000	557.000
Soest	1.040.000	853.000
Woudenberg	249.000	209.000

Warmtevraagdichtheid

Op basis van de geschatte toekomstige warmtevraag hebben we de warmtevraagdichtheid bepaald. Daarbij hebben we voor grids van 250 bij 250 meter de totale warmtevraag in dat grid geschat en dat vertaald naar een warmtevraagdichtheid. In Figuur 6.13 is de warmtevraagdichtheid weergegeven. We hebben ook de warmtevraagdichtheid in een strook rondom het projectgebied bepaald. Dit is interessant omdat een geothermiedoublet binnen het projectgebied mogelijk warmte kan leveren aan de gebouwde omgeving die er net buiten ligt. Zoals te verwachten is de hoogste warmtevraagdichtheid te vinden in de kernen van de plaatsen in het projectgebied. Vooral in het centrum van Amersfoort is een hoge warmtevraagdichtheid te vinden.



Figuur 6.13 | Warmtevraagdichtheid in het projectgebied. De grids zijn 250 bij 250 meter.

6.3.2

Clusters

De businesscase van een collectief systeem wordt beter als het projectgebied een hoge warmtevraagdichtheid heeft en een grote warmtevraag. We hebben onderzocht waar mogelijk collectieve systemen met een warmtenet financieel haalbaar zijn. Deze analyse staat los van de potentie van geothermie. Een gevonden cluster wil dus niet zeggen dat geothermie als bron daar haalbaar is. De haalbaarheid van geothermie bespreken we later als we de combinatie tussen de clusters en de potentie van geothermie maken.

Criteria clusters

Om te bepalen waar mogelijk collectieve systemen geschikt zijn hebben we gekeken of er clusters zijn waarbij de warmtevraagdichtheid en totale warmtevraag groot genoeg is. Clusters zijn bepaald als aangrenzende gebieden waarbinnen de warmtevraagdichtheid hoog genoeg is. Voor het selecteren hebben wij de volgende criteria aangehouden:

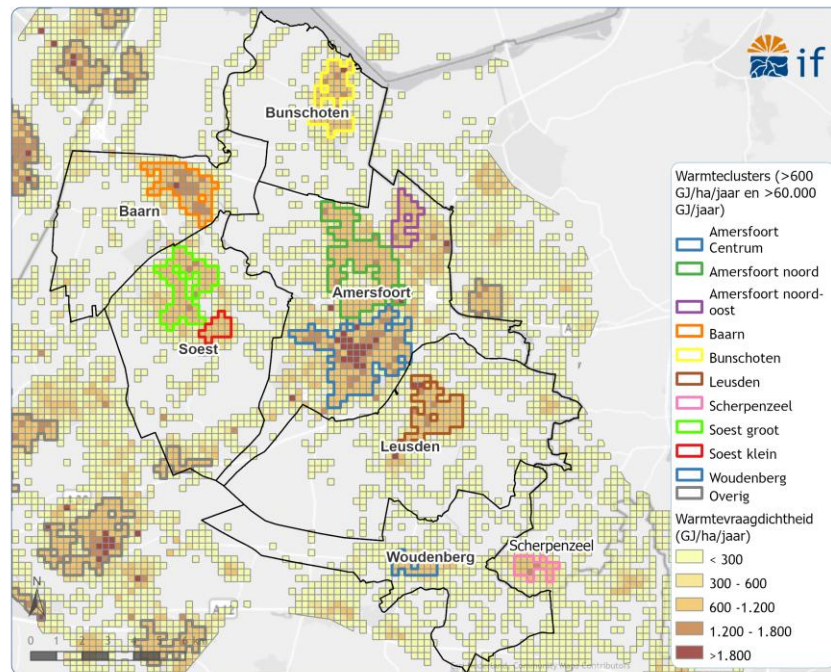
- **Minimum voor een geothermisch warmtenet:**
 - Minimale warmtevraagdichtheid = 600 GJ/ha/jaar. Dit is de minimale dichtheid die nodig is om een collectief warmtenet rendabel aan te leggen¹⁴.

¹⁴ Kruif et al., 2018: Nationaal potentieel van aquathermie: Analyse en review van de mogelijkheden. CE Delft en Deltaris. <https://ce.nl/publicaties/nationaal-potentieel-van-aquathermie/>

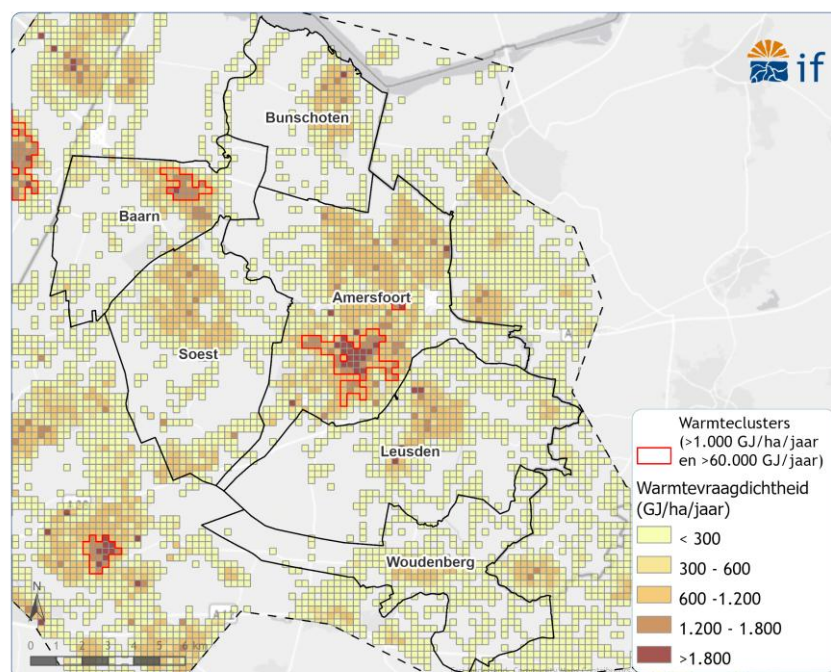
- Minimale totale warmtevraag = 60.000 GJ/jaar (± 1.500 woningequivalenten).
 - > De minimale totale warmtevraag is bepaald op basis van wat er minimaal nodig is voor systemen in de formatie van Slochteren en Breda.
 - > Formatie van Slochteren: de minimale grootte is berekend op basis van een geothermiesysteem van $\pm 5,0$ MWt en ± 3.500 draaiuren per jaar wat resulteert in 63.000 GJ/jaar. Een vermogen van 5 MWt voor een regulier geothermiesysteem is relatief laag. Deze waarde is zo laag gehouden zodat er geen eventueel geschikte warmteclusters worden uitgesloten.
 - > Formatie van Breda: de minimale grootte is berekend op basis van een geothermiesysteem met een lage temperatuur warmtenet van ongeveer 25°C . Hierbij wordt WKO toegepast om warmte in de zomer op te slaan en in de winter te gebruiken. In de woningen staan warmtepompen om de temperatuur op te hogen. Voor de warmtevraag gaan we uit van $\pm 2,0$ MWt, een COP van 4 van de warmtepompen en ± 8.000 draaiuren per jaar wat resulteert in 77.000 GJ/jaar.
- Deze clusters geven aan waar mogelijkheden zijn voor geothermisch warmtenet. Het gaat om een ondergrens, dus als aan deze criteria is voldaan wil dat niet direct zeggen dat een geothermisch warmtenet ook echt haalbaar is. Er is bij deze clusters alleen gekeken naar de bovengrondse vraag en nog niet naar de ondergrondse potentie. Daarnaast zijn er mogelijk gebieden rondom de gevonden clusters die niet groot genoeg zijn voor een zelfstandig geothermisch warmtenet maar wel kunnen aansluiten bij een ander cluster. Dit kan in een vervolg onderzocht worden.
- **Geschikter voor een geothermisch warmtenet:**
 - Minimale warmtevraagdichtheid = 1.000 GJ/ha/jaar.
 - Minimale totale warmtevraag = 60.000 GJ/jaar (± 1.500 woningequivalenten).
 - Deze clusters geven een welke clusters geschikter zijn voor een warmtenet vanwege de hogere warmtevraagdichtheid.

Clustering

In Figuur 6.14 en Figuur 6.15 zijn de clusters zichtbaar die bepaald zijn met de criteria uit de vorige paragraaf. Zoals te verwachten zijn de clusters voornamelijk gelegen in de dorpen en steden. Er is een duidelijk verschil te zien in clusters tussen beide kaarten. In de kaart met minimale criteria is er in elke gemeente een warmtecluster te vinden die grote delen van de bebouwde omgeving omvatten. Bij de strengere criteria worden alleen clusters in Baarn en Amersfoort gevonden. Dit wil niet zeggen dat in de andere gemeente geen geothermiesysteem haalbaar is. Het is echter wel zo dat geothermiesystemen in Baarn en Amersfoort op basis van de warmtevraag het meest realistisch zijn. De warmtevraagdichtheid is hier namelijk het hoogst.



Figuur 6.14 | Bepaalde warmteclusters waar de warmtevraagdichtheid minimaal 600 GJ/ha/jaar is en de totale warmtevraag minimaal 60.000 GJ. De belangrijkste clusters zijn met een aparte kleur weergegeven.



Figuur 6.15 | Bepaalde warmteclusters waar de warmtevraagdichtheid minimaal 1.000 GJ/ha/jaar is en de totale warmtevraag minimaal 60.000 GJ.

Tabel 6.7 geeft een overzicht van de kenmerken van de belangrijkste clusters zoals weergegeven in Figuur 6.14. In de tabel zijn de totale warmtevraag en warmtevraagdichtheid te zien van de clusters. Baarn en Amersfoort hebben de hoogste warmtevraagdichtheid en totale warmtevraag wat ook verklaart waarom die twee clusters overblijven bij de strengere criteria.

Verder is de woningtypering en bouwjaar van de woningen gegeven. Appartementen zijn meestal goedkoper om aan te sluiten op een warmtenet, dus hoe meer appartementen in een cluster liggen hoe gunstiger dat is voor de haalbaarheid van een geothermiesysteem. Daarnaast zijn appartementencomplexen een mogelijke aanjager voor de realisatie van een warmtenet omdat er dan in één keer veel woningen tegelijkertijd worden aangesloten. De bouwjaaren geven een indicatie welk type warmtenet mogelijk is: ZLT, LT of MT. Hoe nieuwer de woningen hoe lager de benodigde temperatuur om de woning comfortabel te verwarmen zonder veel additionele isolatiemaatregelen. In alle clusters zijn woningen aanwezig die MT-warmte nodig hebben behalve Amersfoort noordoost. Bijna alle woningen zijn daar van na 1995, dus daar is het mogelijk om met een LT- of ZLT-net te verwarmen.

Als laatst staat genoteerd welk deel van de woningen van woningcorporaties of particulier verhuurders is. Een hoog aandeel huurwoningen is positief voor de haalbaarheid van een warmtenet omdat er niet met elke losse bewoner onderhandeld hoeft te worden over een aansluiting maar alleen met de verhuurders. Vooral woningcorporatiewoningen zijn daarom interessant omdat dan in één keer afspraken over aansluiting op het warmtenet voor veel woningen tegelijk gemaakt kunnen worden.

Tabel 6.7 | Informatie over gebouwen en woningen in de clusters Baarn, Bunschoten, Amersfoort en Amersfoort Noord. De clusters zijn bepaald met een minimale warmtevraagdichtheid van 600 GJ/ha/jaar is en een totale warmtevraag van minimaal 60.000 GJ.

	Baarn	Bunschoten	Amersfoort Centrum	Amersfoort noord	Amersfoort noordoost
Totale warmtevraag (GJ/jaar)	364.000	237.000	1.044.000	591.000	127.000
Warmtevraagdichtheid (GJ/ha/jaar)	1.040	880	1.220	880	810
Aantal woningen	9.586	7.245	31.925	20.101	4.156
Aantal utiliteit	529	299	2.135	524	46
Woningtypering					
Appartement	31,5%	24,5%	53,9%	25,7%	20,8%
Hoekwoning	16,6%	19,9%	12,4%	15,7%	15,5%
Tussenwoning/geschakeld	30,3%	42,5%	27,6%	53,5%	47,2%
Twee-onder-een-kap	13,9%	8,8%	4,9%	3,2%	10,0%
Vrijstaande woning	7,7%	4,2%	1,3%	1,9%	6,4%
Bouwjaar woningen					
<=1900	4,6%	1,9%	3,8%	0,1%	0,0%
<=1945	23,8%	6,7%	27,3%	0,3%	0,0%
<=1965	22,1%	10,4%	18,3%	1,4%	0,1%
<=1985	28,4%	36,2%	21,5%	22,9%	0,1%
<=1995	7,4%	11,6%	7,2%	52,7%	0,0%
<=2005	5,7%	9,3%	5,6%	18,9%	31,5%
<=2015	3,7%	13,1%	6,2%	1,2%	33,3%
<=2025	4,3%	10,6%	9,9%	2,6%	34,9%

Huurwoningen					
Aandeel woningcorporatie	26%	14%	36%	25%	21%
Aandeel particuliere verhuur	11%	13%	19%	9%	9%
Totaal aandeel huurwoningen	37%	27%	55%	34%	30%

Tabel 6.8 | Informatie over gebouwen en woningen in de clusters Soest groot, Soest klein, Leusden, Woudenberg en Scherpenzeel. De clusters zijn bepaald met een minimale warmtevraagdichtheid van 600 GJ/ha/jaar is en een totale warmtevraag van minimaal 6.000 GJ.

	Soest groot	Soest klein	Leusden	Woudenberg	Scherpenzeel
Totale warmtevraag (GJ/jaar)	351.000	75.000	329.000	99.000	99.000
Warmtevraagdichtheid (GJ/ha/jaar)	910	860	960	880	930
Aantal woningen	10.749	1.805	8.193	3.015	2.641
Aantal utiliteit	372	151	450	119	117
Woningtypering					
Appartement	44,3%	22,0%	27,1%	21,0%	20,0%
Hoekwoning	11,6%	14,2%	15,7%	21,2%	24,0%
Tussenwoning/geschakeld	26,2%	22,2%	48,6%	37,0%	32,0%
Twee-onder-een-kap	10,1%	28,0%	5,1%	14,0%	14,4%
Vrijstaande woning	7,8%	13,6%	3,5%	6,8%	9,6%
Bouwjaar woningen					
<=1900	0,3%	0,1%	0,1%	0,8%	0,7%
<=1945	14,8%	31,2%	0,4%	4,9%	11,9%
<=1965	17,1%	35,6%	3,5%	19,5%	9,2%
<=1985	46,0%	8,9%	66,1%	30,5%	41,2%
<=1995	11,6%	3,1%	14,8%	19,9%	12,3%
<=2005	5,5%	9,7%	5,4%	10,0%	10,0%
<=2015	2,5%	5,6%	2,5%	7,7%	6,5%
<=2025	2,2%	5,8%	7,2%	6,6%	8,2%
Huurwoningen					
Aandeel woningcorporatie	26%	8%	23%	22%	18%
Aandeel particuliere verhuur	14%	9%	10%	8%	10%
Totaal aandeel huurwoningen	40%	17%	33%	30%	28%

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**