

Geothermie in Oost-Gelderland

Geologische bureaustudie Oost-Gelderland en Eerbeek-Loenen





Datum 14 april 2020

Referentie 69372/JK/20200414

Betreft Geologische bureaustudie Oost-Gelderland en Eerbeek-Loenen

Behandeld door L. Borst, M. de Kruijf, P. Oerlemans

Gecontroleerd door J. Kwee

Versienummer Versie 1.0

OPDRACHTGEVER

Provincie Gelderland

Markt 11 | 6811 CG Arnhem

Postbus 9090 | 6800 GX Arnhem

T 026 359 99 99

post@gelderland.nl

Samenvatting

In opdracht van de Provincie Gelderland heeft IF Technology de vraag gekregen de potentie voor Hoge temperatuur opslag (HTO) en geothermie in kaart te brengen voor de Regio Oost-Gelderland. De nationale modellen op ThermoGIS en DINOloket dienen als startpunt, waarna een verdieping voor regionaal en lokaal niveau volgt. Voor deze verdieping is gebruik gemaakt van de NLOG-gegevens beheerd door TNO, geologisch kaartmateriaal, eerder uitgevoerde studies door IF Technology en aanvullende literatuur. Daarnaast zijn boorputgegevens en seismische data bekeken, indien beschikbaar en relevant.

GEOLOGISCHE STUDIE OOST-GELDERLAND

Om een volledig beeld te krijgen van de geothermische potentie is allereerst een geologische interpretatie gemaakt waarin wordt gekeken welke geologische formaties en laagpakketten geschikt kunnen zijn voor HTO en geothermie. De geologische kenmerken die hierin worden bekeken zijn diepteligging, dikte, doorlatendheid (permeabiliteit) en temperatuur.

In de regio Oost-Gelderland zijn er tot een diepte van ong. 1000 m enkele geologische laagpakketten geschikt voor HTO dan wel ondiepe geothermie OGT. Ter definitie: bij een ondiepe geothermische installatie wordt warm water onttrokken uit gesteente tussen de 500 en 1500 meter diep. De temperatuur van het omhoog gepompte water is relatief laag en ligt tussen ongeveer de 20 en 45 graden Celsius. Afhankelijk van de warmtevraag kan de techniek worden toegepast in combinatie met een warmtepomp. De belangrijkste markt voor OGT ligt bij gebruikers die vooral lage temperatuur warmte nodig hebben, zoals nieuwbouwwoningen, bedrijfshallen of kassen.

Voor diepe geothermie (1500-4000 m diep) is de regio Oost-Gelderland minder geschikt. Er ontbreken hier veel van de laagpakketten die in het westen en noorden van het land wel succesvol worden gebruikt voor geothermische projecten. Deze zijn afwezig door erosie, zijn nooit afgezet of wanneer ze wel aanwezig zijn, zijn ze vaak te dun om genoeg warm water uit te kunnen winnen.

Voor de ultradiepe formaties (> 4000 m) is de lokale informatie zeer beperkt, waardoor de geologische kenmerken niet goed vastgesteld kunnen worden. Uit recente studies blijkt dat de meeste geothermische potentie in de ultradiepe ondergrond waarschijnlijk in kalksteenlagen in de Zeeland Formatie zitten. In het kader van de UDG Green Deal zijn over deze formatie nieuwe rapporten geschreven op basis van een revisie op bestaande data. Met behulp van deze aanvullende informatie is er wel een kwalitatieve beschrijving afgegeven van dit laagpakket.

HOGE TEMPERATUUR OPSLAG

Twee geologische formaties bieden in de regio Oost-Gelderland een aanzienlijke potentie voor ondergrondse warmte opslag. De ondiepste formatie is de Formatie van Maassluis. Deze heeft warmteopslag potentie nabij de IJssel, met de hoogste potentie in het gebied tussen de Veluwe en de IJssel, van Dieren tot aan Olst. Voor HTO is naast een geschikt reservoir ook een afsluitende kleilaag vereist. Op de resulterende kaart is aangegeven waar een kleilaag met voldoende dikte aanwezig is bovenop dit reservoir.

De tweede formatie met voldoende potentie voor HTO in de regio Oost-Gelderland is de Formatie van Oosterhout. De zandlagen van de Formatie van Oosterhout zijn wijder verbreid dan die van de Formatie van Maassluis. Daardoor biedt deze formatie potentie voor warmteopslag in een relatief groter gebied: ten noorden van de Waal en Rijn en ten westen van de lijn Lochem - Ulft. De kleiige eenheid aan de top van de Formatie van Oosterhout kan dienen als afsluitende laag boven een opslagpakket. De combinatie van opslagpakket en afsluitende kleilaag (Oosterhout eerste kleiige eenheid) is vermoedelijk aanwezig van Arnhem tot aan Zevenaar, in het gebied ten oosten van de IJssel tussen Arnhem en Brummen, tussen Apeldoorn en Brummen en Doetinchem. In al deze gebieden is de potentie voor warmteopslag in de formatie van Oosterhout midden tot hoog.

Naar verwachting is het grondwater zoet op diepte van de Formatie van Maassluis. Afhankelijk van de locatie kan het voorkomen dat het zoet-brakgrensvlak zich in of nabij de Formatie van Oosterhout bevindt. Voor het bepalen van de precieze diepte van dit grensvlak is nader locatie-specifiek onderzoek nodig. In een bijlage van het hoofdrapport is de diepte van het zoet-brakgrensvlak toegevoegd voor een eerste inschatting.

ONDIEPE GEOTHERMIE

De geologische formatie met de meeste potentie is het zand van het Laagpakket van Brussel. Dit laagpakket komt enkel in het noordwesten van het gebied voor binnen de gemeentes Voorst, Lochem, Zutphen en het noorden van Bronckhorst. In de overige gemeentes is dit laagpakket of nooit afgezet of geërodeerd. De diepte van de bovenkant van dit reservoir ligt tussen de 400 m in het oosten van de gemeente Lochem en de 900 m in de gemeente Voorst. Economisch wordt winning van geothermie echter pas interessant vanaf 500m, omdat vanaf deze diepte de subsidie, "Stimulering Duurzame Energieproductie" (SDE++), kan worden aangevraagd.

De hoogste geothermische potentie is aanwezig in het westelijke deel, waar het Laagpakket van Brussel aanwezig is. De berekende potentie ligt maximaal rond de 3 MW, hierbij wel gezegd dat deze gebaseerd is op een scenario indien er verticaal geboord wordt. Dit is de conventionele manier voor geothermie, maar deze zou hoger kunnen worden indien gebruikt wordt gemaakt van een gedeveierde of horizontale boring. Horizontaal boren is met succes toegepast in de olie- en gasindustrie, maar in de geothermie is hier nog maar beperkte ervaring mee. Het debiet zou een factor 2 tot 4 hoger kunnen liggen, indien horizontaal wordt geboord.

Op dit moment is één ondiep geothermieproject gerealiseerd in Nederland. Dit project bevindt zich in Zevenbergen. Het produceert ook uit het Laagpakket van Brussel en is tevens het enige project waarbij geothermie wordt gewonnen door middel van horizontale putten.

Ultra diepe geothermie

De carbonaten uit het Dinantien lijken de beste optie voor Ultra Diepe Geothermie in Nederland. Echter, is nog veel onduidelijk over de geothermische potentie in de diepe (>4 km) Nederlandse ondergrond. Voor een kwantitatieve analyse van de carbonaten in de Zeeland Formatie zijn momenteel te weinig gegevens beschikbaar. Wel zijn recent afgeronde onderzoeken van het SCAN programma beschikbaar. Hier volgt een kwalitatieve beschrijving gebaseerd op de laatste rapportage uit dit SCAN programma.

In de regio Oost-Gelderland ligt één put die het Dinantien heeft aangeboord. Dit is de WSK-01 put bij Winterswijk die tot 5000 m diep is geboord. Op de 2D seismische data in de buurt van de WSK-01 put wordt een duidelijke horizontale reflectie waargenomen. Deze wordt echter veroorzaakt door een magmatisch gesteente boven de carbonaten uit het Dinantien, waardoor het Dinantien zelf niet tot nauwelijks te zien is in het reservoir.

Ook zijn de carbonaten aangetroffen in de WSK-01 put meer gemixt met o.a. klei dan in andere Dinantien putten in Nederland. De geleidelijke overgang met de laag erboven zorgt ook voor een minder duidelijke reflectie.

Een platform structuur kan aanwezig zijn ten noorden van WSK-01, maar de omvang hiervan is onbekend. Breukzones in het Dinantien kunnen een hogere permeabiliteit en dus een hogere geothermische potentie hebben. Her-processen van bestaande seismische data en acquisitie van nieuwe data kan hier inzicht in bieden. Op basis van huidige inzichten zijn een aantal zones als met verhoogde kans op een hoge geothermische potentie weergegeven.

INHOUSOPGAVE

1 Inleiding	8
1.1 Introductie	8
1.1.1 Doel	8
1.2 Opzet van het rapport	8
2 Geothermie en HTO	10
2.1 Wat zijn geothermie en HTO	10
2.1.1 Geothermie	10
2.1.2 Hogetemperatuuropslag (HTO)	11
2.2 Soorten geothermie	11
2.2.1 Ondiepe geothermie (OGT)	12
2.2.2 Geothermie (GT)	12
2.2.3 Ultradiepe geothermie (UDG)	13
2.2.4 Hogetemperatuuropslag (HTO)	13
2.3 Risicobeheersing	13
2.4 Omgevingsbelangen	14
2.5 Huidige stand van zaken	14
3 Geologie	16
3.1 Introductie	16
3.2 Geologische geschiedenis	16
3.3 Seismische secties	19
4 Reservoirinventarisatie	24
4.1 Reservoir inventarisatie	24
4.1.1 Paleogeen	25
4.1.2 Krijt en Jura	26
4.1.3 Trias	26
4.1.4 Perm	27
4.1.5 Carboon	28
5 Potentiebepaling	32
5.1 Potentie HTO	32
5.1.1 Hoge Temperatuur Opslag in Oost-Gelderland	32
5.1.2 Bodemeigenschappen voor HTO	32
5.1.3 Zoekgebied	33
5.1.4 Geologische situatieschets	34
5.1.5 Kwalitatieve inschatting mogelijkheden voor warmteopslag	35
5.1.6 Kwantitatieve inschatting mogelijkheden voor warmteopslag	38
5.2 Potentie (o)GT	41
5.2.1 Workflow	41
5.2.2 Formaties geschikt voor geothermie	42
5.2.3 Putselectie	42
5.2.4 Putanalyse en opschaling	43
5.2.5 Potentiebepaling	46
5.2.6 Zand van Brussel Laagpakket	46
5.3 Potentie UDG	49
5.3.1 SCAN rapportage	50

6 Resultaten	51
6.1 HTO potentie kaarten	51
6.1.1 Formatie van Maassluis	52
6.1.2 Formatie van Oosterhout	53
6.2 OGT kaarten	54
6.2.1 Diepte	55
6.2.2 Temperatuur	56
6.2.3 Transmissiviteit	57
6.2.4 Potentie	58
6.3 UDG - Zeeland formatie in Oost-Gelderland	59
6.3.1 Seismische data	59
6.3.2 Boorputten	59
6.3.3 Vergelijk Seismiek - Boorputten	59
6.3.4 Mogelijke potentie	59
6.3.5 Dieptekaart Dinantien Carbonaten	60
7 Conclusies	62
7.1 potentie voor Hoge Temperatuur Opslag	62
7.2 Potentie voor (Ondiepe) geothermie	62
7.3 Potentie voor Ultra diepe geothermie	63
7.3.1 Vervolg	64
8 Referenties	65
Bijlage: Kaarten	67

1 Inleiding

1.1 INTRODUCTIE

Om de duurzaamheidsdoelstellingen uit de diverse akkoorden te halen wordt gewerkt aan regionale energiestrategieën en gemeentelijke warmteplannen. Geothermie kan in potentie een significante bijdrage leveren aan deze doelstellingen. De provincie Gelderland heeft daarom opdracht gegeven aan IF Technology voor een geologische bureaustudie om voor twee specifieke locaties beter inzicht krijgen in de potentie van hoge temperatuuropslag (HTO), ondiepe geothermie (OGT), geothermie (GT) en ultradiepe geothermie (UDG).

Dit rapport beschrijft de geologische setting, de aanwezige geothermische reservoirs, de verschillende eigenschappen van de ondergrond en de potentiekaarten voor de verschillende soorten geothermie.

1.1.1 Doel

Het doel van de opdracht is het analyseren van bestaande gegevens over de ondergrond, zodat er vanuit ondergronds perspectief een inschatting gemaakt kan worden hoe kansrijk (ondiepe, diepe en ultradiepe) geothermie als oplossing voor de warmtevraag kan zijn. Is het bijvoorbeeld zinvol om voor een locatie rekening te houden met geothermie als één van de warmtebronnen, of is dat - gezien van de toestand van de ondergrond - niet reëel? Is het nuttig om te investeren in lokaal onderzoek (zoals seismiek) naar een geothermieproject? Het projectresultaat moet bijdragen aan het oplossen van de vraagstukken die voorliggen vanuit de Regionale Energie Strategieën en gemeentelijke warmtevisies, zoals bijvoorbeeld de keuze van een alternatieve warmtebron voor grote energieverbruikers zoals de papierindustrie in Eerbeek-Loenen. Dit rapport richt zich niet op de bovengrondse afzet- en ontwikkelkansen voor de toepassing van geothermie, maar brengt juist de ondergrond in beeld.

Veel informatie is gebaseerd op landelijke modellen (o.a. ThermoGIS en data van NLOG) en hoewel dit een goed startpunt is, geeft dit regionaal en lokaal niet het complete beeld. Daarnaast kan deze informatie technisch aanvoelen en is soms moeilijk leesbaar voor leken.

Uiteindelijk doel van dit rapport is de Provincie Gelderland helpen relevante partijen te informeren over de kansen in de ondergrond ten aanzien van geothermie.

1.2 OPZET VAN HET RAPPORT

Zoals gezegd, de informatie uit de landelijke kaarten geven een indicatie van de mogelijkheden en is een startpunt voor verdere lokale verdieping. Deze verdieping vindt plaats door de lokale putgegevens nauwkeuriger te interpreteren, aan te vullen met nieuw beschikbare gegevens en de nieuwste inzichten ten aanzien van mogelijk geschikte formaties. Met deze lokale verdieping ontstaat een volledig actueel beeld van de mogelijkheden van geothermie. Hiermee kan de RES of een gemeente haar beleid rond geothermie verder concretiseren en wordt het voor investeerders eenvoudig om de kansen voor geothermie goed te beoordelen.

De eerste stap is een inventarisatie van de lokale geologie: hieruit wordt duidelijk welke formaties mogelijk geschikt zijn voor geothermie. Voor deze lagen zijn verschillende geologische kenmerken verzameld en op kaarten weergegeven. Vervolgens zijn deze geologische data

gebruikt om de potentie van geothermie te bepalen. Deze potentie is weergegeven als de hoeveelheid warmte (MW) die uit een geothermie doublet op een specifieke locatie zou kunnen worden geproduceerd.

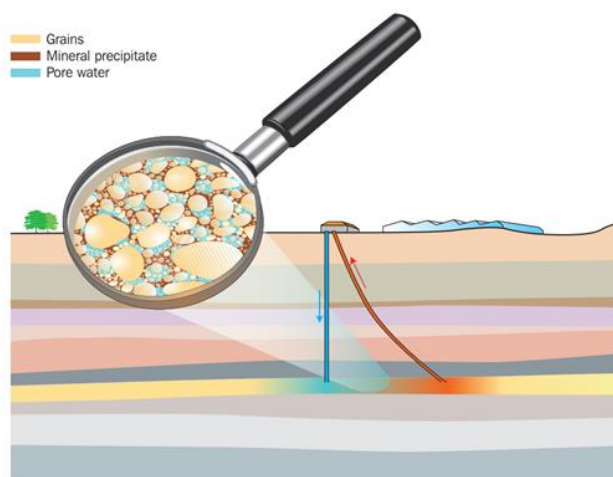
2 Geothermie en HTO

2.1 WAT ZIJN GEOTHERMIE EN HTO

Geothermie of hoge temperatuuropslag (HTO) zijn methodes 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. HTO is een opslagtechniek waarbij overtollige warmte (met hoge temperatuur) wordt opgeslagen in een laag in de ondergrond. Deze warmte kan dan later weer gewonnen worden, wanneer hier behoefte aan is.

2.1.1 Geothermie

Om de warmte uit de grond te halen worden er twee diepe putten geboord naar een geschikte, waterhoudende laag. De eerste put (producer) 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 (injector) weer terug in de grond, in dezelfde diepe aardlaag. Bovengronds staan deze putten enkele meters uit elkaar maar het uiteinde van deze injectorput 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 (Figuur 2.1).

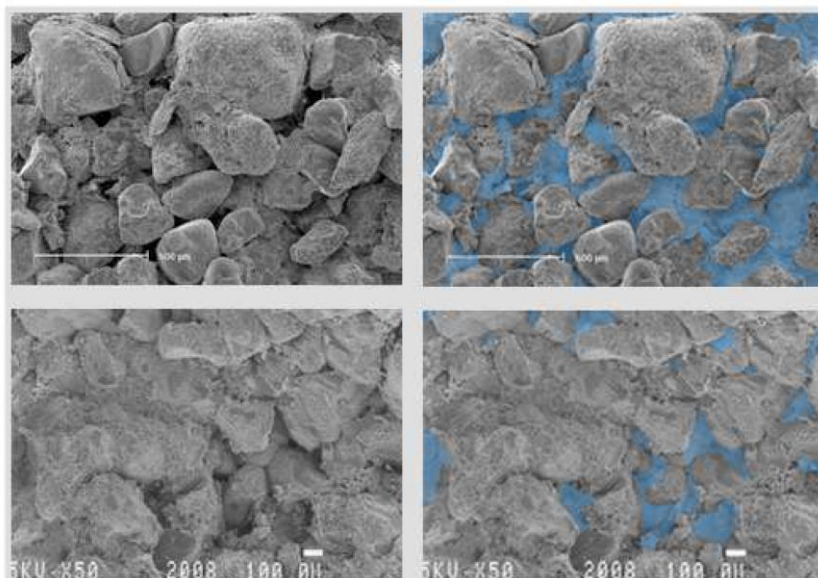


Figuur 2.1 | Basisprincipes geothermie (niet op schaal).

Om een geschikte laagpakket te vinden voor het gebruik van geothermie zijn verschillende eigenschappen van belang; er dient voldoende water aanwezig te zijn, waarbij dikte van een pakket en de porositeit (verhouding poriën/vast gesteente) belangrijke parameters zijn, de permeabiliteit (doorlaatbaarheid) van het pakket moet voldoende zijn en de temperatuur van het water moet hoog genoeg zijn. Een gesteente dat water (of olie of gas) kan bevatten wordt ook wel een reservoir of aquifer genoemd.

Interessante reservoirgesteentes zijn zandstenen. Zandstenen bestaan uit zandkorrels en tussen deze korrels zitten holtes waar mogelijk water in zou kunnen zitten (porositeit). Indien deze

holtes met elkaar verbonden zijn, kan het water ook stromen en makkelijker gewonnen worden (permeabiliteit).



Figuur 2.2 | Porositeit en permeabiliteit van een reservoirgesteente weergegeven middels Scanning Electron Microscope. De zandsteen boven heeft veel ruimtes tussen de korrels (porositeit) die ook met elkaar in verbinding staan (permeabiliteit). De zandsteen onder is onderhevig aan cementvorming waardoor de zandkorrels aan elkaar verkit zijn. Verkitting zorgt voor minder holtes en vooral voor minder verbindingen tussen de holtes, resulterend in een verlaagde porositeit en permeabiliteit (Kramers et al., 2012)

In andere gesteentes kan naast de hierboven beschreven primaire porositeit ook secundaire porositeit voorkomen door (micro-)scheuren en breuken. De temperatuur is afhankelijk van de diepte en locatie van de gesteentelaag.

2.1.2 Hogetemperatuuropslag (HTO)

In tegenstelling tot geothermie is HTO is een opslagtechniek, waarbij overtollige warmte met een hoge temperatuur (circa 60 tot 90 °C) tijdelijk wordt opgeslagen in een fijnzandige laag in de bodem. Dit is bij voorkeur in een pakket met een kleilaag erboven om warmteverliezen te beperken. De opgeslagen warmte wordt in een latere periode onttrokken en gebruikt voor lage temperatuur verwarming (50 °C) van bijvoorbeeld gebouwen en kassen. De temperatuur is zodanig hoog dat geen gebruik gemaakt hoeft te worden van een warmtepomp.

2.2 SOORTEN GEOTHERIE

In het onderzoek wordt gekeken naar alle vormen van geothermie. Een overzicht hiervan is weergegeven in Tabel 2.1

Tabel 2.1 | samenvatting van de verschillende geothermische technieken

Techniek	Diepte [m-mv]	Temperatuur [°C]	Opwekking warmte	Externe warmtebron nodig?
----------	---------------	------------------	------------------	---------------------------

Hogetemperatuuropslag (HTO)	50 - 500	60 - 90	direct	ja
Ondiepe geothermie (OGT)	500 - 1.500	20 - 55	met warmtepomp	nee
Diepe geothermie (GT)	1.500 - 4.000	55 - 90	direct	nee
Ultradiepe geothermie (UDG)	> 4.000	> 120	direct	nee

2.2.1 Ondiepe geothermie (OGT)

Ondiepe geothermie of aardwarmte is de winning van warmte uit aardlagen tussen de 500 en 1.500 m. Ondiepe geothermie werkt volgens hetzelfde principe als diepe geothermie, maar omdat de temperaturen relatief laag zijn (lager dan 55°C) wordt deze methode meestal gebruikt in combinatie met een warmtepomp die eventueel van energie voorzien kan worden door een groene energiebron, zoals zonnepanelen. Dit maakt de operationele kosten hoger dan voor reguliere geothermie, maar daar staat tegenover dat boren juist een stuk goedkoper is. Daarbij zijn de onderhoudskosten ook relatief laag, omdat het opgepompte water een stuk minder zout is dan het water dat bij diepe geothermie opgepompt wordt.

OGT is geen opslagtechniek, netto wordt warmte aan de bodem onttrokken. OGT heeft geen externe warmtebron zoals bij HTO. In Nederland is OGT met name toegepast bij het verwarmen van thermische baden en kassen. In de gebouwde omgeving zijn nog geen toepassingen gerealiseerd. Dit komt enerzijds omdat weinig bekend is over dat deel (met name 300-1.000 m-mv) van de ondergrond waaraan warmte wordt onttrokken. Anderzijds waren tot voor kort de rendementen van warmtepompen op deze temperaturniveaus nog onvoldoende ontwikkeld om tot een goed verdienmodel te leiden. Tenslotte speelt mee dat onder de 500 m-mv de Mijnbouwwet strenge eisen stelt ten aanzien van boorveiligheid. Dit werkt sterk kostenverhogend en blijkt een belemmering voor realisatie. Wel kan voor projecten dieper dan 500 m een subsidie worden aangevraagd, de "Stimulering Duurzame Energieproductie" (SDE++)

De belangrijkste markt voor OGT ligt bij gebruikers die vooral lage temperatuur warmte nodig hebben, zoals (nieuwbouw)woningen, bedrijfshallen of kassen

2.2.2 Geothermie (GT)

Geothermie of aardwarmte is de winning van warmte uit aardlagen tussen de 1.500 en 4.000 m-mv. Omdat de temperaturen relatief hoog zijn (tussen de 55 en 90°C) kan de warmte direct aan de afnemer geleverd worden en is er dus geen warmtepomp nodig. Dit scheelt in de operationele kosten, maar hier staat tegenover dat de boorkosten voor een geothermieput hoger zijn dan die van een ondiepe geothermieput. Aan de andere kant is in vergelijking met OGT heel weinig pompenergie nodig om de warmte uit de bodem te onttrekken. Ook hier is het mogelijk om een subsidie aan te vragen voor een diep geothermisch project, de SDE++. De rendabiliteit van geothermie is niet of nauwelijks afhankelijk van de ontwikkeling van energieprijzen, maar is wel gevoelig voor stijgingen in de kapitaalkosten.

GT is dus ook geen opslagtechniek, netto wordt warmte aan de bodem onttrokken. GT heeft geen externe warmtebron zoals bij HTO. GT wordt in Nederland met name toegepast bij het verwarmen van kassen.

De belangrijkste markt voor GT ligt bij gebruikers die vooral hoge temperatuur warmte nodig hebben, zoals woningen, bedrijfshallen of kassen

2.2.3 Ultradiepe geothermie (UDG)

Bij ultradiepe geothermie wordt warmte gewonnen uit lagen vanaf 4.000 m. De temperatuur van het gewonnen water is zeer hoog (> 120 °C) en kan daarom direct aan de afnemer geleverd worden, of gebruikt worden om omgezet te worden naar elektriciteit.

Ultradiepe geothermie wordt op dit moment nog niet toegepast in Nederland. De voornaamste reden is dat er weinig kennis is over de aardlagen dieper dan 4000 m. Er zijn 45 boringen uitgevoerd dieper dan vier kilometer, ter vergelijking zijn er tussen de 1-3 kilometer ca. 4.000 boringen op het land uitgevoerd. Vanwege het grote potentieel in de hoge temperatuur aardwarmte voorziening wordt UDG op dit moment ontwikkeld binnen het kennisprogramma Green Deal Ultradiepe Geothermie (<https://www.greendeals.nl/green-deals/ultradiepe-geothermie>).

2.2.4 Hogetemperatuuropslag (HTO)

HTO is een opslagtechniek, waarbij overtollige warmte met een hoge temperatuur (circa 60 tot 90 °C) tijdelijk wordt opgeslagen in een fijnzandige laag in de bodem. Bij voorkeur in een pakket met een scheidende laag erboven om warmteverliezen te beperken. De opgeslagen warmte wordt in een latere periode onttrokken en gebruikt voor lage temperatuur verwarming (50 °C) van bijvoorbeeld gebouwen en kassen. De temperatuur is zodanig hoog dat geen gebruik gemaakt hoeft te worden van een warmtepomp. De hoge opslagtemperaturen maken een chemische behandeling van het grondwater nodig om de neerslag van mineralen in het systeem (bronnen, warmtewisselaar en leidingen) te voorkomen.

De belangrijkste markt voor HTO ligt bij het grootschalig opslaan van restwarmte van de industrie, afvalverbranding, geothermie, energiecentrale of WKK's. Verder kan HTO toegepast worden in combinatie met stadswarmtenetten. Belangrijke randvoorwaarden bij HTO is dat de restwarmte vrijwel gratis ter beschikking wordt gesteld, anders wordt het lastig om de businesscase rond te krijgen.

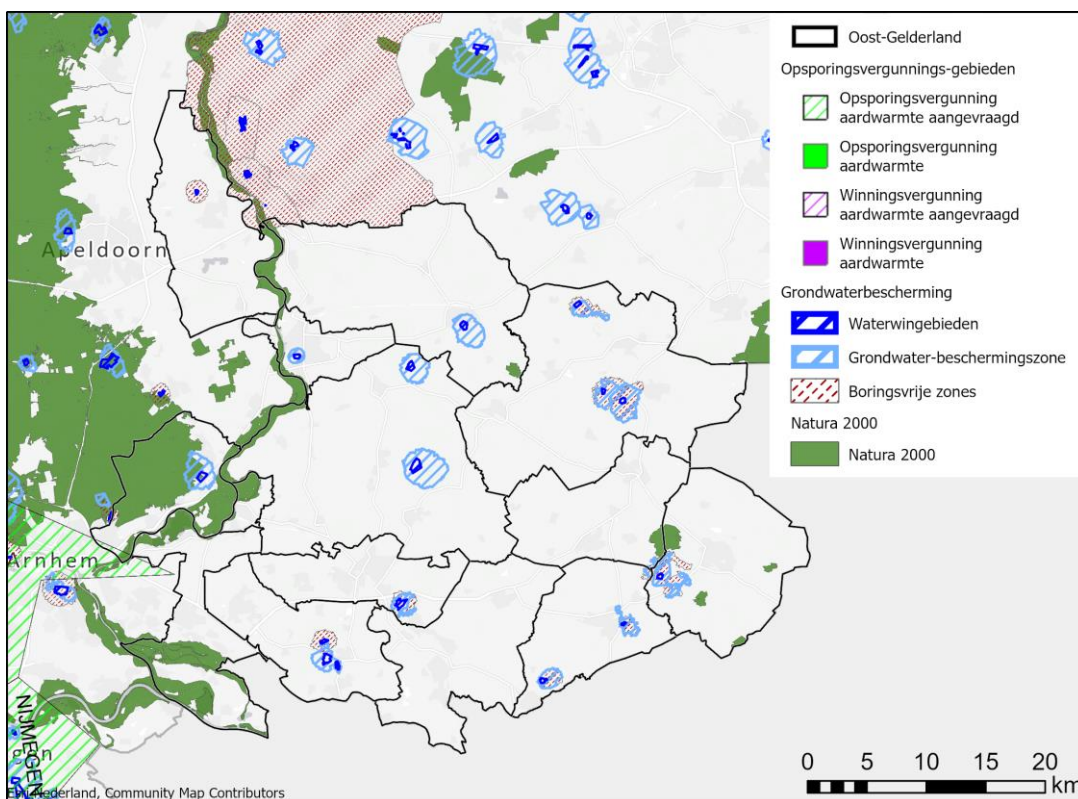
De installatie van een HTO systeem is qua bovengronds ruimtebeslag vergelijkbaar met een traditioneel WKO systeem. De zeer hoge opslagtemperaturen en het feit dat het grondwater behandeld moet worden, maakt dat de andere stakeholders in de ondergrond kritischer zijn naar deze toepassing.

2.3 RISICOBEBEERSING

De exploitatie van geothermie brengt onzekerheden en daarmee risico's met zich mee, welke middels grondig vooronderzoek en monitoring in kaart gebracht dienen te worden. Het Staatstoezicht op de Mijnen heeft een aantal technische kernpunten op het gebied van milieu- en veiligheidsrisico's geïdentificeerd (Staatstoezicht op de Mijnen, 2017): geïnduceerde seismiciteit, arbeidsveiligheidsrisico's, bijproductie van olie en gas en waterverontreiniging. Naast de technische risico's bestaan er ook financiële risico's, waaronder een afwijkende opbrengst van het reservoir.

2.4 OMGEVINGSBELANGEN

Bij het aanvragen van een opsporingsvergunning aardwarmte en de eventueel navolgende winningsvergunning aardwarmte moet rekening gehouden worden met bovengrondse omgevingsbelangen. Hieronder vallen natuurgebieden, waterwingebieden, huidige opsporings- en winningsvergunningen voor geothermie, en boringsvrije zones. In Figuur 2.3 is voor elk van deze belangen aangegeven waar ze een potentieel probleem kunnen vormen in (de omgeving van) Oost-Gelderland.



Figuur 2.3 | Omgevingsbelangen in de regio Oost-Gelderland.

2.5 HUIDIGE STAND VAN ZAKEN

Het eerste diepe geothermieproject in Nederland is in 2007 gerealiseerd en betreft de warmtevoorziening van tomatenkwekerij van den Bosch in Bleiswijk. Ondertussen zijn meer dan 20 projecten gerealiseerd en zijn er lopende initiatieven voor geothermie in vrijwel alle provincies. In 2019 werd er met geothermie 5.6 PJ warmte geproduceerd (DAGO, 2020). Van alle gerealiseerde projecten is slechts één project ontwikkeld in de bebouwde omgeving, het geothermie project aan de Leyweg in Den Haag. Momenteel worden putten en pompen aangesloten. Verwachting is dat van een diepte van ongeveer 2.200 m water met een temperatuur van ongeveer 75 °C geproduceerd kan gaan worden. Daarnaast zijn er initiatieven - in een onderzoeksfase - voor diepe geothermie in vrijwel alle provincies in Nederland. Specifieke informatie over enige van deze activiteiten is te vinden op de website van de Stichting Platform Geothermie (www.geothermie.nl).

In het verleden zijn twee Hoge Temperatuur Opslag (HTO) systemen (90 °C) gerealiseerd in Nederland: in Zwammerdam en bij de Universiteit Utrecht. Om verscheidene redenen, gerelateerd aan zowel technische (bovengronds en ondergronds) als economische aspecten, zijn

deze niet meer in gebruik. Op dit moment wordt in Noord-Holland een HTO pilotproject (full-scale) gerealiseerd binnen het internationale onderzoeksproject HEATSTORE. De ontwikkeling van HTO wordt nadrukkelijk genoemd in het klimaatakkoord (2019) en ook in het Nederlandse onderzoeksproject WarmingUP wordt HTO nader geïmplementeert in de energie-infrastructuur. Daarnaast zijn er sinds 1992 in Nederland zeker zes MTO-projecten (Middelhoge Temperatuur Opslag, opslagtemperaturen 30 - 45 °C), die nog altijd in bedrijf zijn.

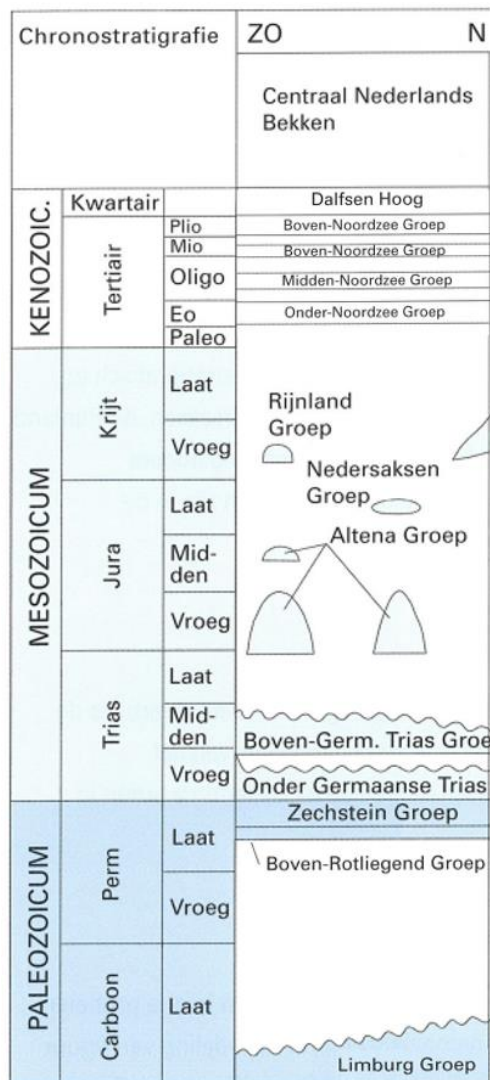
Voor een overzicht van orde van grootte van de kosten en huidige commerciële toepasbaarheid van de verschillende technieken zie onderstaande tabel (Tabel 2.2).

Tabel 2.2 | Overzicht kosten en commerciële toepasbaarheid verschillende technieken van geothermie.

Techniek	Kosten	Onzekerheidsprofiel	Commerciële toepasbaarheid
Hoge temperatuuropslag	€ (orde 1 - 3 miljoen)	Beheersbaar	Technologie is in Nederland tweemaal toegepast in het verleden, maar deze systemen zijn om economische en technische redenen gesloten. Op dit moment wordt deze techniek nader ontwikkeld binnen een Nederlandse full-scale pilot.
Ondiepe geothermie	€ (orde 2-5 miljoen)	Beheersbaar tot hoog	Technologie is als prototype toegepast in operationele omgeving in de glastuinbouwsector (1 prototype doublet in gebruik).
Diepe geothermie	€€ (orde 15 miljoen)	Beheersbaar	Technologie is getest en bewezen toegepast in operationele en commerciële omgeving in met name de glastuinbouwsector en één keer in Den Haag in de bebouwde omgeving (24< doubletten in gebruik). Techniek is geschikt voor direct gebruik in bestaande bouw i.c.m. een warmtenet.
Ultradiepe geothermie	€€€ (orde >30 miljoen)	Zeer hoog	Technologie is nog niet toegepast in een pilot omgeving (geen doubletten in gebruik). UDG wordt op dit moment ontwikkeld binnen het kennisprogramma Green Deal Ultradiepe Geothermie.

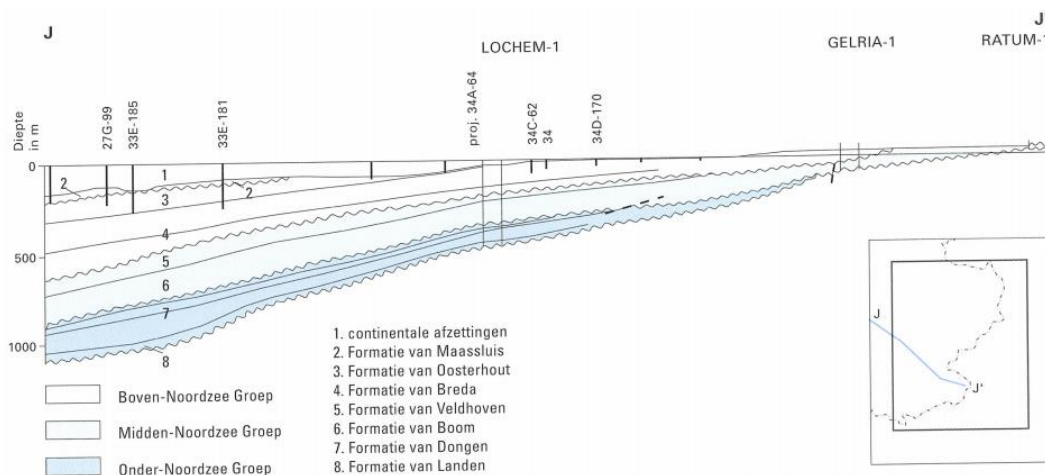
Tijdens het Carboon bevindt Nederland zich in een delta die geleidelijk daalt en tegelijkertijd opgevuld wordt met sedimenten (TNO-NITG, 1998). In totaal zijn deze afzettingen 3 tot 4 km dik en bestaan voor het grootste gedeelte uit klei en zand. In het Laat Carboon vindt gebergtevorming plaats, die er onder andere voor zorgt dat er bergen langs de zuid- en oostgrens van Nederland ontstaan, en dat Nederland hoger komt te liggen waardoor de delta zich noordwaarts verplaatst. Doordat Nederland nu hoger ligt kan erosie plaatsvinden: een gedeelte van de afzettingen van het Carboon worden geërodeerd. Hierna kan er weer sediment afgezet worden: dit keer is het geen delta, maar een aride gebied met zandduinen en snelstromende rivieren die grover materiaal afzetten, zoals conglomeraten. De zandduinen zijn onderdeel van de Slochteren Formatie, die op veel plaatsen in Nederland hoge potentie biedt voor geothermie. In het Laat Perm worden deze zandstenen regelmatig overstroomd door de nabije zee dat afwisselend kleien, carbonaten en, door de hoge verdamping in het droge milieu, evaporieten achterlaat: de Zechstein Groep (TNO-NITG, 1998).

Gedurende het Trias, Jura en Krijt daalt Nederland weer. Het gebied is dus weer een delta, die opgevuld wordt met materiaal dat door rivieren meegevoerd wordt. De zeespiegel stijgt, waardoor er geleidelijk aan steeds meer marien materiaal in de afzettingen terechtkomt. Deze sedimenten liggen dus op de sedimenten van het Carboon en het Perm, en zorgen er met hun gewicht voor dat de ondergelegen zanden gecompacteerd en licht gemetamorfoseerd worden. Hierbij worden ondergelegen zanden in het Carboon omgezet naar kwartsiet, en de klei naar schalie. In het Laat Jura/Vroeg Krijt vindt er opheffing plaats. Deze opheffing zorgde ervoor dat bijna alles dat na het Carboon afgezet werd is geërodeerd. Sedimenten uit het Trias, Jura of Krijt zijn dus bijna nergens meer terug te vinden, tenzij ze zich bij afzetting toevallig in depressies bevonden. De sedimenten uit het Carboon liggen nu weer relatief ondiep (TNO-NITG, 1998).



Figuur 3.2 | Schema van de lithostratigrafische eenheden en de geologische ontwikkeling van de regio Noord-Oost Gelderland (TNO-NITG, 1998). De lege vlakken in het schema betekent dat er van deze tijdsperiode geen sediment aanwezig is. Dit kan zijn doordat er niets afgezet is, maar ook doordat het geërodeerd is. De gekringelde lijn duidt aan dat de laag hierboven geërodeerd is.

In het Tertiair treedt vervolgens weer daling op door het ontstaan van het Noordzee Bekken. Deze daling is het sterkst in het westen van Gelderland, hierdoor zijn de afzettingen in het westen van het gebied dikker dan in het oosten (Figuur 3.3). Het bekken is opgevuld met marine sedimenten van de Noordzee Supergroep. Deze bestaan uit afwisselend zand en klei, afhankelijk van de hoogte van de zeespiegel: bij een hoge zeespiegel zijn de afzettingen kleirijk, en bij een lage zeespiegel juist zandrijk. Hieronder vallen bijvoorbeeld de volgende zandrijke formaties: het zand van Brussel (onderdeel van de Formatie van Dongen) en de Formatie van Breda. In het Laat-Tertiair heeft opheffing in het oosten van het gebied geleid tot erosie van de Tertiaire afzettingen, waardoor deze in het oosten van het gebied niet overal aanwezig zijn (Figuur 3.3) (TNO-NITG, 1998).

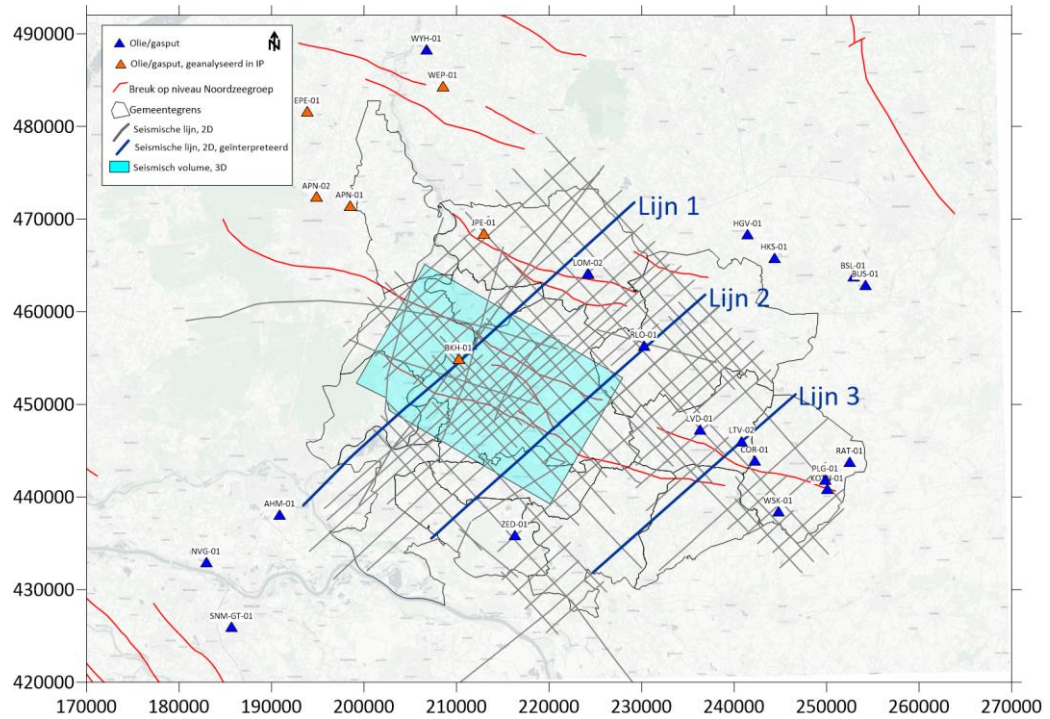


Figuur 3.3 | Structureel profiel van de Noordzee Supergroep in Oost Gelderland. Dit profiel laat zien dat de sedimenten naar het oosten toe steeds dunner worden (TNO-NITG, 1998).

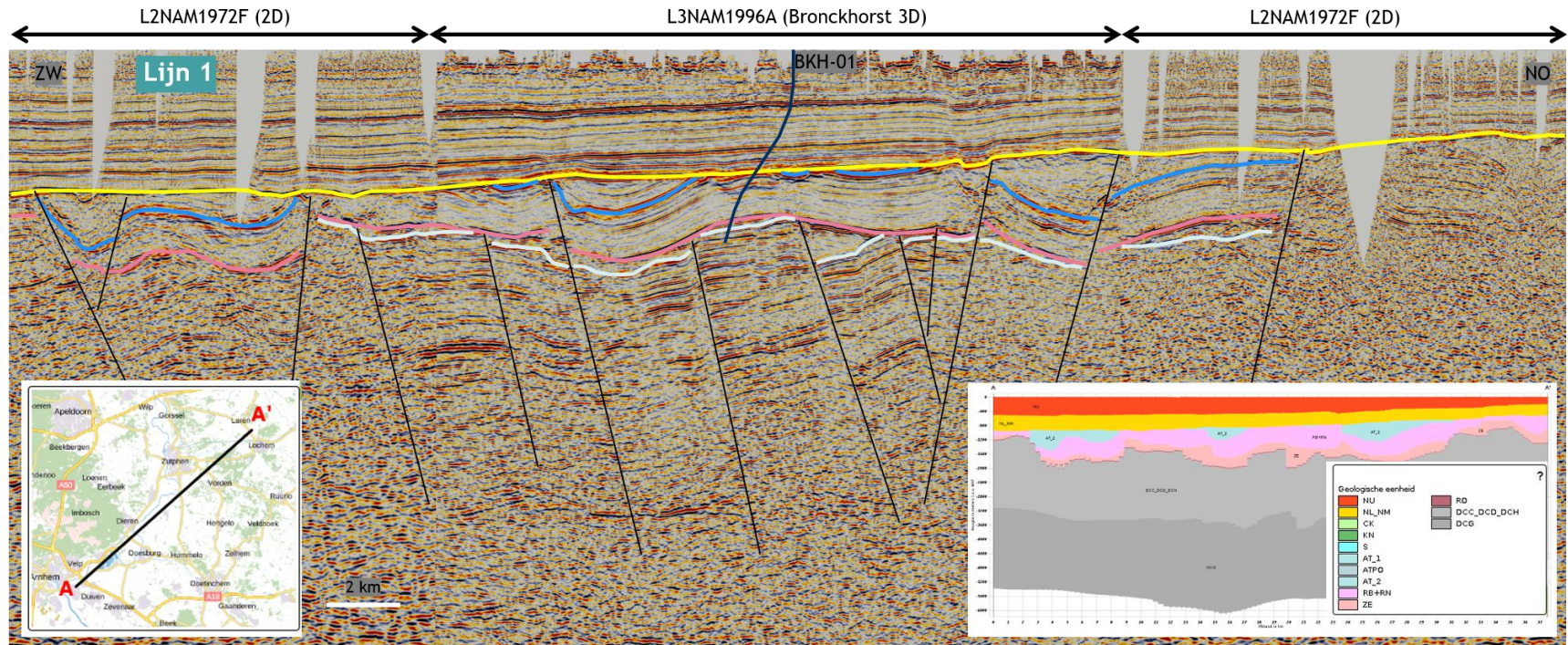
3.3 SEISMISCHE SECTIES

Om de lokale geologie beter te begrijpen zijn een drietal seismische lijnen bekeken en geïnterpreteerd. Deze lijnen zijn gekozen om een zo volledig mogelijk beeld van het gebied te krijgen en hebben een oriëntatie grofweg loodrecht op breukstructuren in de regio. Een overzicht van de beschikbare en geïnterpreteerde lijnen is weergegeven in Figuur 3.4. De geïnterpreteerde lijnen zijn een combinatie van de beschikbare 2D en 3D seismiek over elke lijn. De resolutie van de 3D dataset is wel hoger, maar ook de 2D dataset laat voldoende structuren en lagen naar voren komen, waardoor een goede interpretatie gemaakt kan worden. Figuur 3.5, Figuur 3.6 en Figuur 3.7 laten de seismische profielen zien. Het ondiepere deel van de data laat enkele gaten zien als resultaat van restricties en ruis aan het oppervlakte tijdens de acquisitie van de data. In het diepste deel van de secties wordt de resolutie lager en de ruis hoger, waardoor hier lagen slecht zichtbaar zijn.

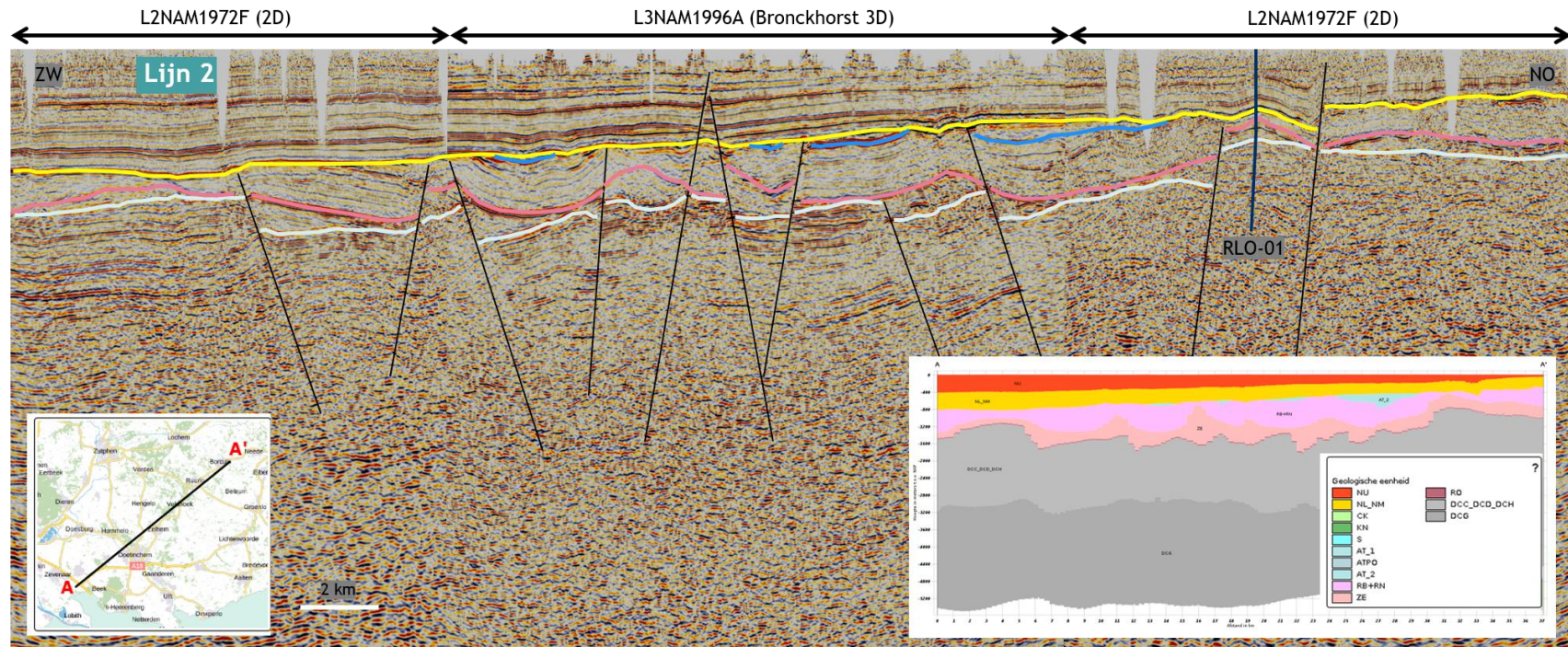
De seismische interpretaties zijn vervolgens vergeleken met het ondergrondmodel DGM v4 van TNO. Deze interpretaties bevestigen de verschillende gelaagdheden en structuren zoals zichtbaar in dit model. In Figuur 3.5, Figuur 3.6 en Figuur 3.7 zijn naast de seismische data ook de bijbehorende profielen van het DGM v4 model zichtbaar. Verder is de seismische data vergeleken met de beschikbare boringen (zie ook Figuur 3.4 voor de locatie van deze boringen). Deze boringen geven een consistent beeld met de seismische data: de lithologie in boorputten komt overeen met de verwachting op basis van de seismiek. Ook grote regionale breuken zijn zichtbaar op de seismiek.



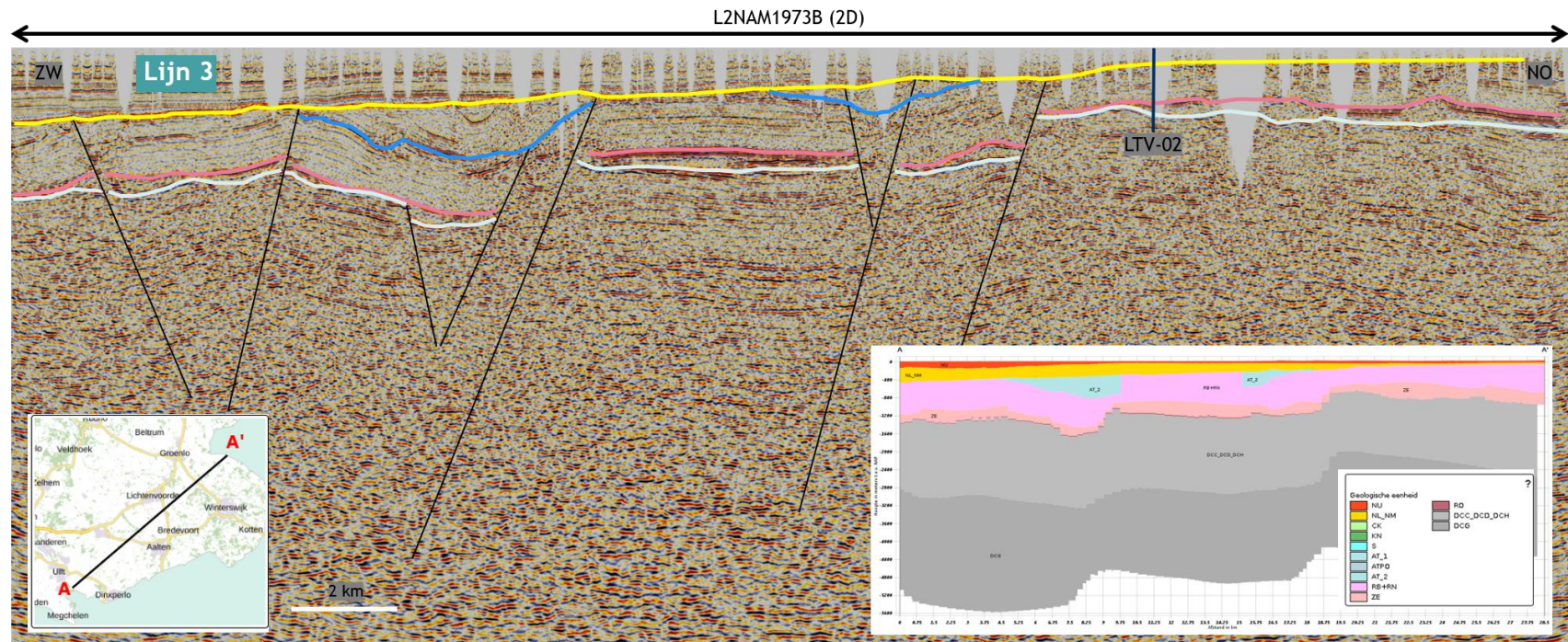
Figuur 3.4 | Overzicht met de beschikbare en de geïnterpreteerde seismische data en boorputten in de regio Oost-Gelderland. Breuken op de diepte van de Basis Noordzeegroep zijn weergegeven in rood.



Figuur 3.5 | Interpretatie van seismische lijn 1, met rechts onderin het model van TNO (DGM v4) langs dezelfde sectie. Deze lijn bestaat uit een combinatie van 2D en 3D seismische data. Horizon legenda: geel = Basis Noordzee, blauw = Basis Schieland, roze = Basis Trias, wit = Basis Zechstein.



Figuur 3.6 | Interpretatie van seismische lijn 2, met rechts onderin het model van TNO (DGM v4) langs dezelfde sectie. Deze lijn bestaat uit een combinatie van 2D en 3D seismische data. Horizon legenda: geel = Basis Noordzee, blauw = Basis Schieland, roze = Basis Trias, wit = Basis Zechstein.



Figuur 3.7 | Interpretatie van seismische lijn 3, met rechts onderin het model van TNO (DGM v4) langs dezelfde sectie. Deze lijn bestaat volledig uit 2D seismische data. Horizon legenda: geel = Basis Noordzee, blauw = Basis Schieland, roze = Basis Trias, wit = Basis Zechstein.

4 Reservoirinventarisatie

Of een gesteentelaag geschikt is voor geothermie hangt van een aantal variabelen af: de diepte, de netto dikte (het bruikbare deel van de formatie), de temperatuur en de permeabiliteit. De (netto) dikte is relevant omdat het slagen van een project voor een goed deel afhangt van de hoeveelheid water die opgepompt kan worden. Dit hangt ook samen met de permeabiliteit: een hoge permeabiliteit zorgt ervoor dat het water gemakkelijk opgepompt kan worden. Lagen met veel zand hebben vaak een hoge permeabiliteit, en over het algemeen geldt: hoe dieper de laag, hoe lager de permeabiliteit. Ook de porositeit is hieraan gerelateerd: zandrijke lagen hebben vaak een hoge porositeit, maar hoe dieper een laag ligt, hoe lager de verwachte porositeit en dus hoe minder water er beschikbaar is. De temperatuur stijgt juist met de diepte: diepere lagen zijn hoger van temperatuur. Een hoge temperatuur betekent een hoge geothermische capaciteit.

Op basis van deze factoren wordt bepaald welke lagen geschikt kunnen zijn voor geothermische warmteproductie. Deze inventarisatie maakt gebruik van NLOG-gegevens, geologisch kaartmateriaal, eerder uitgevoerde studies door IF Technology en aanvullende literatuur.

4.1 RESERVOIR INVENTARISATIE

De geologische tijdsperiodes en bijbehorende formaties en laagpakketen die mogelijk potentie bieden voor geothermie of HTO zijn hieronder weergegeven:

- Paleogeen:
 - Formatie van Maassluis
 - Formatie van Oosterhout
 - Formatie van Breda
 - Zand van Brussel Laagpakket
- Krijt
- Jura
- Trias
 - Muschelkalk Formatie
 - Basale Solling Zandsteen Laagpakket
 - Onder-Volpriehausen Zandsteen Laagpakket
 - Rogenstein Laagpakket
- Perm
 - Zechstein Groep
 - Slochteren Formatie
- Carboon
 - Tubbergen Formatie
 - Zeeland Formatie

4.1.1 Paleogeen

Formatie van Maassluis

De afzettingen van de Formatie van Maassluis zijn gevormd in een overwegend ondiep mariene setting. Het bestaat voornamelijk uit matig fijne tot grove kleiige zanden, die schelp- en glimmerrijk kunnen zijn. In het oosten van het land, waaronder Gelderland zijn ook deltaishe zanden en/of continentale afzettingen aanwezig binnen de Maassluis Formatie. Voor (ondiepe) geothermie wordt vaak een minimale diepte van 500 m gehanteerd. Lokale olie- en gasputten geven top dieptes van 33-140 m en basis dieptes van 75-205 m, die ook overeenkomen met regionale dieptekaarten. Op basis van het dieptebereik en de hoeveelheid zand is de formatie van Maassluis wel geschikt voor Hoge Temperatuur Opslag tot 500 m-mv.

Formatie van Oosterhout

De Formatie van Oosterhout heeft een ouderdom van Laat Mioceen tot Pliocene en bevat over het

algemeen zand (zeer fijn tot fijn), met een korrelgrootte variërend van 100 tot 420 μm .

Daarnaast

is klei en zandige klei met donkergrijze tot grijsbruine kleuren aanwezig, en kunnen schelpenbanken van enkele decimeters tot meer dan tien meter dikte aangetroffen worden.

De formatie is deels in een kustnabije zee afgezet, en deels dieper in het sedimentatiebekken. Het pakket kan ook enkele okergele zanden bevatten, dit zijn strandafzettingen. In het oosten van Nederland zijn zandbanken doorgaans rijk in glauconietmineralen en schelpresten. Lokale olie- en gasputten geven top dieptes van 0-195 m en basis dieptes van 60-495 m, Deze dieptes zijn in overeenstemming met regionale dieptekaarten. Op basis van het dieptebereik en de hoeveelheid zand is de formatie van Oosterhout wel geschikt voor Hoge Temperatuur Opslag tot 500 m-mv.

Formatie van Breda

De Formatie van Breda is gevormd in een ondiepe mariene en kustzone setting. De afzetting bestaan doorgaans uit zeer fijn tot matig fijne zanden, met een korrelgroottevariatie tussen de 105-210 μm . Kenmerkend is de sterke aanwezigheid van glauconiet, dit mineraal geeft de zanden en kleien haar kenmerkende groene kleur. De Breda Formatie is te ondiep voor (ondiepe) geothermie in het grootste deel van het onderzoeksgebied op basis van putdata en regionale kaarten. Uitzondering is het gebied rond Apeldoorn (gemeente Voorst), waar in de putten APN-01 en APN-02 de top op 495 m en de basis op 675 m wordt aangetroffen. Nadere inspectie van beschikbare logdata geeft zeer geringe zandontwikkeling weer, in plaats daarvan bestaat de formatie op deze locatie voornamelijk uit klei tot kleiige silt. Een hoog kleigehalte in combinatie met geringe zandlichamen is ook elders in het onderzoeksgebied waargenomen. Hierdoor biedt de Formatie van Breda een lage potentie voor zowel ondiepe geothermie als hoge temperatuur opslag in Oost-Gelderland.

Laagpakket van Brussel

Het Laagpakket van Brussel is een mariene afzetting bestaande uit zeer fijn, vaak verkit, klei- en kalkhoudend zand. Deze sedimenten zijn afgezet in twee gescheiden bekkens in Nederland, waarbij de bekkens gesitueerd waren in het zuidwesten (Zeeland, West-Brabant en ten zuiden van Rotterdam) en het noorden (lijn ten noorden van midden Noord-Holland, midden Flevoland, noordwest Gelderland en midden Overijssel). Logdata van zes lokale putten (zie Tabel 5.2) laten ontwikkelde zandlichamen in het noorden en noordwesten van het onderzoeksgebied zien, die

op dieptes tussen de 546-1.008 m liggen. Deze dieptes zijn geschikt voor de ontwikkeling van ondiepe geothermie. Lithologische beschrijvingen van de zandlichamen aangetroffen in de putten geven uiterst fijn tot matig fijn kalkrijk zand weer in combinatie met siltige kleien. Daarnaast zijn er veelvuldig glauconietmineralen aanwezig alsmede foraminiferahoudende fossielen.

Op dit moment is één ondiep geothermieproject gerealiseerd in Nederland. Dit project bevindt zich in Zevenbergen en het produceert uit het Laagpakket van Brussel door middel van horizontale putten in een doubletconfiguratie. Ook binnen Oost-Gelderland biedt deze formatie potentie voor ondiepe geothermie.

Vanwege het hoge gehalte aan klei, silt en uiterst fijn zand is de verwachting dat de permeabiliteit van het Zand van Brussel te laag is om potentie te bieden voor Hoge Temperatuur Opslag.

De evaluatie en nadere beschrijving van de reservoir eigenschappen van het Zand van Brussel is uitgewerkt in Hoofdstuk 6.

Overige formaties

Het Voort Laagpakket (NMVFV), het Heers Laagpakket (NLLFS) en het Vessem Laagpakket (NMRFV) zijn alle drie potentiële reservoirs voor ondiepe geothermie in Nederland, zoals aangegeven in ThermoGIS 2.1 (<https://www.thermogis.nl/>). Doorgaans kunnen deze laagpakketten goed ontwikkelde zandlichamen bevatten. De diepte van het Heers Laagpakket en het Vessem Laagpakket zijn in delen van het onderzoeksgebied in het bereik voor gangbare ondiepe geothermie (500-1500 m). Echter zijn voor alle drie de bovengenoemde laagpakketten de netto zanddiktes te laag voor de ontwikkeling van verticale of horizontale ondiepe geothermieputten. Hierdoor bieden het Voort Laagpakket (NMVFV), het Heers Laagpakket (NLLFS) en het Vessem Laagpakket (NMRFV) lage potentie voor zowel ondiepe geothermie als hoge temperatuur opslag in Oost-Gelderland

4.1.2 Krijt en Jura

Het Delft Zandsteen Laagpakket, het Alblasterdam Laagpakket en het Rijswijk Laagpakket vormen belangrijke geothermische reservoirs in westelijk Nederland. Echter zijn door geologische processen de afzettingen van het Krijt en Jura grotendeels geërodeerd, waardoor ze niet meer aanwezig zijn in de ondergrond van Oost-Gelderland.

4.1.3 Trias

Muschelkalk Formatie

De Muschelkalk Formatie (Boven-Germaanse Trias Groep) is een kalkhoudende formatie bestaande uit grijze mergels, kleirijke dolomiet- en kalkstenen, anhydrietrijke kleistenen en steenzout, afgezet in een ondiepe tot open-marine setting waarin periodes van droogte hebben plaatsgevonden. De Muschelkalk is gefragmenteerd en doorgaans in dunne afzettingen aanwezig binnen het onderzoeksgebied, waarschijnlijk gerelateerd aan meervoudige erosie. Uit een analyse van 10 putten met kerndata (voornamelijk gesitueerd in Twente en Overijssel) is een permeabiliteit van 0-200 mD gemeten, waar waarschijnlijk diagenese een beperkende rol speelt in de doorlatendheid. De aanwezige putten in het zuidoosten van het onderzoeksgebied geven geringe dieptes <200 m (RAT-01, WSK-01). De ten noorden van het onderzoeksgebied gelegen

WYH-01 en WEP-01 putten geven een diepte tussen de 800 en 900 m. Door de geringe putdata is het onduidelijk tot in hoeverre de Muschelkalk Formatie aanwezig is in de rest van het onderzoeksgebied, behalve dat deze formatie niet is aangetroffen in andere olie- en gasputten die het Trias aangeboord hebben. Deze onzekerheid in combinatie met de geringe diepte, dikte en slecht- tot matig ontwikkelde permeabiliteit, geeft de Muschelkalk Formatie een lage potentie voor ondiepe geothermie.

Basale Solling Zandsteen Laagpakket en Onder-Volpriehausen Zandsteen Laagpakket
Naast de Muschelkalk Formatie zijn nog twee potentiële geothermie reservoirs, geïdentificeerd in ThermoGIS 2.1, aanwezig in het onderzoeksgebied: het Basale Solling Zandsteen Laagpakket en het Onder-Volpriehausen Zandsteen Laagpakket. Het Basale Solling Zandsteen Laagpakket is een relatief dun en lichtgekleurd zandsteenpakket. Het Onder-Volpriehausen Zandsteen Laagpakket is een roze- tot grijsgekleurde arkosische zandsteen met een hoge mate van cementatie en kan kleisteen intervallen bevatten. In het onderzoeksgebied zijn beide members met geringe dikte aanwezig <20 m, op dieptes variërend tussen de 150 en 1250 m, zonder bruikbare kerndata. De gefragmenteerde en slechte ontwikkeling van deze members is gerelateerd aan periodes van erosie. Hierdoor bieden het Basale Solling Zandsteen Laagpakket en het Onder-Volpriehausen Zandsteen Laagpakket lage potentie voor zowel ondiepe geothermie als hoge temperatuur opslag in Oost-Gelderland.

Rogenstein Laagpakket

Het Rogenstein Laagpakket is een geologisch diverse formatie bestaande uit fijnkorrelige lacustriene zandstenen, kleistenen en oolitische zand- en kalkstenen. Het vormt een permeabel gasreservoir in het Wannerperven veld in Overijssel. In Oost-Gelderland is de Rogenstein aanwezig tussen de 150-1.300 m, met diktes variërend tussen de 80-180 m. De permeabiliteit van de Rogenstein wordt grotendeels bepaald door de diagenetische ontwikkeling van het gesteente. Een studie naar het reservoir potentieel van deze member geeft indicaties dat de Rogenstein gecementeerd is in Oost-Gelderland waardoor het lage potentie biedt voor geothermie (Palermo et al., 2008).

4.1.4 Perm

Slochteren Formatie

De Slochteren Formatie vormt een belangrijk reservoir voor geothermische exploitatie in Nederland. Regionaal bestaat deze formatie voornamelijk uit eolische zanden met grindpakketten aan de basis. Het reservoir is grotendeels aanwezig binnen het onderzoeksgebied. Echter is de dikte van het reservoir beperkt tot minder dan 20 m voor de meeste bestudeerde olie- en gasputten. Voor de JPE-01, LVD-01 en BKH-01 putten is er een bruto dikte van 23 tot 36 m aangetroffen. Verwachte porositeit op basis van gerapporteerde logdata is rond de 10-20%. Kerndata van de JPE-01 put geeft porositeit van 12 tot 19 % met bijbehorende permeabiliteit tussen de 0.2 en 2.2 mD. De noordelijk gelegen WEP-01 en WYH-01 putten in Overijssel tonen positieve reservoir eigenschappen voor de Slochteren Formatie 50-330 mD (IF Technology,

2019). Voor het scenario waarin de LVD-01 en BKH-01 putten positievere eigenschappen tonen conform de LVD-01 en BKH-01 putten is er een potentieberekening uitgevoerd, zie

Tabel 4.1 voor parameters. Dit resulteert in een debiet van 25 m³/h, een thermisch vermogen van 0.5 MWt en een COP van 8.9. Op basis van deze resultaten wordt de geothermische potentie voor de Slochteren Formatie als laag beschouwd.

Tabel 4.1 | Potentieberekening horizontale put Slochteren Formatie

Input parameter	Waarde
Lengte horizontaal puttraject	100 [m]
Anisotropie	5 [-]
Skin	-5.5 [-]
Putdiepte	1000 [m]
Netto dikte	25 [m]
Reservoirtemperatuur	35 [°C]
Retourtemperatuur	15 [°C]
Permeabiliteit	100 [mD]
Totaal opgeloste stof (TDS)	175000 [ppm]

Zechstein Groep Carbonaten

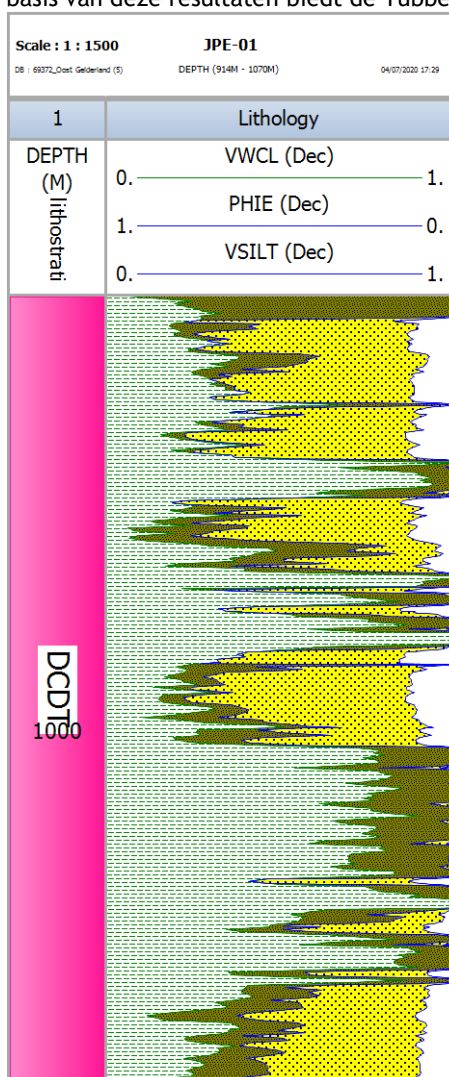
In het Perm zijn een serie carbonaatafzettingen gevormd, waarvan in Oost-Gelderland het Z1 Carbonaat Laagpakket, het Z1 Randcarbonaat Laagpakket, het Z2 Carbonaat Laagpakket en het Z3 Carbonaat Laagpakket aanwezig zijn (380-1500 m diepte). Dit kalkgesteente vormt elders in Nederland olie- en gasreservoirs, waaronder gasvelden in Drenthe. Echter worden de Zechstein Groep Carbonaten gekenmerkt door geringe bruto diktes tussen de 2 en 63 m, waarnaast verwachte porositeit 10% is (BKH-01 put) en kerndata van de LVD-01 put een kleine zone van 150 mD permeabiliteit weergeeft. De doorlaatbaarheid van het reservoir wordt bepaald door diagenese van het kalkgesteente, welke onvoldoende ontwikkeld is om het gesteente op reservoirschaal permeabel te maken. Hierdoor bieden de Zechstein Groep Carbonaten lage potentie voor geothermie.

4.1.5 Carboon

Tubbergen Formatie

De Tubbergen Formatie bestaat uit een serie zandsteenpakketten met alternerende lagen van kleisteen en enkele koolintervallen. De formatie is aanwezig in een band in het noorden van Oost-Gelderland, waarvoor de APN-02, APN-01, JPE-01, HGV-01, HKS-01 als representatief worden beschouwd. De top van de formatie bevindt zich op een diepte tussen de 850 en 1200 m, de bruto dikte varieert tussen de 75 en 180 m. Op basis van logdata zijn significante zandpakketten weergenomen (

Figuur 4.1), met een netto-bruto ratio van 0.5. Echter is uit de begravingsgeschiedenis van het gesteente gebleken dat er (lichte) metamorfose heeft plaatsgevonden waardoor het gerekristalliseerd is. Dit proces heeft de reservoir eigenschappen sterk verlaagd, waardoor er nagenoeg geen permeabele intervallen zijn waargenomen. Uitzondering hierop zijn de HGV-01 en HKS-01 putten waar kernmetingen van 0.5-1000 mD zijn gemeten in enkele intervallen. Dit blijkt echter een lokaal fenomeen, waarschijnlijk gerelateerd aan breukvorming, wat niet representatief is voor de gehele Tubbergen Formatie in het noorden van Oost Gelderland. Op basis van deze resultaten biedt de Tubbergen Formatie lage potentie voor Geothermie.

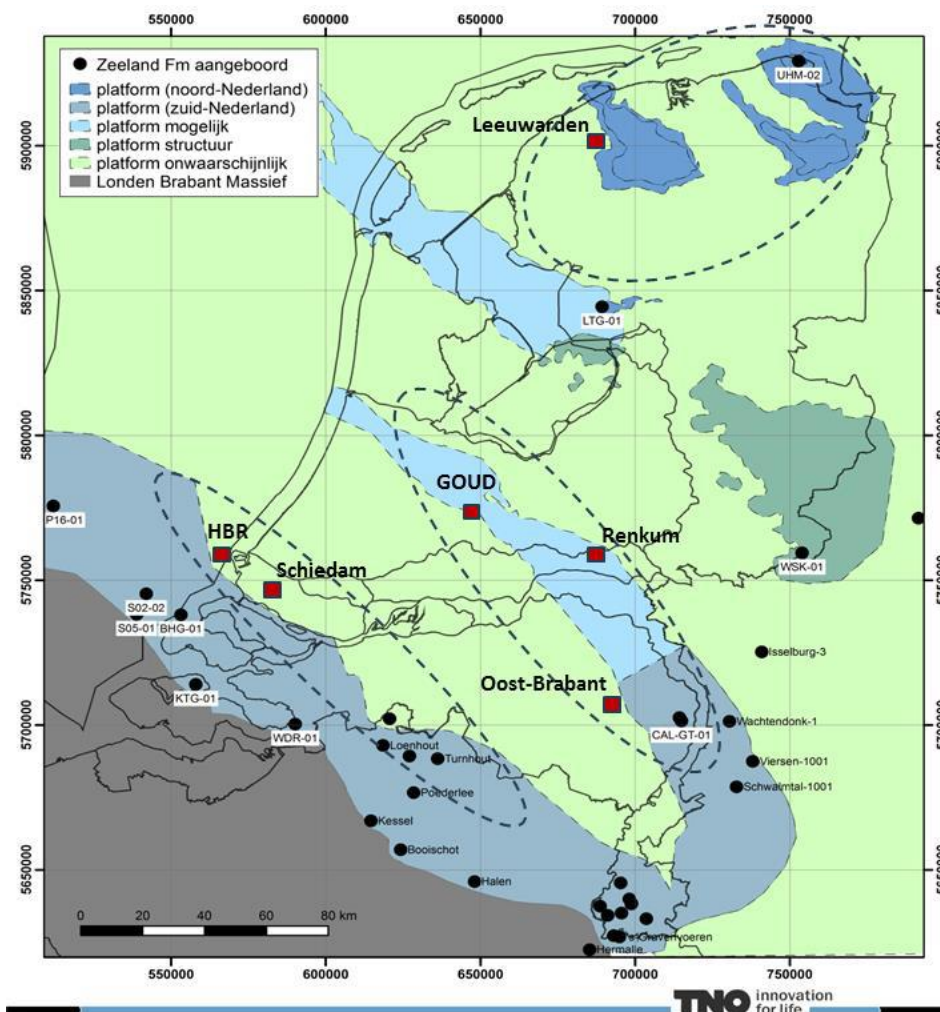


Figuur 4.1 | Zandintervallen Tubbergen Formatie (DCDT) in geel, JPE-01 put.

Zeeland Formatie

De Zeeland formatie bestaat voornamelijk uit carbonaten (zoals kalksteen). Tijdens vorming van deze formatie ontstond op sommige locaties een carbonaat platform (te vergelijken met moderne equivalenten als de Bahama's of het Great Barrier Reef) op overige plaatsen was sprake van een bekken. De meeste kans op een geothermie potentie ligt in de platform carbonaten, waar secundaire porositeit aanwezig kan zijn door karstvorming en/of breuksystemen. In de bekkens is ook silt en klei afgezet, waardoor karstvorming minder voorkomt.

Figuur 4.2 laat zien waar Dinantien carbonaat platformen zijn aangetroffen. De zwarte stippen zijn boringen die het Dinantien hebben aangeboord. In de donkergroene regio in Oost-Gelderland is op seismiek een structuur zichtbaar die mogelijk een platform is. Voor het lichtgroene gedeelte is het onduidelijk waaruit de gesteenten van Dinantien-ouderdom bestaan, en of deze geschikt zijn om als geothermiereservoir te dienen. De begrenzing van de platformen is onzeker. Dit is afhankelijk van de kwaliteit van de gegevens (m.n. seismiek). De mate van onzekerheid verschilt van plaats tot plaats.



Figuur 4.2 | Kaart waarop platform structuren in het Dinantien in kaart zijn gebracht (Boxem et al., 2016). In Oost-Gelderland is een structuur zichtbaar, die mogelijk een platform is.

Door de gebrekkige kennis en databeschikbaarheid van de Nederlandse ondergrond onder 4 km, is er . Ter vergelijking, er zijn 45 boringen uitgevoerd dieper dan 4km tegenover ca 4000 boringen tussen de 1 en 3 kilometer op het land uitgevoerd in Nederland.

Het SCAN programma (<https://scanaardwarmte.nl/>) is opgezet om delen van de Nederlandse ondergrond in kaart te brengen waar nog weinig over bekend is. Als onderdeel van SCAN worden in het SCAN Dinantian subprogramma een aantal onderzoeken gedaan naar de kansen van geothermie op meer dan vier kilometer diepte. Deze onderzoeken hangen samen met de Green Deal Ultradiepe Geothermie (UDG) (<https://www.greendeals.nl/green-deals/ultradiepe-geothermie>), en zijn gericht op de Dinantien carbonaten; dieper dan 4 km. Omdat er zo weinig data beschikbaar is van de Zeeland Formatie is het niet mogelijk om een kwantitatieve potentie te bepalen en zal enkel een kwalitatieve inschatting worden gemaakt.

5 Potentiebepaling

Uit de reservoirinventarisatie blijkt dat enkele formaties geschikt zijn voor een potentie bepaling. Deze zijn in dit hoofdstuk beschreven per toepassing; HTO, (O)GT en UDG

5.1 POTENTIE HTO

5.1.1 Hoge Temperatuur Opslag in Oost-Gelderland

De warmtelevering vanuit geothermie kan worden vergroot door toepassing van hoge temperatuur opslag (HTO, 60 - 90 °C). HTO is een techniek voor grootschalige ondergrondse warmteopslag. Hiermee is het mogelijk om een geothermiesysteem, ook wanneer er in de zomer geen vraag is, vol te laten draaien en de warmte op te slaan. Deze opgeslagen warmte kan in de winter worden onttrokken en geeft het geothermiesysteem extra vermogen. Ook is het mogelijk om een HTO te koppelen aan een warmtenet.

Om inzichtelijk te krijgen op welke locaties in Oost-Gelderland HTO toegepast kan worden, zijn potentiekaarten voor HTO gemaakt. Het onderzoek naar de potentie richt zich op geschikte lagen die zich ondiep bevinden (tot 500 m-mv). In dit hoofdstuk zijn de bodemeigenschappen die benodigd zijn voor deze toepassing opgenomen. Vervolgens is de potentie voor warmteopslag in Oost-Gelderland bepaald, uitgedrukt in het debiet waarmee warmte kan worden opgeslagen in de ondergrond.

5.1.2 Bodemeigenschappen voor HTO

Opslagpakket

De belangrijkste vereiste voor toepassing van warmteopslag is de aanwezigheid van een opslagpakket. Een opslagpakket is typisch een zandlaag die voldoende doorlatend is, zodat er grondwater (en daarmee ook warmte) aan kan worden onttrokken en in kan worden geïnfiltreerd. Aan de doorlatendheid van het opslagpakket zit ook een bovengrens, omdat een hoge doorlatendheid gepaard gaat met een grotere mate van opdriving van warmte. Dit heeft te maken met het feit dat het opgeslagen warme water een lagere dichtheid heeft dan het koude grondwater eromheen, waardoor het de neiging heeft om omhoog te stromen. Hierdoor kan aan de onderkant van het bronfilter kouder water worden onttrokken dan aan de bovenkant, wat enige impact heeft op het rendement.

Een opslagpakket moet minimaal een dikte hebben van circa 20 m. Om de opdrivingseffecten te beperken is het wenselijk dat het opslagpakket niet dikker is dan 50 m.

Afsluitende laag

Voor HTO zorgt een afsluitende (klei)laag boven het opslagpakket voor een sterke verbetering van het opslagrendement, dat gedefinieerd wordt als de hoeveelheid teruggewonnen warmte over de hoeveelheid geladen warmte per jaar. Een afsluitende laag boven het opslagpakket voorkomt dat het geïnfiltreerde water (en de daarin opgeslagen warmte) omhoog kan stromen. De afsluitende laag beperkt ook de invloed van opdriving van warmte op het opslagrendement. Wanneer geen afsluitende laag aanwezig is aan de onderkant van het opslagpakket, kan koud grondwater van grotere diepte worden aangetrokken terwijl aan de bovenkant van het bronfilter

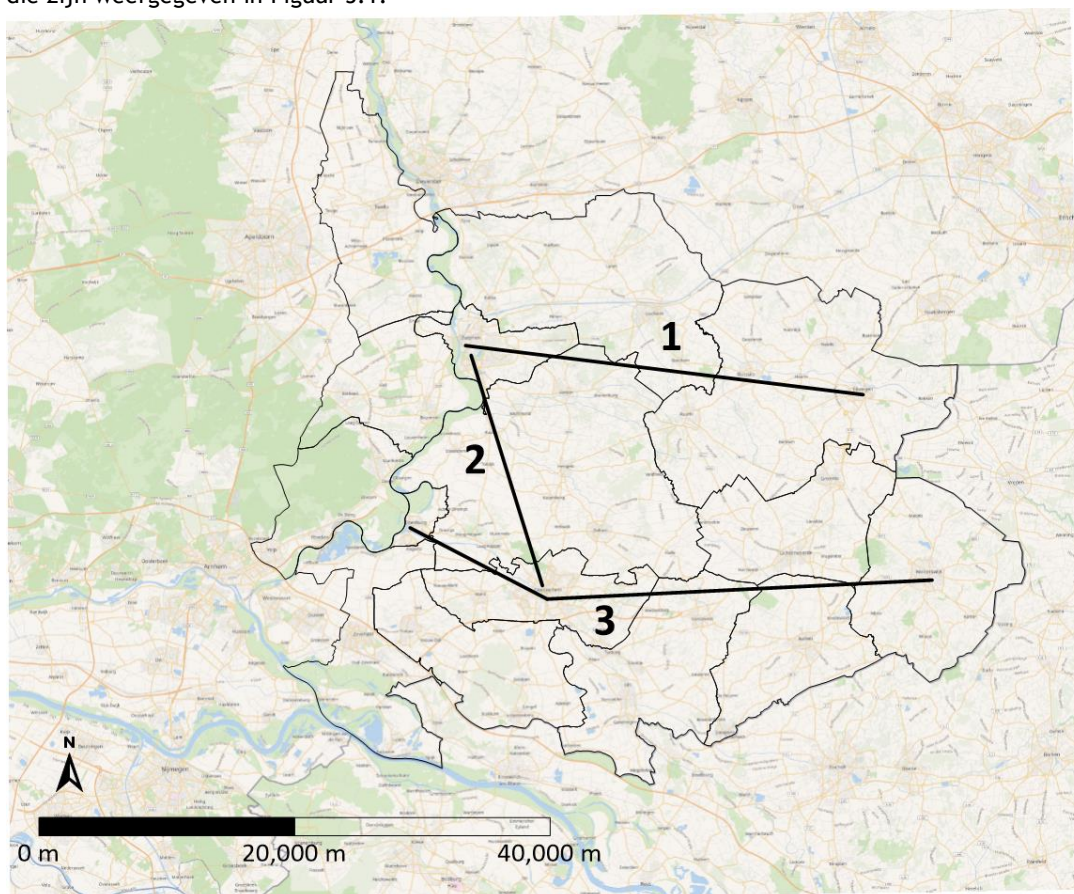
nog warm water wordt onttrokken. Ook dit beïnvloedt de temperatuur van het onttrokken water en daarmee het opslagrendement.

Een ander voordeel van een scheidende laag boven het opslagpakket is dat interactie van het opgeslagen grondwater met ondieper grondwater door stroming (advectie en convectie) wordt verhinderd. Dit is relevant omdat (bio)chemische evenwichten temperatuurafhankelijk zijn, en daardoor op lokale schaal effecten zoals oververzadiging van kalk en mobilisatie van organische stof in de warmteopslag kunnen veroorzaken.

Voor het succesvol opslaan van warmteoverschotten in en terugwinnen uit de ondergrond is het dus van belang dat er zandlagen in de bodem aanwezig zijn met een geschikte hydrologische doorlatendheid die aan de bovenkant worden bedekt door een afsluitende kleilaag.

5.1.3 Zoekgebied

Het gebied waarvoor de potentie voor HTO wordt ingeschat bestaat uit een aantal gemeentes die zijn weergegeven in Figuur 5.1.

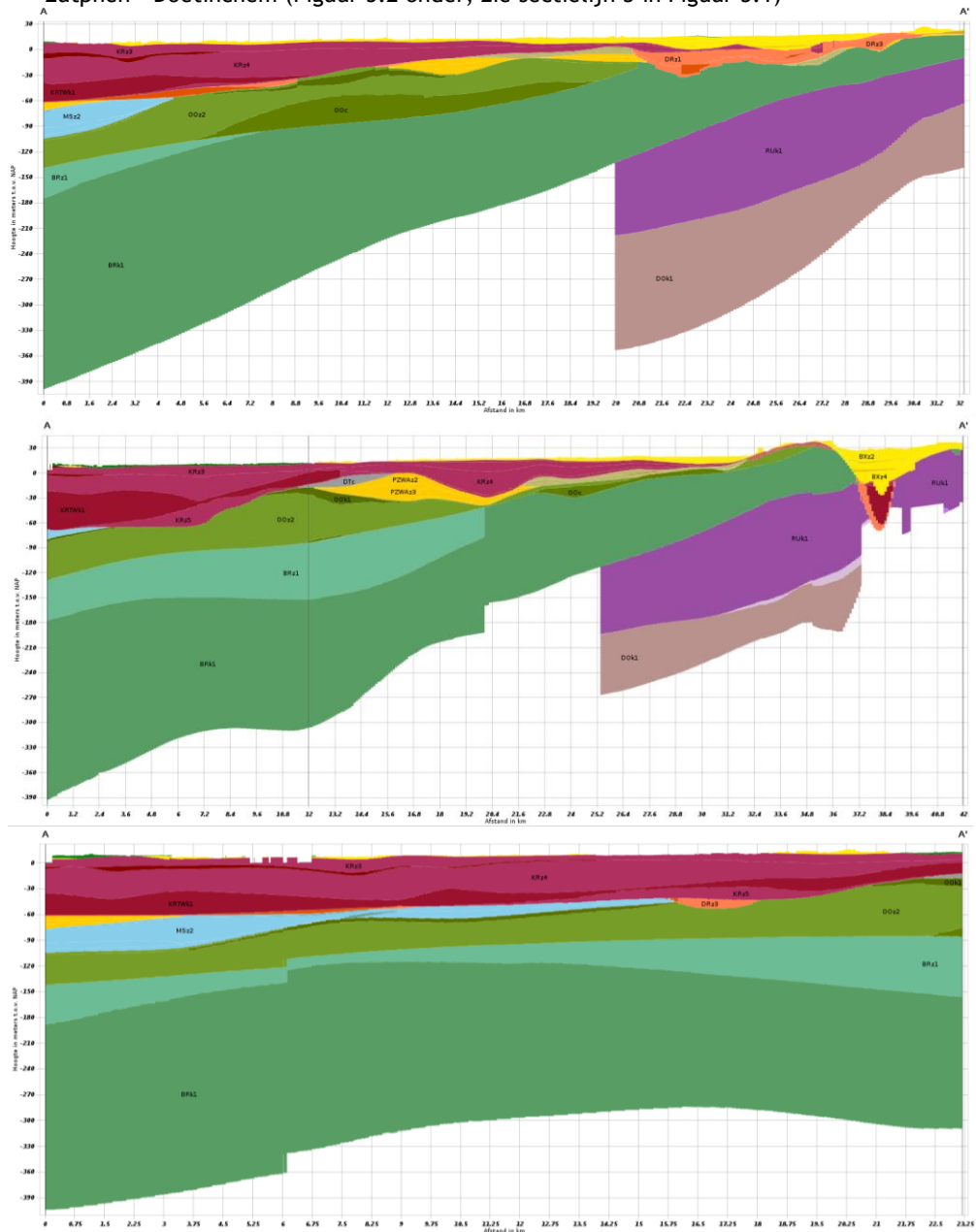


Figuur 5.1 | Zoekgebied Oost-Gelderland met daarin weergegeven de grenzen van de gemeentes die worden meegenomen in de potentiëstudie. De rechte lijnen geven de sectielijnen weer van de doorsnedes in Figuur 5.2. 1: Zutphen - Eibergen, 2: Zutphen - Doetinchem, 3: Doesburg - Doetinchem - Winterswijk.

5.1.4 Geologische situatieschets

Een eerste orde inschatting van de bodemopbouw is verkregen via de BRO REGIS II (v2.2) database. In Figuur 5.2 zijn de volgende dwarsdoorsnedes getoond:

- Zutphen - Eibergen (Figuur 5.2 boven, zie sectielijn 1 in Figuur 5.1)
- Doesburg - Doetinchem - Winterswijk (Figuur 5.2 midden, zie sectielijn 2 in Figuur 5.1)
- Zutphen - Doetinchem (Figuur 5.2 onder, zie sectielijn 3 in Figuur 5.1)



Figuur 5.2 | Dwarsdoorsnedes van de ondergrond in Oost-Gelderland (BRO REGIS II v2.2). Trajecten: Zutphen - Eibergen (boven), Doesburg - Doetinchem - Winterswijk (midden), Zutphen - Doetinchem (onder). Binnen formaties worden kleine eenheden donkerder afgebeeld. Vanaf de oppervlakte worden verschillende formaties gevonden van de Boven-Noordzeegroep: Kreyftenheye ('KR', rood), Peize/Waalre ('PZWA', geel), Maassluis ('MS' blauw), Oosterhout ('OO',

bladgroen), Breda ('BR', groen). Aan de oostkant van het zoekgebied worden de Rupel ('RU', paars) en Dongen ('DO', roze) kleien gevonden.

Uit de dwarsdoorsnede wordt duidelijk dat de mariene formaties van Kreftenheye (KR), Maassluis (MS), Oosterhout (OO) en Breda (BR) van de Boven-Noordzee Groep, dikker worden en dieper liggen richting het westen van het zoekgebied. Om te bepalen of kwantitatieve beoordeling van de potentie zinvol is, wordt de potentie voor HTO in deze formaties eerst kwalitatief beoordeeld.

5.1.5 Kwalitatieve inschatting mogelijkheden voor warmteopslag

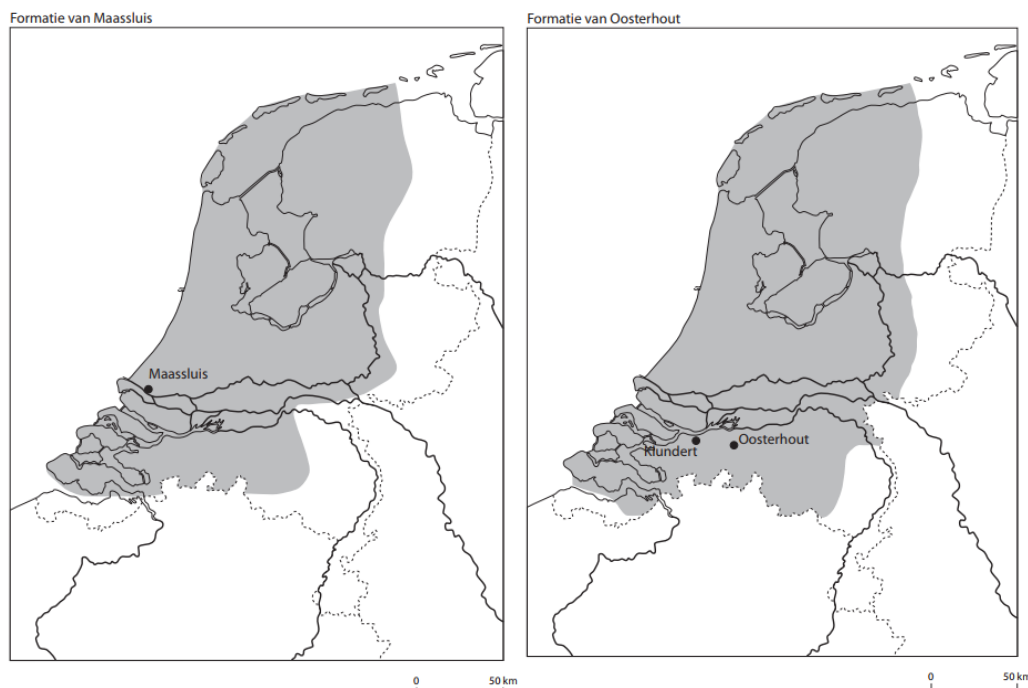
Opslagpakketten

Op basis van de dwarsdoorsnedes kunnen er opslagpakketten (zandige lagen) aanwezig zijn in de formaties van Kreftenheye, Maassluis, Oosterhout en Breda, Rupel en Dongen.

Formatie van Kreftenheye

De Formatie van Kreftenheye bevat zowel zanden als kleien. Op basis van de dwarsdoorsnedes wordt verwacht dat de zanden van de Formatie van Kreftenheye relatief ondiep liggen (50 m-NAP), en niet altijd door een duidelijke scheidende laag worden bedekt. Om deze redenen lijkt warmteopslag in deze formatie op veel plaatsen moeilijk vergunbaar. De potentie wordt niet nader gekwantificeerd.

Een duidelijk voordeel aan de formatie van Kreftenheye is het dikke kleipakket dat aan de basis wordt gevonden (Laagpakket van Twello, kleiige eenheid), voornamelijk langs de IJssel en tot maximaal circa 10 km ten oosten daarvan (zie Figuur 5.3). Deze kleien kunnen uitstekend dienen als afsluitende kleilaag voor de dieper gelegen opslagpakketten van de formaties van Maassluis en Oosterhout, wanneer ze dikker zijn dan 20 m. Figuur 5.3 laat de dikte van de kleiige eenheid zien. Kleuren tussen rood tot lichtblauw geven diktes aan van meer dan 20 m. Op basis van dit criterium wordt een voldoende dik kleipakket verwacht op verschillende plekken in Gelderland, zoals de stedelijke gebieden Apeldoorn, ten oosten van Eerbeek, regio Zutphen, Brummen, Doesburg, Duiven en Zevenaar. Wanneer er zich geschikte opslagpakketten bevinden onder de kleilagen, is potentie voor HTO in deze gebieden groot. Tussen Arnhem en Dieren wordt het kleipakket niet gevonden ten westen van de IJssel. Ook is deze klei niet aanwezig aan de oostkant van Gelderland (Lochem, Ruurlo, Gaanderen).



Figuur 5.4 | Verbreidingsgebied van de formatie van Maassluis (links) en Oosterhout (rechts) in Nederland. De oostelijke grens van beide formaties bevindt zich op enkele kilometers ten oosten van de IJssel.

De kaarten laten zien dat de formaties alleen aan de westkant van het gebied Oost-Gelderland aanwezig zijn. De Formatie van Maassluis is regionaal vermoedelijk aanwezig tot maximaal 10 kilometer ten oosten van de IJssel. De Formatie van Oosterhout wordt niet of nauwelijks aangetroffen ten oosten van Borculo. Dit betekent dat aan de oostkant van het zoekgebied geen potentie is voor warmteopslag in de formaties van Maassluis en Oosterhout. Voor deze beide formaties is de potentie voor warmteopslag nader gekwantificeerd.

Formatie van Breda

Vanwege het hoge kleigehalte van de Formatie van Breda is bekend dat deze op veel plaatsen in Nederland een lage doorlatendheid heeft. Dit geldt ook voor de Breda zanden (BRz1). Voor deze formatie wordt de potentie niet nader gekwantificeerd omdat op basis van de beschikbare informatie en ervaring gesteld kan worden dat de potentie voor warmteopslag in deze formatie laag is.

Formatie van Rupel

De formatie van Rupel is sterk kleiig en wordt daarom niet geschikt geacht voor warmteopslag. Zodoende wordt de potentie hiervoor niet nader onderzocht.

Formatie van Dongen

De formatie van Dongen bevat ook het Zand van Brussel: een laag met voornamelijk silt en fijn zand. Binnen deze studie is voor ondiepe geothermie gekeken naar de permeabiliteit van het Zand van Brussel, dat in het noordwesten van het zoekgebied verwacht mag worden. Deze bleek met 500 mDarcy (horizontale doorlatendheid van circa 0,5 m/d, zie 5.2.6) te klein om potentie

te bieden voor warmteopslag. Daarom wordt potentie voor HTO van het Zand van Brussel niet nader gekwantificeerd.

Zoet-brak en brak-zout grensvlakken

Het zoet-brak grensvlak is gedefinieerd als chlorideconcentratie van 150 mg/l. De diepte van dit grensvlak verschilt sterk in het zoekgebied, voornamelijk vanwege de hoogteverschillen. Over het algemeen geldt dat dit grensvlak dieper ligt wanneer de maaiveldhoogte (t.o.v. NAP) hoger is. Voor een indicatie wordt verwezen naar de kaart met het zoet-brak water grensvlak, op basis van (Batzle M. & Wang Z., 1992) en (Boswinkel, 1981) zie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..**

Op basis van deze kaart wordt het zoet-brak grensvlak per regio op de volgende indicatieve dieptes verwacht:

- Tussen de Veluwe en de IJssel, ten noorden van Dieren: 100 - 200 m-NAP
- Nabij de IJssel: 50 - 150 m-NAP
- Ten oosten van de IJssel: <100 m-NAP
- Tussen Duiven en Doetinchem: 50 - 150 m-NAP

De diepte van het zoet-brakgrensvlak varieert niet alleen tussen regio's, maar ook binnen regio's. Daarom zal er altijd locatie-specifiek naar de diepte van het grensvlak gekeken moeten worden om te beoordelen of warmteopslag in de beoogde formatie mogelijk is zonder zoet met zout water te vermengen.

5.1.6 Kwantitatieve inschatting mogelijkheden voor warmteopslag

De potentie voor warmteopslag in Oost-Gelderland in de formaties van Maassluis en Oosterhout zijn nader gekwantificeerd. Hiertoe is het haalbare debiet berekend op basis van de eigenschappen van deze formaties.

Methodiek

Gebruikte parameters

Het haalbare debiet per formatie wordt berekend aan de hand van de volgende factoren:

- Totale dikte: D (m);
- Netto/Bruto verhouding : N/G (geen eenheid);
- Horizontale doorlatendheid: k (m/d);
- Een onttrekkingsnorm, die de maximale snelheid op de boorgatwand voorschrijft.

Totale dikte en Netto/Bruto verhouding

De totale dikte en de netto/bruto verhouding (N/G) van de formaties zijn bepaald op basis van informatie uit boorbeschrijvingen en boorgatmetingen uit REGIS II, olie- en gasboringen en de database van IF Technology. De N/G geeft aan welk percentage van de totale formatiedikte uit zand bestaat en bepaalt daarmee hoeveel meter filter er in een formatie kan worden gesteld.

Doorlatendheid

De horizontale doorlatendheden van de zanden binnen de formaties van Maassluis en Oosterhout zijn bepaald aan de hand van informatie uit REGIS II en capaciteitsproeven.

Voor de Formatie van Maassluis wordt een gemiddelde doorlatendheid van 12 m/d aangehouden (bij 12 °C). Deze waarde is bepaald op basis van capaciteitsproeven bij de WKO-bronnen van het Gelre Ziekenhuis in Apeldoorn, die zijn geplaatst in deze formatie.

De REGIS bronnen geven aan dat de horizontale doorlatendheid (K_h) van de Formatie van Oosterhout tussen de 5 en 10 m/d ligt. Capaciteitsproeven in Arnhem in het 3^e watervoerende pakket (dezelfde zandige eenheid van de formatie van Oosterhout als in Oost-Gelderland) geven aan dat de horizontale doorlatendheden kunnen oplopen tot 15 en 20 m/d. Andere potentiëstudies noemen een doorlatendheid (P50) van 7,5 m/d. Voor deze potentiëstudie wordt voor de formatie van Oosterhout een horizontale doorlatendheid van 10 m/d bij 10 °C gehanteerd.

De doorlatendheid (k) wordt mede bepaald door de viscositeit van het grondwater, waardoor deze k -waarde afhankelijk is van temperatuur.

Onttrekkingsnorm

De gehanteerde onttrekkingsnorm schrijft voor dat de snelheid op de boorgatwand (v_{max} in [m/d]) tweemaal zo groot mag zijn als de doorlatendheid (m/d) van de formatie:

$$v_{max} = 2 * k$$

Deze norm wordt aangehouden om het risico op zandlevering, en de bijkomende effecten daarvan op de kwaliteit en prestatie van de putten, te voorkomen. Er wordt opgemerkt dat overschrijding van deze norm niet altijd tot zandlevering leidt. De gehanteerde norm bevat dus een veiligheidsmarge, waardoor de haalbare debieten zonder zandlevering wel degelijk hoger kunnen zijn dan de debieten uit de potentiëkaarten.

Onttrekkingstemperatuur

Omdat de k -waarde temperatuurafhankelijk is, kan er met een hogere onttrekkingstemperatuur ook een hoger maximaal debiet worden toegepast. Voor HTO wordt uitgegaan van een minimale onttrekkingstemperatuur van 30 °C voor de 'koude' bron van een HTO doublet en daarom wordt de gebruikte k -waarde bepaald op basis van deze temperatuur. Hiervoor is de relatie tussen viscositeit en temperatuur van Batzle & Wang (Batzle M. & Wang Z., 1992) gebruikt.

Berekening potentie

Het maximaal haalbare debiet (de potentie) wordt berekend door de maximale snelheid op de boorgatwand te vermenigvuldigen met de doorstroomoppervlakte van het boorgat naast de bronfilters (A). Die oppervlakte wordt berekend door de omtrek van het boorgat ($2\pi r$) te vermenigvuldigen met het aantal meters filter dat geplaatst kan worden in de zanden van de formatie ($N/G * D$).

$$A = 2 \pi r * \frac{N}{G} * D$$

De eindformulering voor het maximale debiet in m^3/h is dan:

$$Q_{max} = v_{max} * A = \frac{1}{6} * \pi r * k * \frac{N}{G} * D$$

Met boorgatstraal r en formatiedikte D in [m] en doorlatendheid k in [m/d].

Gebruikte waarden

Tabel 5.1 geeft aan welke waarden voor r , N/G en k zijn gebruikt. Voor deze studie wordt uitgegaan van een boorgatstraal van 400 mm (boorgatdiameter van 800 mm). Op basis van

gegevens uit verschillende putten (zie potentiekaarten) zijn de N/G waarden voor de twee formaties bepaald. De k-waarde is bepaald voor een temperatuur van 30 °C, omdat dit de minimale infiltratietemperatuur van de ‘koude’ HTO-bron representeert. Daarnaast is de vermenigvuldigingsfactor (‘Factor’) weergegeven, waarmee de diktekaart vermenigvuldigd is om het haalbare debiet in m³/h te verkrijgen. Deze is berekend aan de hand van de gehanteerde onttrekkingsnorm en de waarden voor r, N/G en k. De definitie van deze factor is: $\frac{1}{6} * \pi r * k * \frac{N}{G}$.

Tabel 5.1 | Toegepaste reservoir eigenschappen voor berekening van de haalbare debieten voor HTO.

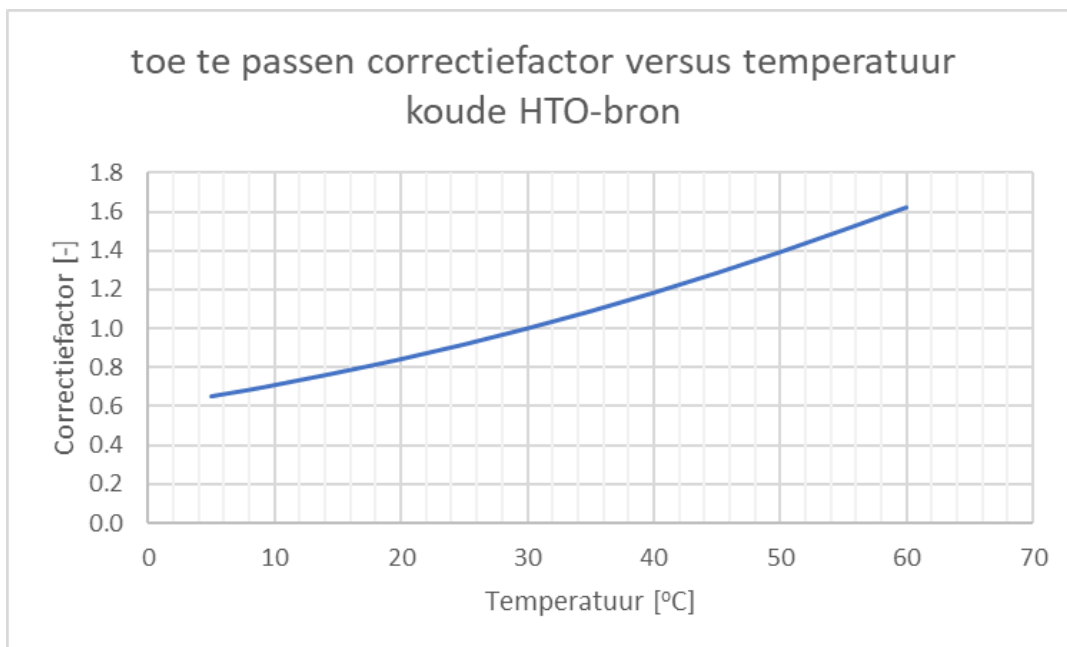
Formatie	r [m]	N/G [-]	k (o.b.v. temperatuur) [m/d]	k (o.b.v. T = 30 °C) [m/d]	Factor [m ² /d]
Maassluis	0.4	0.80	12 (bij 12 °C)	16.3	2.74
Oosterhout	0.4	0.75	10 (bij 10 °C)	13.8	2.17

Potentiekaarten

In diktekaarten is voor elke X,Y locatie een waarde voor de dikte van elke formatie bekend. Voor elke formatie (Maassluis en Oosterhout) wordt de diktekaart vermenigvuldigd met de Factor (zie Tabel 5.1) om het debiet te krijgen dat volgens de onttrekkingsnorm toegepast kan worden bij een infiltratietemperatuur van 30°C. Dit debiet wordt de potentie genoemd en is voor beide formaties weergegeven in de potentiekaarten.

Temperatuurafhankelijkheid van de potentie

De doorlatendheid k is afhankelijk van temperatuur (vanwege temperatuur-afhankelijkheid van de viscositeit van water), waardoor ook het haalbare debiet temperatuurafhankelijk is. Wanneer er een hogere of lagere onttrekkingstemperatuur voor de koude bron van het HTO-systeem van toepassing is dan 30 °C, kan het haalbare debiet op basis van die temperatuur worden berekend, door het weergegeven debiet uit de kaarten te vermenigvuldigen met de factor uit Figuur 5.5.



Figuur 5.5 | Correctiefactor die van toepassing is op de potentie zoals weergegeven in de potentiekaarten. Als de infiltratietemperatuur bij de koude bron van een HTO systeem hoger of lager is dan 30 °C, dient de bijbehorende correctiefactor uit deze figuur te worden toegepast op de haalbare debieten die zijn weergegeven op de potentiekaarten.

Aanwezigheid kleilagen boven opslagpakketten

Omdat de aanwezigheid van een afsluitende laag boven een opslagpakket een aanzienlijke bijdrage levert aan het rendement van een HTO, zijn de kleilagen boven de formaties van Maassluis en Oosterhout ook weergegeven op de potentiekaarten. Hiervoor is gekeken naar diktekaarten van klei-eenheden die beschikbaar zijn via Dinoloket (BRO REGIS II v2.2). De kleiige eenheid binnen het laagpakket van Twello is toegevoegd aan de Maassluis potentiekaart om te laten zien waar de Maassluis zanden aan de bovenkant begrensd worden door deze kleien. Aan de potentiekaart voor de formatie van Oosterhout is de eerste kleiige eenheid van dezelfde formatie toegevoegd (OOK1), die zich, op een aantal locaties in Gelderland, aan de top van de formatie bevindt.

5.2 POTENTIE (O)GT

5.2.1 Workflow

Dit hoofdstuk beschrijft de werkwijze waarmee de potentiekaarten voor ondiepe en reguliere geothermie zijn opgesteld, en de bijbehorende resultaten. De workflow omvat globaal vijf stappen en is schematisch weergegeven in onderstaand figuur (Figuur 5.6). In dit hoofdstuk worden de processtappen uit de workflow kort toegelicht.



Figuur 5.6 | Workflow opstellen potentiekaart geothermie.

5.2.2 Formaties geschikt voor geothermie

Zoals blijkt uit hoofdstuk 4.1 is het Zand van Brussel Laagpakket het meest geschikt voor ondiepe geothermie. Voor deze formatie is een potentiekaart gemaakt.

5.2.3 Putselectie

Om de potentie van het Zand van Brussel Laagpakket in kaart te brengen zijn petrofysische analyses gedaan. Deze analyses gebruiken publiek beschikbare data gemeten in putten in en in de nabijheid van het onderzoeksgebied. Om een zo goed mogelijke inschatting te maken van de distributie en de eigenschappen van het te onderzoeken reservoir is een putselectie gemaakt.

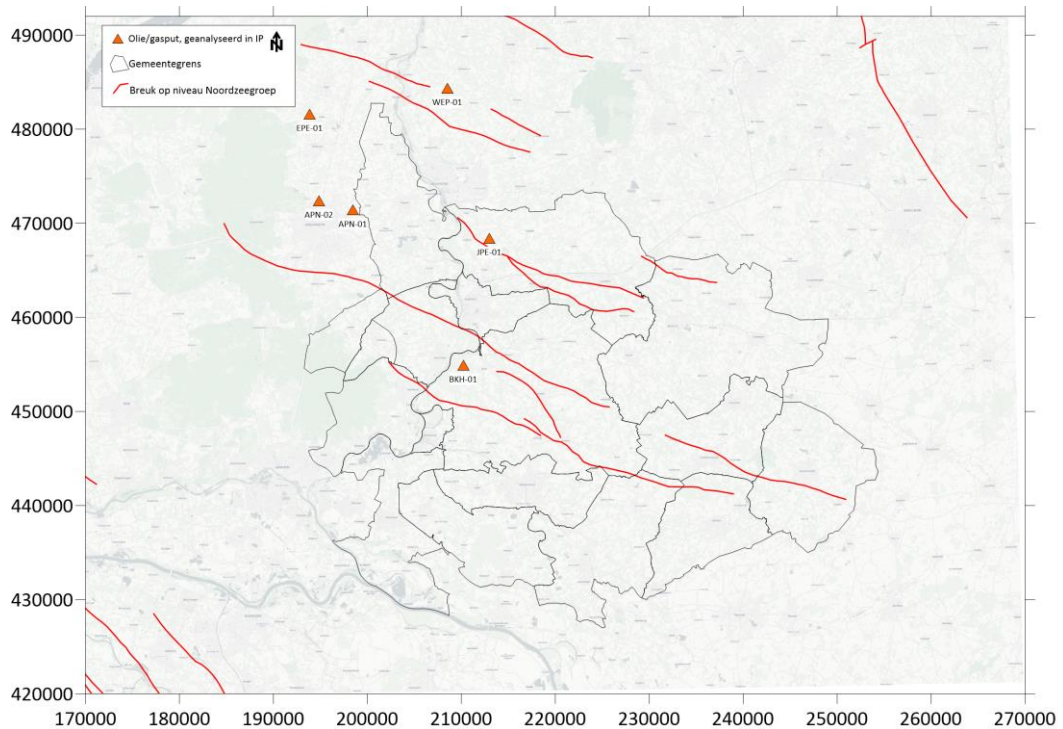
Deze selectie houdt rekening met de volgende factoren:

- de verwachte dikte van het reservoir.
- het aanboren van de geschikte waterhoudende reservoirs;
- de geografische datadichtheid;
- de kwaliteit van de data (o.a. boorgatmetingen zoals logs en kernen, rapporten, puttesten, watermetingen);

Voor het Zand van Brussel Laagpakket heeft dit voor de petrofysische analyse tot de volgende putselectie geleid (Tabel 5.2), voor de locatie van de putten zie Figuur 5.7.

Tabel 5.2 | Putselectie voor petrofysische analyse

Putnaam					
APN-01	APN-02	BKH-01	EPE-01	JPE-01	WEP-01



Figuur 5.7 | Locatie putten voor petrofysische analyse

5.2.4 Putanalyse en opschaling

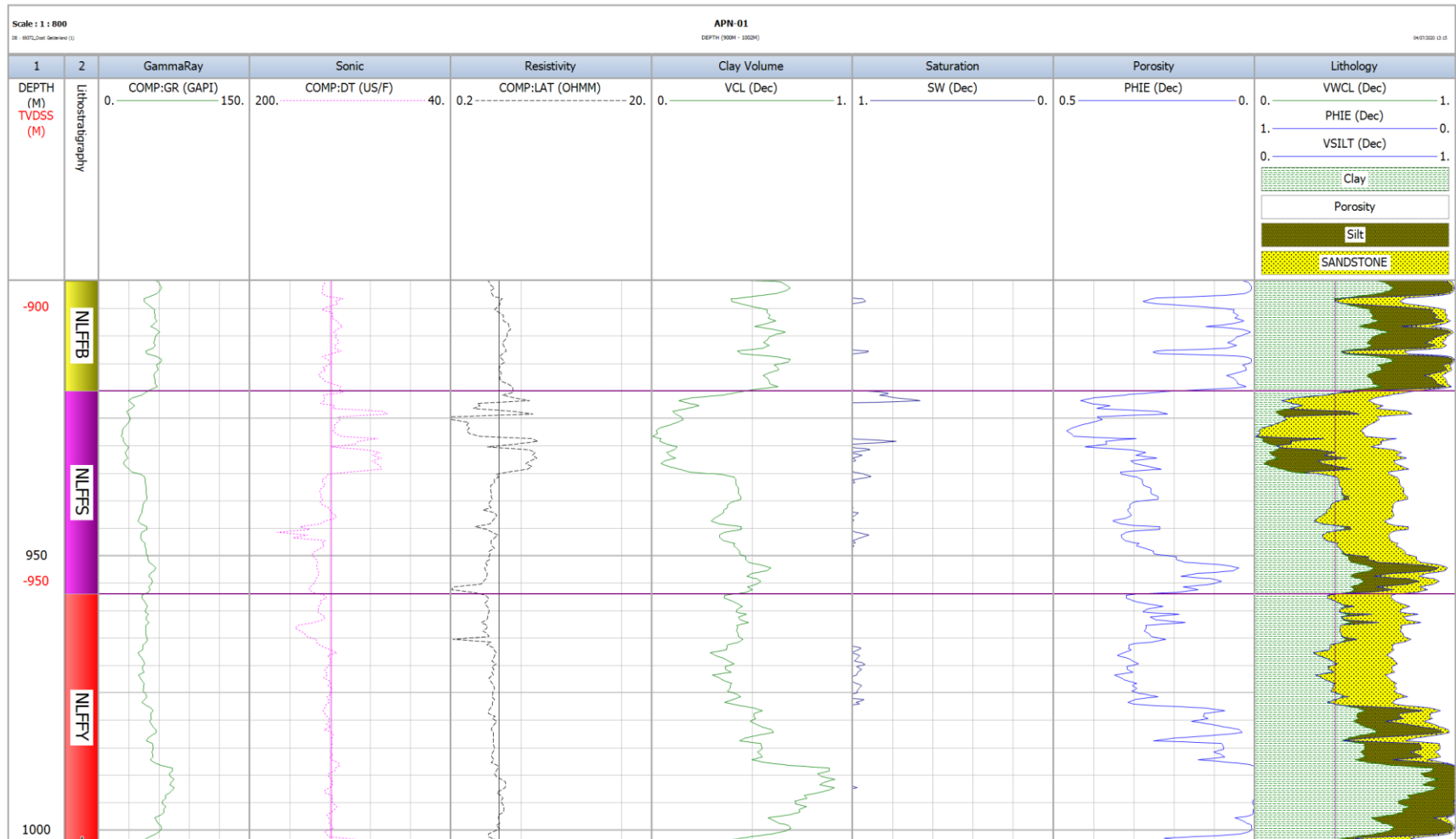
De reservoir eigenschappen worden bepaald middels een petrofysische analyse van openbaar beschikbare putdata. Verschillende boorgatmetingen, van de geselecteerde putten (Tabel 5.2) zijn geïnterpreteerd met Interactive Petrophysics (IP) software. De beschikbare boorgatmetingen zijn gebruikt om de samenstelling (o.a. zand- en kleigehalte), water saturatie, temperatuur, dikte, porositeit en permeabiliteit te bepalen. Zie Figuur 5.8 voor een voorbeeld van de log analyse van de APN-01 put.

De resultaten van de petrofysische analyse zijn weergegeven in Tabel 5.3

Tabel 5.3 | Resultaten petrofysische analyse

Put	Top [MD, m]	Top [TVD, m]	Bruto dikte [m]	Netto dikte [m]	N/G [-]	Gemiddelde porositeit [-]	Gemiddelde water saturatie [-]	Gemiddelde kleivolume [-]
APN-01	920	920	37	21	0,57	0,34	0,97	0,19
APN-02	1.029	1.029	39	17	0,44	0,30	0,94	0,19
BKH-01	845	687	66	20	0,30	0,26	0,82	0,31

EPE-01	933	933	22	15	0,67	0,26	0,95	0,20
JPE-01	574	574	21	10	0,47	0,32	0,83	0,17
WEP-01	630	630	37	24	0,65	0,34	0,94	0,20



Figuur 5.8 | Petrofysische loganalyse van de APN-01 put. NLFFS is de nomenclaturecode voor het Laagpakket van Brussel. De gamma ray, sonic en de resistivity logs zijn gebruikt om het kleivolume (clay volume), water saturatie (saturation) en de porositeit (porosity) te bepalen. Rechts onder de tab Lithology (lithologie) is in geel het geïnterpreteerde zandhoudende reservoir weergegeven.

5.2.5 Potentiebepaling

De gangbare methodiek om de variatie in potentie van geothermische systemen weer te geven voor een studiegebied is door kaarten te maken voor de verschillende parameters die de potentie beïnvloeden, o.a. permeabiliteit, temperatuur en dikte. Deze worden samen vertaald in een potentiekaart. In Tabel 5.4 zijn de verschillende parameters die de potentie van een gebied beïnvloeden weergegeven, met daarbij de methode die is gebruikt om deze te bepalen.

Tabel 5.4 | De parameters die de potentie van een geothermisch systeem beïnvloeden, en de methodes die gebruikt zijn in deze studie.

Parameter	Eenheid	Kaart/constant	Methode
Diepte	[mTVD]	Kaart	Op basis van het ThermoGIS v2.1 model en putlogs
Bruto dikte	[m]	Kaart	Op basis van het ThermoGIS v2.1 model
N/G	[-]	Kaart	Ingeschat op basis van logs van putten in de omgeving
Temperatuur	[°C]	Kaart	Geothermische gradiënt, op basis van putdata in de omgeving
Permeabiliteit	[mD]	Constant	Bepaald op basis van kerndata, putttesten en literatuurdata
Debiet	[m ³ /h]	Kaart	Op basis van de Drucker-Prager methode
Potentie	[MW]	Kaart	Afhankelijk van debiet en temperatuur

5.2.6 Zand van Brussel Laagpakket

Diepte

De diepte van het Zand van Brussel Laagpakket is geanalyseerd in de verschillende boorputten. De reservoirtops hieruit volgend zijn vergeleken met het ThermoGIS model V2.1. Op basis van de petrofysche gegeven is vervolgens het ThermoGIS model V2.1 aangepast. Dit resulteert in een dieptekaart.

Bruto dikte

De diktekaart van het Zand van Brussel is direct overgenomen van het ThermoGIS v2.1 model.

Netto/bruto-verhouding

Het Laagpakket van Brussel bestaat uit afwisselend lagen met een hoge porositeit en lagen met een lagere porositeit. De lagen met een hoge porositeit dragen bij aan het productiedebiet. De cumulatieve dikte van de lagen met een hoge porositeit wordt de netto dikte genoemd. De verhouding tussen de lagen met hoge porositeit ten opzichte van de totale dikte wordt de netto/bruto-verhouding (N/G) genoemd.

De netto/bruto-verhouding is de verhouding van de zandrijke lagen ten opzichte van de totale dikte van het pakket. Deze is per put geïnterpreteerd in IP, en vervolgens gegrid tot een N/G kaart. Hierbij is gebruik gemaakt van een cut-off porositeit van 6%: lagen met een porositeit hoger dan 6% tellen mee voor de netto reservoirdikte.

Netto dikte

De netto dikte is een functie van de bruto dikte en de netto/bruto-verhouding. Deze kaart is gemaakt door in het griddingsprogramma de twee grids met elkaar te vermenigvuldigen.

Permeabiliteit

Het Laagpakket van Brussel is een semi-geconsolideerd sediment, in andere woorden het is een pakket van alternerende zand- en kleilagen die soms kenmerken van verkitting vertonen. Dit maakt het nemen van conventionele gesteentekernen zoals gebruikelijk in de olie- en gasindustrie moeilijk. Daarnaast is het Laagpakket van Brussel doorgaans niet een olie- en gasdoelwit geweest in Nederland. Hierdoor is het niet toepasselijk om een porositeit-diepterelatie en porositeit-permeabiliteitrelatie op reservoir op te stellen op basis van een dataset van kerndata (Mijnlieff et al., 2017).

In plaats daarvan is er gekozen voor een gebiedsgerichte aanpak. Om de permeabiliteit te bepalen is gebruik gemaakt van bestaande landelijke kerndata vanuit NLOG (putten WAP-1, WYK-01, DON-01), literatuurdata en puttestdata van de ZVB-GT putten (Tabel 5.5). In het onderzoeksgebied bestaan de reservoirintervallen binnen de formatie uit klei-zandrijke en fijnzandige lagen. De permeabiliteitsbepaling op basis van de verzamelde bronnen houdt rekening met de bovengenoemde lithologieën. Dit resulteert in een gemiddelde permeabiliteit van 500 mD.

Tabel 5.5 | Inventarisatie permeabiliteit Laagpakket van Brussel. *s.d. = standaard deviatie.

	Permeabiliteit [mD]	Type bron	Bron
Landelijke literatuurstudie (kleirijke interval)	50	Literatuur	Rijks Geologische Dienst, 1984; Doorn et al., 1985
Landelijke literatuurstudie (klei-zand interval)	200	Literatuur	Rijks Geologische Dienst, 1984; Doorn et al., 1985
Landelijke literatuurstudie (fijn-zandrijke interval)	600	Literatuur	Rijks Geologische Dienst, 1984; Doorn et al., 1985
Puttest Zevenbergen	750	Puttest	IF Technology, 2019
Kerndata (min)	0,5	Kerndata	NLOG
Kerndata (gemiddeld)	415 (s.d.* 486)	Kerndata	NLOG
Kerndata (hoog)	2067	Kerndata	NLOG

Transmissiviteit

De transmissiviteit is een functie van de netto dikte (m) en de permeabiliteit (D) en beschrijft daarmee de beschikbaarheid van reservoirwater: hoe hoger de permeabiliteit, hoe makkelijker het water kan stromen, en hoe dikker het reservoir, hoe meer water beschikbaar is voor geothermische productie. Deze kaart is gemaakt door de netto diktekaart te vermenigvuldigen met de constante permeabiliteit van 500 mD (0,5 D).

Debiet

Voor ondiepe geothermie hangt de maximaal haalbare potentie direct af van het maximaal haalbare debiet. In semi- of ongeconsolideerde zanden is dit maximale debiet bereikt als er zandlevering plaatsvindt. Bij zandlevering komen zandkorrels uit het reservoir met het productiewater mee omhoog die de installatie kunnen beschadigen. Hoe harder de zandkorrels op elkaar drukken, hoe minder snel dit gebeurt. De standaard methode om maximaal haalbare debieten uit te rekenen tot het moment van zandlevering gaat volgens een norm op gesteld door IF. Deze is geijkt tot een diepte van 200 m en gaat uit van ongeconsolideerde zanden. Echter, omdat op grotere diepte de frictie tussen de korrels groter wordt, zal een groter debiet haalbaar zijn tot het moment van zandlevering. Om de haalbare debieten voor het gehele gebied te bepalen, is een relatie opgesteld die afhangt van de diepte van het midden van het reservoir en de bijbehorende dikte. De relatie is bepaald aan de hand van de Drucker-Prager methode (Yi, 2003).

Deze methode wordt voornamelijk gebruikt in de olie- en gasindustrie, en is nog niet gebruikt om debieten in te schatten voor geothermieprojecten. Gezien de achterliggende fysica is het aannemelijk dat deze methode ook toepasbaar is voor geothermieprojecten.

De Drucker-Prager methode baseert zich op de drukverandering in het reservoir als gevolg van het opgepompte water. Op basis van de geïnterpreteerde gemiddelde permeabiliteit van 500 mD is een omgerekende doorlatendheid van 0,71 m/dag is aangehouden. De Poisson-ratio, een factor die beschrijft hoe het volume van een bepaald materiaal reageert op druk, varieert voor zandsteen tussen de 0,15 (los) en de 0,40 (geconsolideerd) en is hier ingeschat op 0,28 m.

Het te behalen debiet is bepaald op een dieptebereik tussen 0 en 1.200 m. Op basis van de Drucker-Prager methode is het debiet afhankelijk van de dikte en de diepte. Dit resulteert in de volgende relatie:

$$\text{Debiet [m}^3/\text{h]} = 0,00475 * \text{diepte [m]} * \text{netto dikte [m]}$$

Op basis van deze relatie is een debietgrid opgesteld m.b.v. de kaart van de diepte van de top van het Laagpakket van Brussel en de bijbehorende netto dikte. De gebruikte inputwaarden zijn weergegeven in Tabel 5.6. Een deel hiervan komt niet terug in de vergelijking; deze zijn verwerkt in de constante.

Tabel 5.6 | Inputwaarden gebruikt in de debietbepaling op basis van de Drucker-Prager methode.

parameter	eenheid	waarde
Dikte	[m]	grid
Diepte	[mTVD]	grid
Poisson's ratio	[m]	0,28
Bulk gewicht reservoirgesteente	[kN/m ³]	18
Rondheid van de zandkorrels	[-]	0,34
Putdiameter	[m]	0,6
D10 korrelgrootte (slechts 10% van de korrels is kleiner dan de D10 waarde)	[mm]	0,29
Doorlatendheid	[mD] [m/dag]	500 0,71
SHmax'	[bar/bar]	1,1
Sv grad	[bar/m]	0,2
Pp grad	[bar/m]	0,103

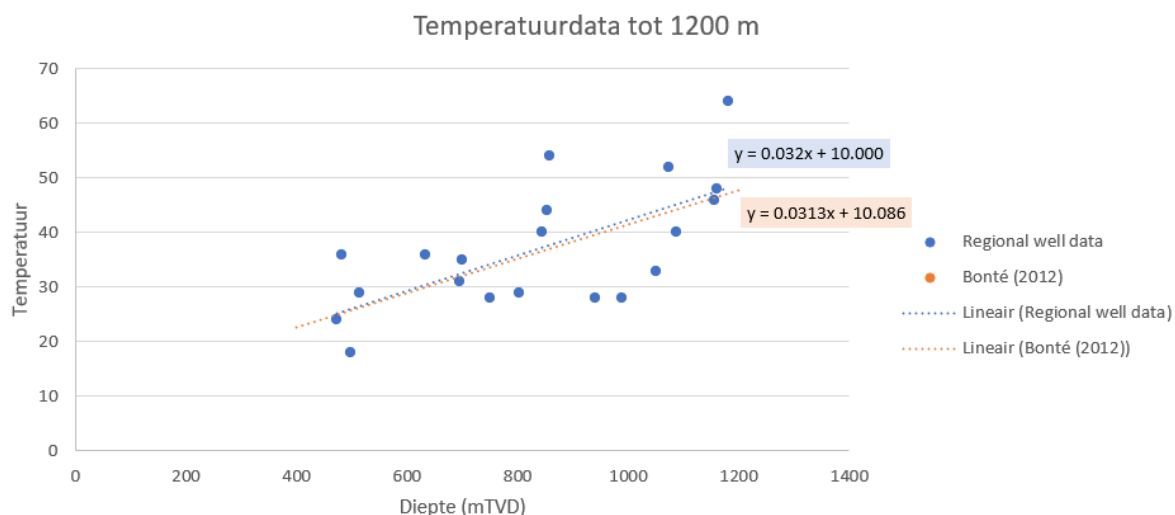
Temperatuur

De temperatuurgradiënt in het dieptebereik van 0 tot 1.200 m op basis van temperatuurmetingen in nabijgelegen putten wordt beschreven door de volgende vergelijking:

$$\text{Temperatuur [}^{\circ}\text{C]} = 0,032 * \text{diepte [mTVD]} + 10$$

Deze relatie is gebaseerd op temperatuurdata van de volgende putten: JPE-01, NVG-01, APN-01, BKH-01, EPE-01, HGV-01, LTV-02, LVD-01, NVG-01, RLO-01, WEP-01, WHYH-01 en ZED-01. De temperatuurkaart is gemaakt voor de top van het Laagpakket van Brussel. In Figuur 5.9 staan de

metingen in de regio tot een diepte van 1.200 meter waarop de geothermische gradiënt is bepaald, ter vergelijking is ook de landelijke geothermische gradiënt weergegeven (Bonté et al., 2012). Zoals te zien is in de figuur is lijkt spreiding in temperatuurdata groot, maar dit is iets wat vaak voorkomt en omdat de gemiddelde gradiënt nauwelijks afwijkt van de landelijke geothermisch gradiënt wordt hij toch betrouwbaar geacht.



Figuur 5.9 | Geothermische gradiënt op basis van putten in de omgeving van het studiegebied (blauw) en op basis van de landelijke geothermische gradiënt (oranje).

Potentie

De potentie van een systeem in megawatt [MW] wordt berekend met de volgende formule:

$$\text{Potentie [MW]} = (\text{debiet [m}^3/\text{h]} * \text{delta T [}^\circ\text{C]} * \text{Cw [J/m}^3\text{*C]}) / 3.600 / 1.000.000$$

In Tabel 6.1 staan de waarden van de gebruikte parameters. De gekozen retourtemperatuur is 10°C. Dit is relatief laag: hoe lager de gekozen retourtemperatuur, hoe hoger de potentie, maar hoe hoger ook de energievraag van de bovengrondse installatie. Bij een lagere retourtemperatuur daalt dus ook de “coefficient of performance” (COP). Dit is een afweging die gemaakt moet worden als er op een specifieke oppervlaktelocatie een systeemontwerp gemaakt wordt. Deze hangt af van de warmtevraag en de lokale reservoirtemperatuur.

Tabel 5.7 | Uitgangspunten potentieberekening Laagpakket van Brussel in Oost-Gelderland.

Parameter	Eenheid	Waarde
Retourtemperatuur	[°C]	10
Warmtecapaciteit water (Cw)	[J/m ³ *C]	4200000

5.3

POTENTIE UDG

Geothermie systemen worden beschouwd als een mogelijk alternatief voor verwarming door fossiele brandstof. Echter, de huidige gerealiseerde geothermische projecten voorzien nog niet in de levering van hoge temperatuur verwarming voor industrie. Ultra diepe geothermie (UDG) kan deze hoge warmte waarschijnlijk wel leveren, gebruikmakend van geothermische reservoirs dieper dan 4

km. De Nederlandse ondergrond is echter nog niet goed in kaart gebracht en is daarom nog relatief onbekend. Gebaseerd op de gelimiteerde data, zijn de Dinantien carbonaten uit het Laag Carboon geïdentificeerd door Boxem et al., 2016, als het meest veelbelovende reservoir voor UDG, zoals ook beschreven in paragraaf 4.1.5. Hierbij wordt vooral gezocht naar platform carbonaten, aangezien

5.3.1 SCAN rapportage

Omdat de haalbaarheid van Ultradiepe Geothermie in Nederland nog relatief onzeker is. Daarom het meerjarige Seismische Campagne Aardwarmte Nederland (kortweg SCAN) opgestart door TNO en EBN. Aan de hand van de resultaten van SCAN kan beter worden bepaald waar de ondergrond in Nederland mogelijk geschikt is voor aardwarmtewinning. De grootste projecten van het SCAN programma zijn het in het veld opnemen van nieuwe seismische data met moderne technieken en de herbewerking van al bestaande seismische data van de Nederlandse ondergrond. Hierbij ligt er een nadruk op gebieden waarvan weinig gegevens beschikbaar zijn. Door de resultaten hiervan bij elkaar te brengen en te bestuderen, wordt de kennis van onze ondergrond vergroot. Meer informatie over het SCAN programma is te vinden via de website scanaardwarmte.nl.

Als onderdeel van SCAN worden in het SCAN Dinantian subprogramma een aantal onderzoeken gedaan naar de kansen van geothermie op meer dan vier kilometer diepte. Deze onderzoeken hangen samen met de Green Deal Ultradiepe Geothermie (UDG) (<https://www.greendeals.nl/green-deals/ultradiepe-geothermie>), en zijn gericht op de Dinantien kalklagen; dieper dan 4 km. Gebaseerd op de gelimiteerde data, zijn deze Dinantien carbonaten uit het Laag Carboon geïdentificeerd (Boxem et al., 2016) als het meest veelbelovende reservoir voor UDG.

Om het risico van geothermische projecten in het Dinantien te verkleinen voor de regio Gelderland worden in het rapport de volgende acties beschreven:

- Gedetailleerde interpretatie voor het Dinantien.
- Reservoir studie van het Dinantien
- Herprocessing van 2D seismische data
- Vergaren van nieuwe diepe Seismische data bij put WSK-01
- Vergaren nieuwe diepe seismische data over Eerbeek.

De eerste 2 studies naar de Dinantien carbonaten zijn in 2019 afgerond. De rapporten richten zich op de beperkte data (seismische data en boorputten) die aanwezig is van de Dinantien carbonaten en proberen hieruit te destilleren wat de eigenschappen zijn van het Dinantien en of er een platform aanwezig is. Deze onderzoeken zijn bij de resultaten samengevat en -waar mogelijk- zijn conclusies getrokken voor de haalbaarheid van een UDG project in de regio Oost-Gelderland.

6 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de verschillende opgestelde kaarten besproken. De kaarten zijn gebaseerd op beschikbare regionale informatie ten tijde van het opstellen van de kaarten en zijn indicatief. Voor het bepalen van de haalbaarheid en ontwerp van een systeem is aanvullend onderzoek nodig. Daarnaast is een kwalitatieve beschrijving gegeven voor UDG.

6.1 HTO POTENTIE KAARTEN

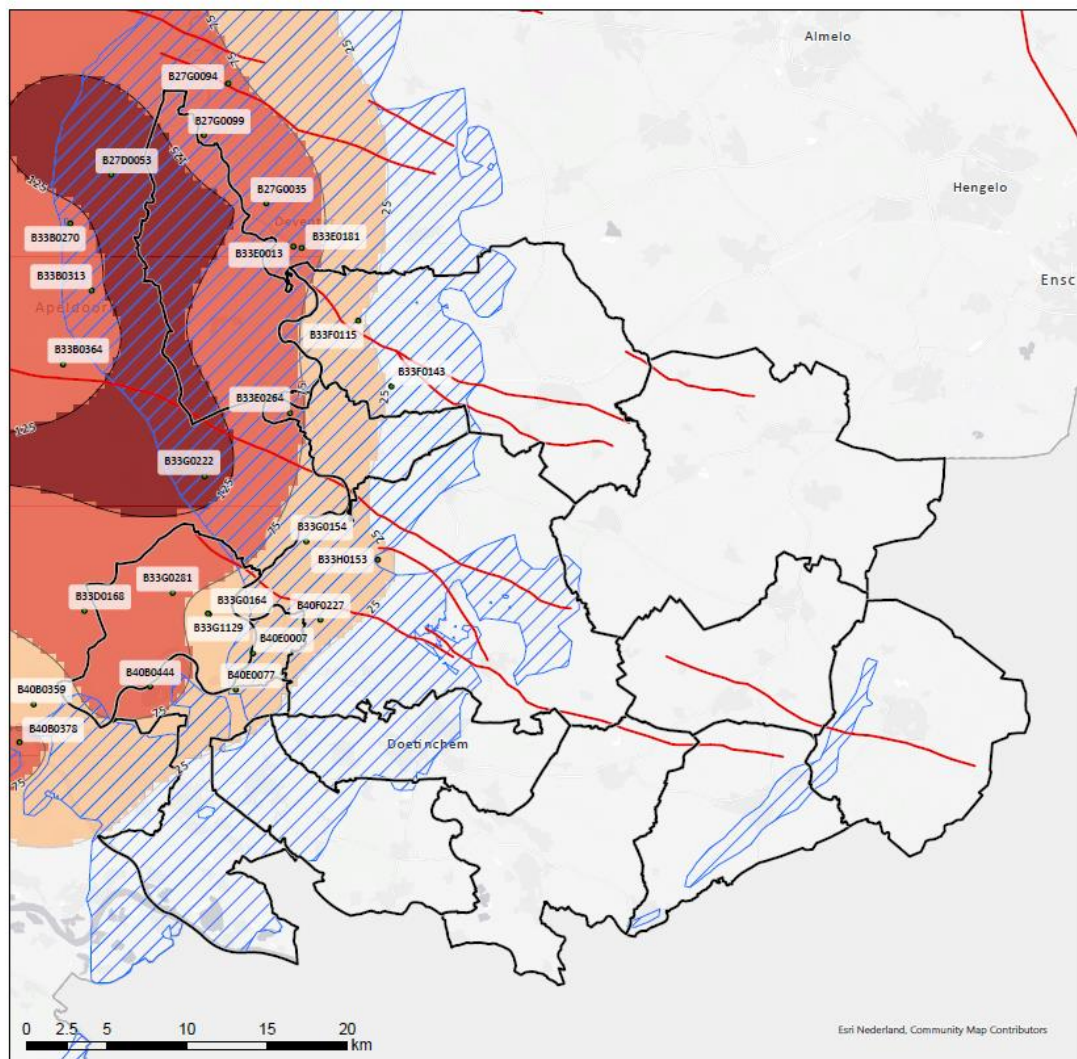
De resultaten van de potentieberekeningen voor de formaties van Maassluis en Oosterhout zijn weergegeven in Figuur 6.1, Figuur 6.2 en in hogere resolutie op de potentiekaarten in de bijlage. Hierin is het haalbare debiet weergegeven dat toegepast kan worden per formatie, geïnclassificeerd in drie categorieën:

- Laag: 25 - 75 m³/h
- Midden 75 - 125 m³/h
- Hoog > 125 m³/h

Voor locaties binnen het zoekgebied die niet binnen één van bovenstaande categorieën vallen, wordt een zeer lage potentie verwacht (oosten van zoekgebied). De gearceerde vlakken geven aan waar een kleiige eenheid verwacht kan worden aan de bovenkant van de formaties.

6.1.1 Formatie van Maassluis

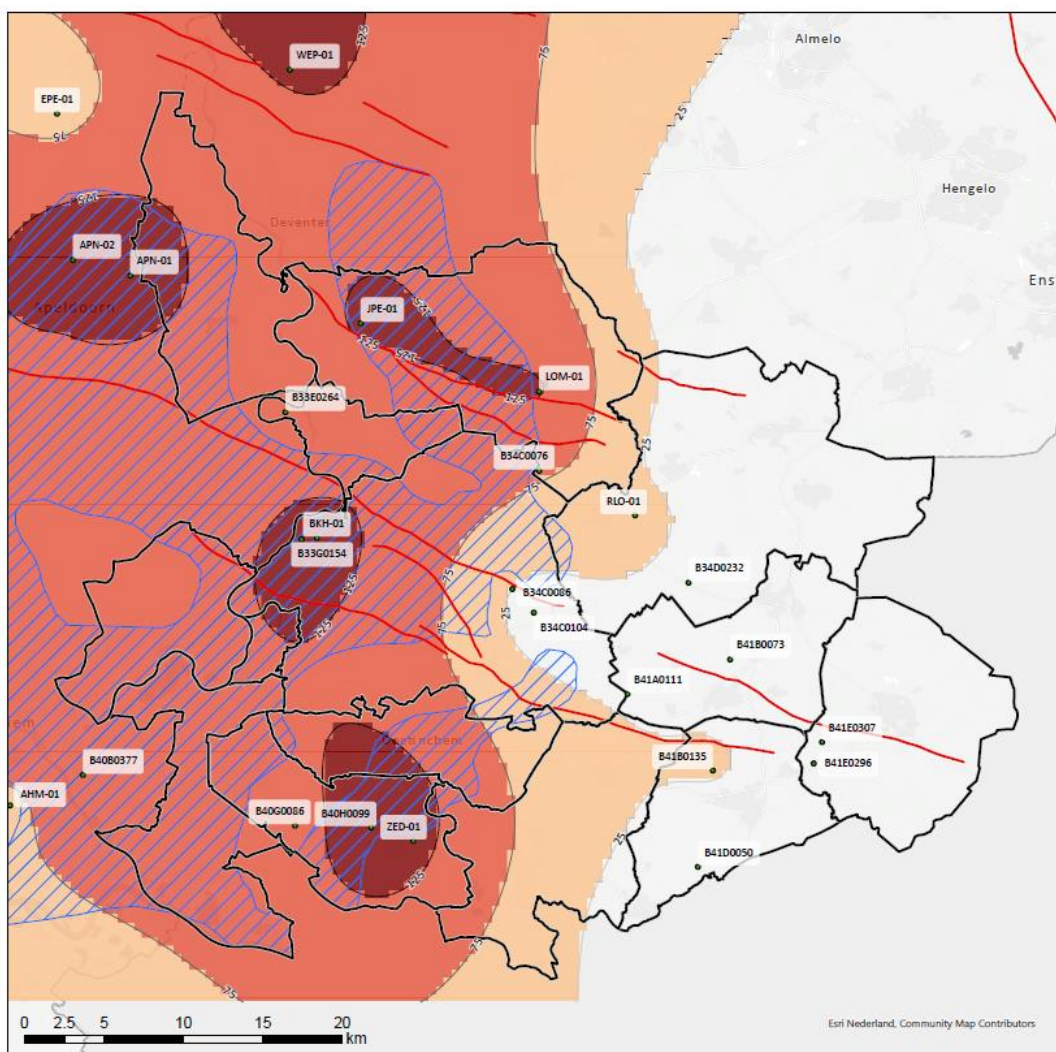
De Formatie van Maassluis is alleen aanwezig aan de westkant van het zoekgebied, waardoor de potentie voor warmteopslag klein of nihil is ten oosten van de IJssel. De potentie voor warmteopslag is het hoogst in het gebied dat ligt tussen de oostkant van de Veluwe en de IJssel, van Epe tot aan Dieren. De kleiige eenheid van het laagpakket van Twello is ook aanwezig in dit gebied, maar dit kleipakket wigt snel uit aan de westkant, waardoor deze klei vermoedelijk niet wordt aangetroffen onder de plaatsen Epe, Vaassen, Apeldoorn-West, Eerbeek en Dieren. Ten zuiden van de lijn Apeldoorn - Deventer mag verwacht worden dat ook de grove zandlagen van de Peize/Waalre formatie aanwezig zijn tussen de Formatie van Maassluis en het laagpakket. In dat geval is de potentie voor warmteopslag groter dan op de potentiekaart aangegeven.



Figuur 6.1 | Potentie voor Hoge Temperatuur Opslag in de Formatie van Maassluis voor de regio Oost-Gelderland.

6.1.2 Formatie van Oosterhout

De Formatie van Oosterhout reikt oostelijker dan de Formatie van Maassluis. In een groot deel van het zoekgebied is de potentie voor HTO midden tot hoog, namelijk ten westen van de lijn Lochem - Hengelo (GLD) - Ulft en ten noorden van de Rijn en Waal. Met name waar de eerste kleiige eenheid van Oosterhout aangetroffen wordt, is de potentie voor HTO groot. Dit is van regio Apeldoorn via Eerbeek tot aan Brummen, van Brummen via de IJssel tot aan Arnhem boven de rivier, van Arnhem tot aan Zevenaar en in de omgeving van Doetinchem.



Figuur 6.2 | Potentie voor Hoge Temperatuur Opslag in de Formatie van Oosterhout voor de regio Oost-Gelderland.

6.2 OGT KAARTEN

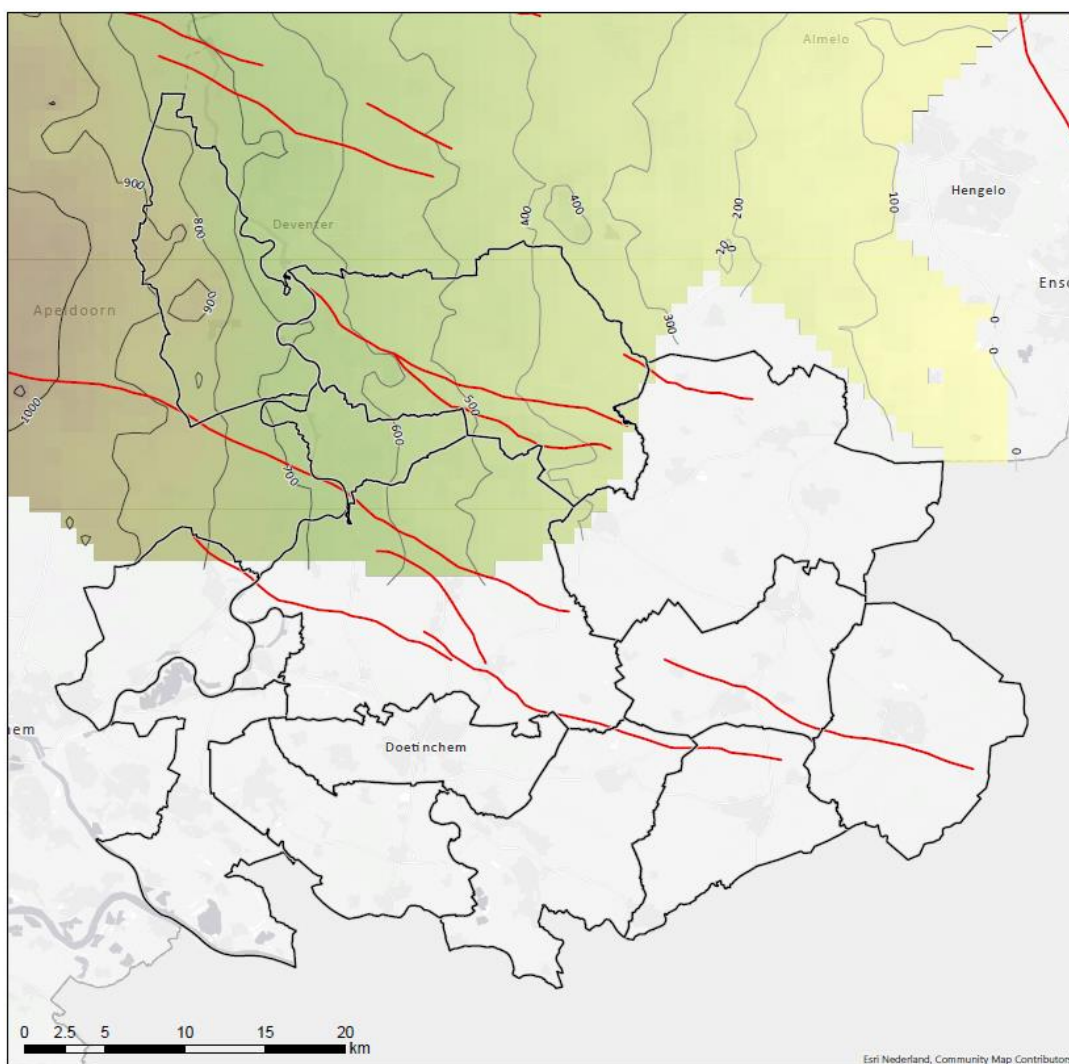
Zoals aangeven zijn de eigenschappen en geothermische potentie van het Zand van Brussel laagpakket bepaald. Deze resultaten zijn verwerkt in verschillende kaarten. In Tabel 6.1 is een overzicht weergegeven van deze kaarten voor het Zand van Brussel

Tabel 6.1 | Overzicht geproduceerde kaarten en gehanteerde eenheden.

Reservoir	Techniek	Diepte top	Temperatuur mid-reservoir	Transmissiviteit	Potentie
Zand van Brussel	OGT	[m]	[°C]	[Dm]	MW _t

6.2.1 Diepte

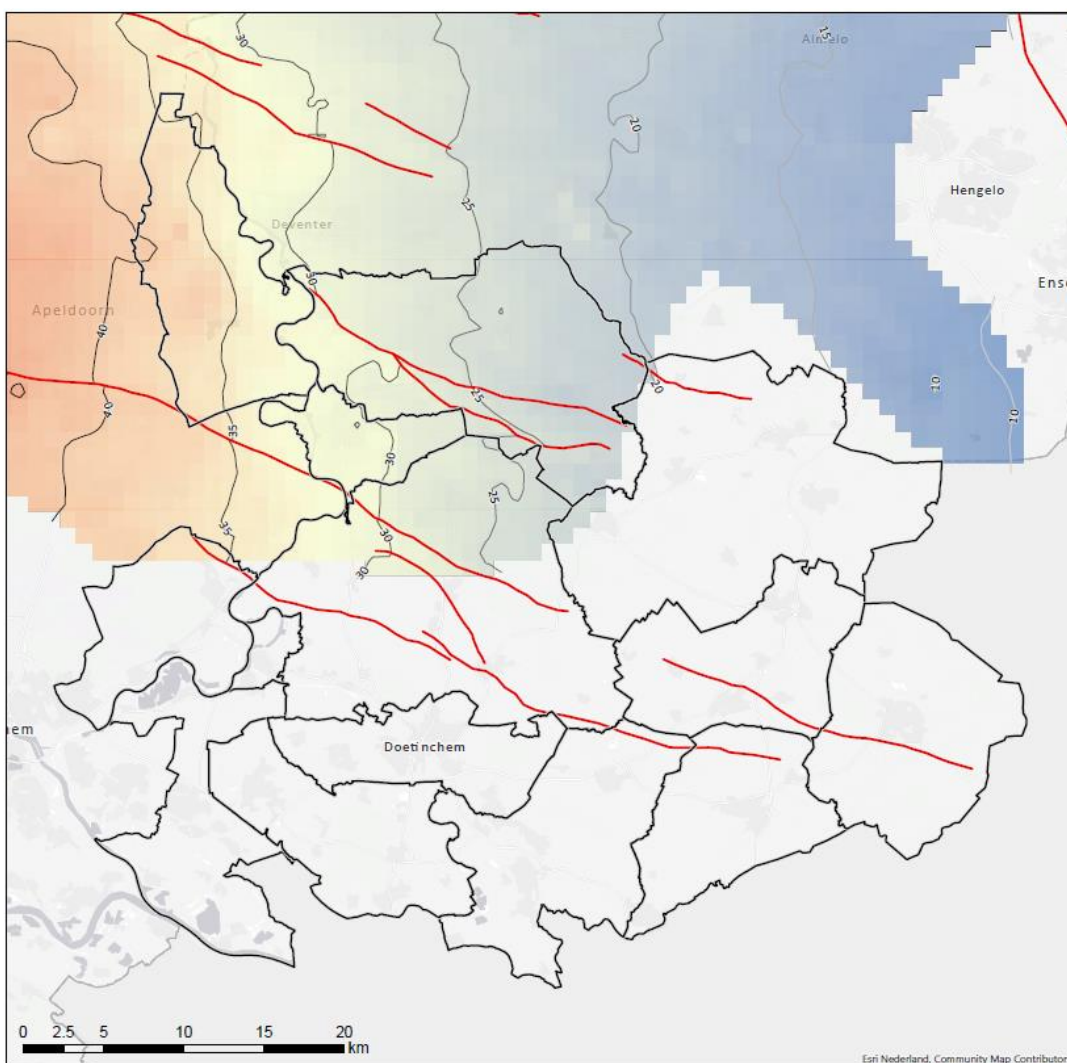
De Formatie van Brussel is enkel in het noordwesten van het bestudeerde gebied aanwezig. In de rest van het gebied is deze formatie niet afgezet of geïrodeerd. De diepte van de top van dit reservoir is weergegeven in Figuur 6.3 en in meer detail in de appendix. De diepte is gebaseerd op de geïnterpreteerde toppen van nabij gelegen putten en geïnterpoleerd op basis van het ThermoGIS v2.1 model. Deze formatie ligt op de westelijke grens van het gebied rond de 900m en wordt ondieper naar het oosten toe. In het algemeen geldt: hoe dieper het reservoir ligt, hoe hoger de temperatuur van het te winnen water is en dus hoe hoger de geothermische potentie is.



Figuur 6.3 | Diepte in meter van de top van het Brussels Zand in de regio Oost-Gelderland. Breuken op de diepte van de Noordzeegroep zijn weergegeven in rood.

6.2.2 Temperatuur

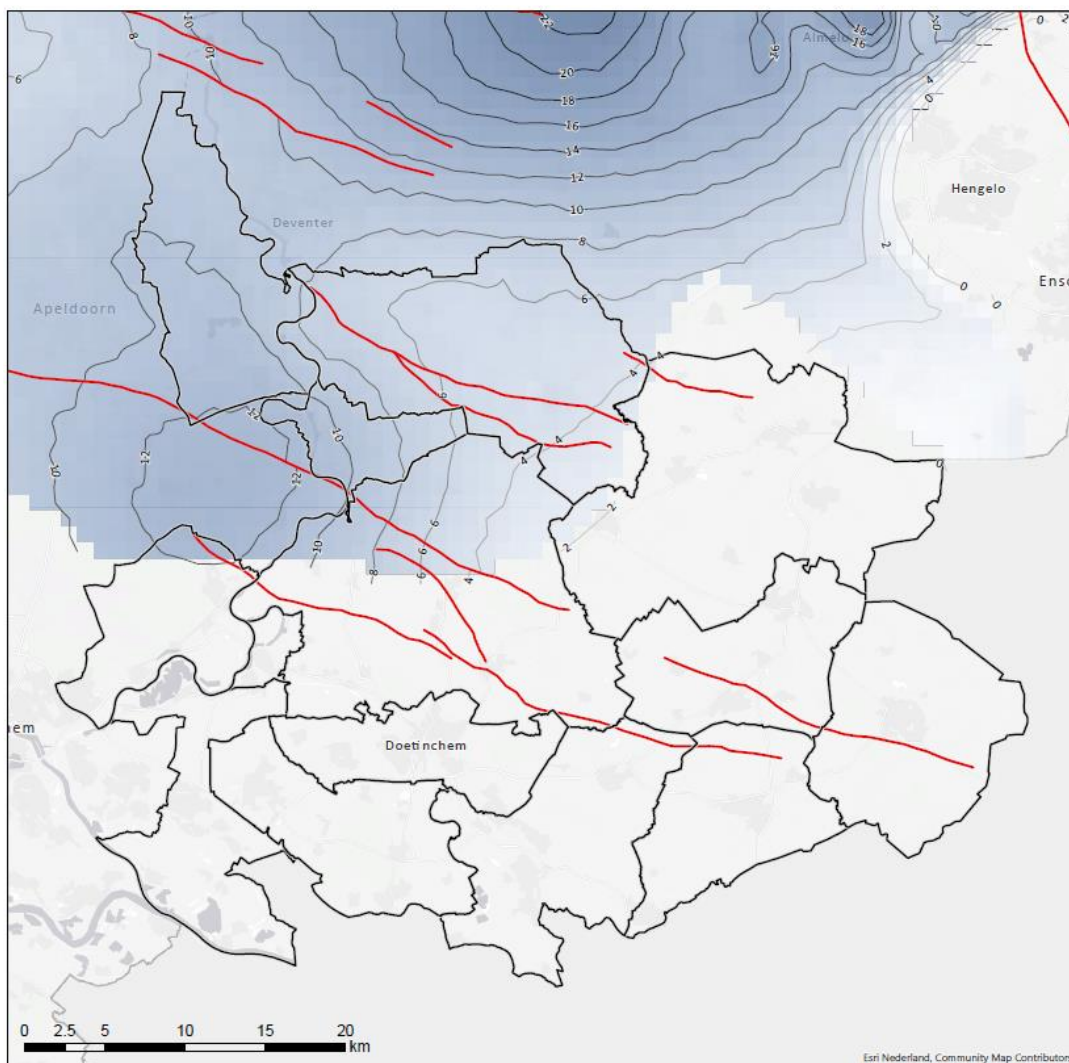
In Figuur 6.4 is de verwachte temperatuur van het water in dit reservoir (de waterhoudende laag) weergegeven. De temperatuur is uitgerekend op basis van de dieptekaart en een geothermische gradiënt van $0,032\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$, en een gemiddelde oppervlaktetemperatuur van $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hierdoor loopt de trend van de temperatuur gelijk aan die van de diepte. De temperatuur op de westelijke rand van de regio Oost-Gelderland ligt rond de $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ en loopt af richting de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. In het algemeen geldt: hoe hoger de temperatuur, hoe hoger de potentie. De temperatuur is relatief laag voor het gebruik van geothermie. Naar alle waarschijnlijkheid zal deze temperatuur nog verhoogt moeten worden voor gebruik van deze warmte. Ook zal een relatief lage retourtemperatuur (van $10\text{ }^{\circ}\text{C}$) gebruikt moeten worden om voldoende energie te kunnen onttrekken. Deze zelfde kaart is in een hogere resolutie als bijlage toegevoegd.



Figuur 6.4 | Temperatuur in $^{\circ}\text{C}$ van de top van het Brussels Zand in de regio Oost-Gelderland. Breuken op de diepte van de Noordzeegroep zijn weergegeven in rood.

6.2.3 Transmissiviteit

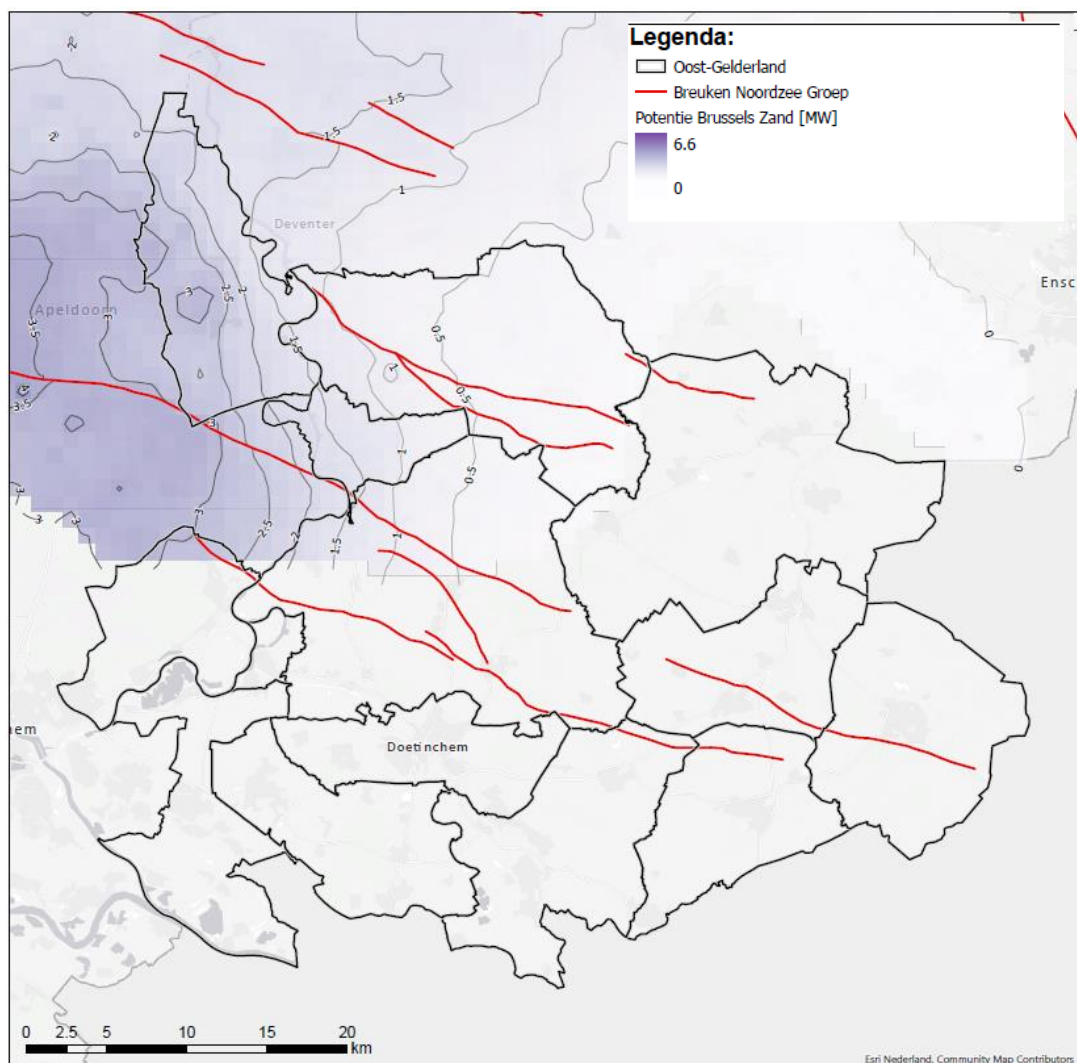
Zoals beschreven in het vorige hoofdstuk is de transmissiviteit een functie van de netto dikte (m) en de permeabiliteit (D) en beschrijft daarmee de beschikbaarheid van reservoirwater. Aangezien een constante waarde is aangenomen voor de permeabiliteit geeft deze kaart ook inzicht over de dikte verdeling binnen het reservoir. Over het algemeen geldt: hoe hoger de transmissiviteit, hoe hoger de potentie. In Figuur 6.5 is de transmissiviteit in de regio Oost-Gelderland weergegeven. De hoogste potentie ligt rond Eerbeek-Loenen en neemt af naar het oosten van het gebied. Deze zelfde kaart is in een hogere resolutie als bijlage toegevoegd.



Figuur 6.5 | De transmissiviteit in meter Darcy van het Brussels Zand in de regio Oost-Gelderland. Breuken op de diepte van de Noordzeegroep zijn weergegeven in rood.

6.2.4 Potentie

Figuur 6.6 laat de verwachte geothermische potentie in MW zien. Dezelfde kaart is in een hogere resolutie als bijlage toegevoegd. De potentie is berekend op basis van de verwachte hoeveelheid water die opgepompt kan worden, en op de temperatuur van dit water. Hierbij is een retourtemperatuur van 10°C aangehouden. De potentie is het grootst in het westelijke deel van de regio Oost-Gelderland.



Figuur 6.6 | De geothermische potentie in MW van het Brussels Zand in de regio Oost-Gelderland. Breuken op de diepte van de Noordzeegroep zijn weergegeven in rood.

6.3 UDG - ZEELAND FORMATIE IN OOST-GELDERLAND

De SCAN rapporten richten zich op de beperkte data die aanwezig is van de Dinantien carbonaten. Deze rapporten proberen hieruit te destilleren wat de eigenschappen zijn van het Dinantien zijn en of er een carbonaat platform aanwezig is

6.3.1 Seismische data

Allereerst is naar de seismische data gekeken. Platform carbonaten zijn normaal redelijk goed zichtbaar in seismische data. In de regio Oost-Gelderland is dit echter niet het geval om een aantal redenen:

- De ~150 m carbonaten gedetecteerd in de WSK-01 put bevatten veel schalie intervallen en lopen geleidelijk over in de laag erboven, waardoor er geen sterke reflectie is in de seismische data.
- De meest duidelijke reflectie in de diepere ondergrond wordt gegenereerd door een overliggerende basalt (in een bovenliggende laag). Hierdoor zijn de onderliggende Dinantien carbonaten niet tot nauwelijks nog zichtbaar.
- Seismische reflecties zijn ook nog laag door het overliggerende Zechstein zout

In de Winterswijk regio wordt de aanwezigheid van een carbonaat platform verondersteld, vlak bij de WSK-01 put. De seismische data is echter zeer slecht, waardoor het niet mogelijk is de omvang van dit platform te kunnen bepalen. Meer (3D) seismiek en een hogere kwaliteit van de seismische data is belangrijk om meer zekerheid over de omvang van dit carbonaatplatform (of platforms) te kunnen geven.

6.3.2 Boorputten

Er is maar een klein aantal boringen in Nederland die de Dinantien carbonaten hebben aangeboord. Echter 1 van deze putten ligt vlak bij Winterswijk, de WSK-01 put. Hier is een pakket van 186 m dikke carbonaten uit het Dinantien aangetroffen in de boorput. De carbonaten bij put WSK-01 lijken meer klei te bevatten dan bij overige putten in Nederland. De genomen monsters van de boring zijn echter niet representatief voor de gehele formatie. Uit deze boorput bij Winterswijk blijkt dat de Dinantien carbonaten een zeer lage porositeit hebben. Gedurende pomptesten werd ook geen stroming van water waargenomen.

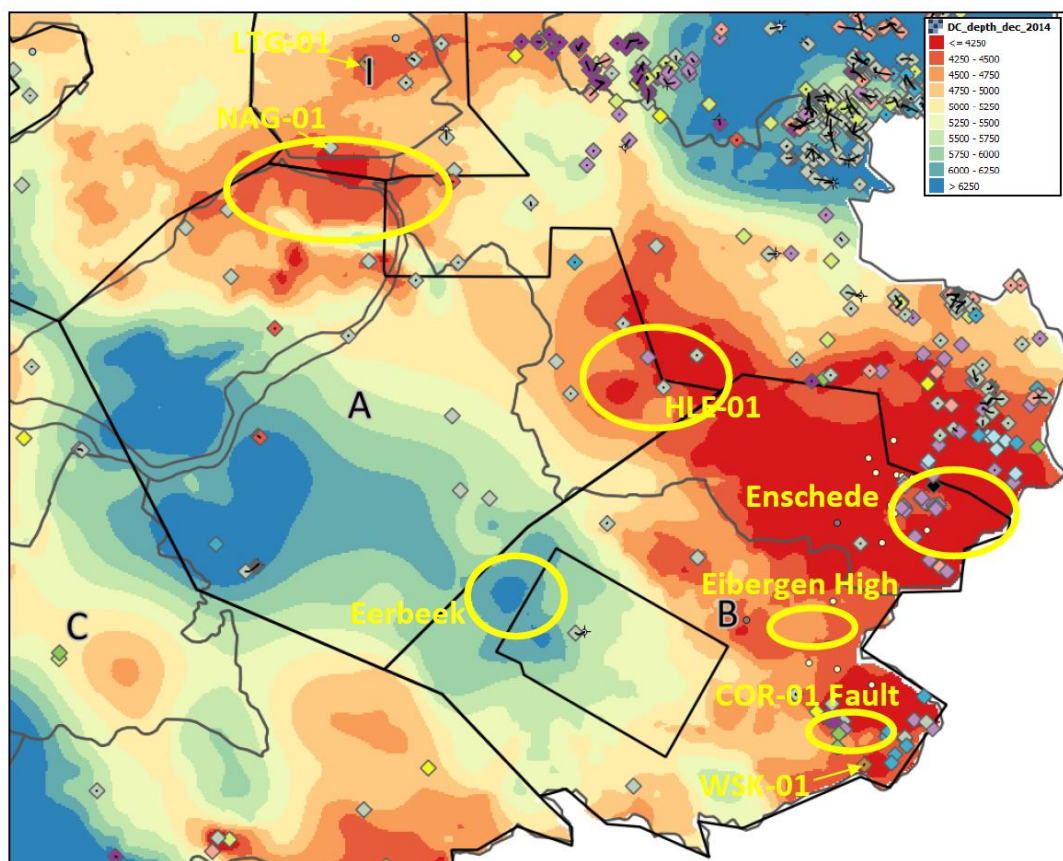
6.3.3 Vergelijk Seismiek - Boorputten

Om de seismische reflecties van de carbonaten uit het Dinantien beter te kunnen begrijpen zijn deze gekoppeld aan lokale boorputten, zo ook aan WSK-01 bij Winterswijk. Echter bijna alle boorputten die het Dinantien hebben aangeboord, buiten de putten in Groningen en Friesland, hebben onvoldoende dekking van seismische data. Om de risico's van een geothermisch project in het Dinantien te verkleinen is een beter vergelijk nodig tussen de boringen (als WSK-01) en seismische data met voldoende kwaliteit.

6.3.4 Mogelijke potentie

Dinantien kalksteen is overwegend niet permeabel, maar productie van water uit deze reservoirs kan toch mogelijk zijn door de aanwezigheid van fractures (scheuren) en/of karst. Hoofdvragen voor geothermische ontwikkeling in dit reservoir zijn dus: zijn er open fractuursystemen, hoe zijn deze lateraal en verticaal verdeeld, vormen ze een uitgebreid netwerk om consistent voldoende volumes te produceren en hoe zijn ze georiënteerd. Het karakteriseren van fractures (bijv. oriëntatie, grootte, breedte en frequentie) is daarom een belangrijke stap in het in kaart brengen van de geothermische potentie van de Dinantien kalksteen.

De aanwezigheid van fractures varieert sterk in het Dinantien, maar de verspreiding is niet in kaart gebracht. Gebieden met mogelijke potentie (o.a. door fractures en door verbreuking) zijn weergegeven in Figuur 6.7.

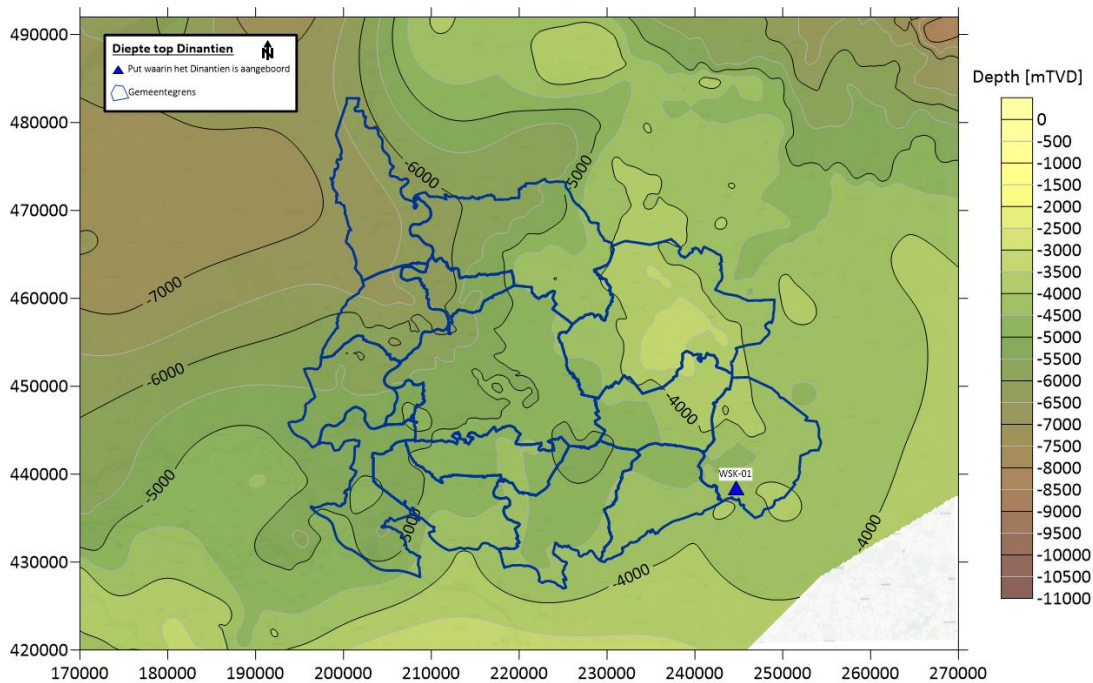


Figuur 6.7 | Mogelijke gebieden met UDG potentie (aangegeven met gele ovalen) (SCAN, 2019). Op de achtergrond de dieptekaart van het Dinantien zoals uit dinoloket (TNO, 2014). Deze kaart is niet up-to-date met de laatste afgeronde studies van het SCAN programma.

Winning van geothermie vanuit breuksystemen brengt ook seismische risico's met zich mee. De carbonaten in Oost-Gelderland vallen binnen een categorie met een laag tot medium hoog risico op seismiteit. Dit betekent dat een uitgebreidere lokale studie naar het risico op geïnduceerde seismiteit voorafgaand aan de winning van warmte gewenst is.

6.3.5 Dieptekaart Dinantien Carbonaten

De nieuwe verdieping in voornamelijk de seismische data heeft geleid tot een nieuwe diepte kaart (Figuur 6.8). Deze resulteert in het algemeen in een diepere ligging van het Dinantien in dit gebied t.o.v. van eerdere studies.



Figuur 6.8 | Diepte kaart van de top van het Dinantien in het onderzoeksgebied.

7 Conclusies

7.1 POTENTIE VOOR HOGE TEMPERATUUR OPSLAG

In het zoekgebied Oost-Gelderland zijn een aantal regio's gevonden die, op basis van de eigenschappen van de ondergrond, aanzienlijke potentie bieden voor ondergrondse warmteopslag. Warmteopslag in de Formatie van Maassluis formatie heeft potentie nabij de IJssel, met de hoogste potentie in het gebied tussen de Veluwe en de IJssel, van Dieren tot aan Olst. Op deze locaties is het grondwater in de Formatie van Maassluis naar verwachting zoet.

De zandlagen van de Formatie van Oosterhout zijn wijder verbreid. Daardoor biedt deze formatie potentie voor warmteopslag in een relatief groot gebied: ten noorden van de Waal en Rijn en ten westen van de lijn Lochem - Ulft. De kleiige eenheid aan de top van de Oosterhout formatie kan dienen als afsluitende laag boven een opslagpakket. De combinatie van opslagpakket en afsluitende kleilaag (Oosterhout eerste kleiige eenheid) is vermoedelijk aanwezig van Arnhem tot aan Zevenaar, in het gebied ten oosten van de IJssel tussen Arnhem en Brummen, tussen Apeldoorn en Brummen en Doetinchem. In al deze gebieden is de potentie voor warmteopslag in de formatie van Oosterhout midden tot hoog.

Afhankelijk van de locatie kan het voorkomen dat het zoet-brakgrensvlak zich in of nabij de Formatie van Oosterhout bevindt. Voor de precieze diepte van dit grensvlak is voor elk HTO-systeem nader locatie-specifiek onderzoek nodig. Op basis van bijlage **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** (Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.) kan een eerste inschatting worden gedaan van de diepte van het grensvlak.

7.2 POTENTIE VOOR (ONDIEPE) GEOTHERMIE

Uit de reservoir inventarisatie blijkt dat veel laagpakketten ongeschikt zijn voor geothermie. Enkele veelgebruikte reservoirs, waaruit succesvol geothermische warmte wordt gewonnen in bestaande Nederlandse geothermie projecten, ontbreken volledig in de regio Oost-Gelderland. Andere reservoirs hebben een geringe dikte en/of lage permeabiliteit. Hierdoor is óf te weinig water aanwezig óf is dit water nauwelijks winbaar voor geothermie.

Het reservoir met de meeste potentie is het zand in het Laagpakket van Brussel. Dit laagpakket is enkel in het noordwestelijke deel van de regio Oost-Gelderland aanwezig in de gemeentes Voorst, Lochem, Zutphen en het noorden van Bronckhorst. In de overige gemeentes is dit laagpakket nooit afgezet of geërodeerd. De diepte van dit reservoir ligt tussen de 400 m in het oosten van de gemeente Lochem en de 900 m in de gemeente Voorst, waarmee mogelijke toekomstige geothermie projecten in dit laagpakket in de categorie "ondiepe geothermie" vallen.

Ondiepe geothermie

Ondiepe geothermie kan mogelijkheden bieden in een stedelijke omgeving. De technologie wordt gebruikt in combinatie met een warmtepomp en kan schaalbaar toegepast worden (enkele honderden woningen), waardoor de projectgrootte relatief beperkt is ten opzichte van diepe- en ultradiepe geothermie. De minimale afzet is erg afhankelijk van de temperatuur en debiet waarmee het water geproduceerd kan worden. Dit resulteert in een ander kostenprofiel (Tabel 2.2) in vergelijking met de twee andere toepasbare technieken (GT, UDG). Deze techniek is nog niet

breed ingezet, in vergelijking met de conventionele “diepe geothermie”. In Zevenbergen is momenteel het enige project gerealiseerd waarbij de warmte wordt gebruikt voor het verwarmen van kassen. Eerdere onderzoeken naar de toepassing van ondiepe geothermie voor de glastuinbouw hebben laten zien dat deze techniek potentie biedt (IF Technology, KEMA, DLV Glas en Energie, 2012), (CE Delft, 2018). De koppeling met de bovengrondse warmtevraag is belangrijk, de belangrijkste markt voor ondiepe geothermie ligt bij afnemers van een lage temperatuur warmte, zoals nieuwbouwwoningen, bedrijfshallen, lokale industrie of kassen.

Geothermie wordt over het algemeen pas toegepast vanaf 500 m i.v.m. subsidieverlening. Hierdoor valt ook het oostelijke deel met dieptes hierboven af voor gebruik middels Geothermie.

Doordat de temperatuur evenredig oploopt met de diepte is het westelijke deel geothermisch het meest interessante gebied. Een verdikking van het reservoir lijkt rond de gemeente Brummen te liggen. Alle factoren combinerend is de grootste potentie aanwezig aan de noordelijke helft van de westgrens van de regio Oost-Gelderland.

De huidige potentie is gebaseerd op een scenario waar verticaal geboord wordt. Deze zou hoger kunnen worden indien gebruikt wordt gemaakt van een horizontale boring. Dit zou kunnen resulteren in een debiet dat een factor 2 tot 4 hoger ligt wat zorgt voor een hogere potentie. Horizontaal boren is met succes toegepast in de olie- en gasindustrie, maar in de geothermie is hier nog maar beperkte ervaring mee. Enkele moeilijkheden waar het enige project in Nederland tegen aan loopt met horizontaal boren voor geothermie zijn gerelateerd aan kleilagen. Dit zorgt voor een slechte verticale permeabiliteit en voor afketsten van het horizontaal boren.

7.3 POTENTIE VOOR ULTRA DIEPE GEOTHERMIE

De carbonaten uit het Dinantien lijken de beste optie voor Ultra Diepe Geothermie in Nederland. Echter, is nog veel onduidelijk over de geothermische potentie in de diepe (>4 km) Nederlandse ondergrond. De recent afgeronde onderzoeken van het SCAN programma vergroten weliswaar de kennis van de carbonaten uit het Dinantien, maar meer informatie is nodig om het risico van geothermische projecten in dit laagpakket te verkleinen.

Samenvattend uit de recente rapporten:

In de regio Oost-Gelderland ligt één put die het Dinantien heeft aangeboord. Dit is de WSK-01 put bij Winterswijk die tot 5000 mdiep is geboord. Op de 2D seismische data in de buurt van de WSK-01 put wordt een duidelijke horizontale reflectie waargenomen. Deze wordt echter veroorzaakt door een magmatisch gesteente boven de carbonaten uit het Dinantien, waardoor het Dinantien zelf niet tot nauwelijks te zien is in het reservoir.

Ook zijn de carbonaten aangetroffen in de WSK-01 put meer gemixt met o.a. klei dan in andere Dinantien putten in Nederland. De geleidelijke overgang met de laag erboven zorgt ook voor een minder duidelijke reflectie.

Een platform structuur kan aanwezig zijn ten noorden van WSK-01, maar de omvang hiervan is onbekend. Breukzones in het Dinantien kunnen een hogere permeabiliteit en dus een hogere geothermische potentie hebben. Her-processen van bestaande seismische data en acquisitie van nieuwe data kan hier inzicht in bieden. Op basis van huidige inzichten zijn een aantal zones als met verhoogde kans op een hoge geothermische potentie weergegeven.

7.3.1 Vervolg

Om het risico van geothermische projecten in het Dinantien te verkleinen in de regio Oost-Gelderland is in de SCAN rapportage het volgende nog voorgesteld:

- Herprocessing van 2D seismische data
- Vergaren van nieuwe diepe Seismische data bij put WSK-01
- Vergaren nieuwe diepe seismische data over Eerbeek.

Daarnaast geven de afgeronde studies ook nog aanbevelingen voor vervolgstudies om de kennis van de carbonaten uit het Dinantien te vergroten. De regio Oost-Gelderland kan hier van profiteren door onderzoeken die nu zijn uitgevoerd voor West- en Noord-Nederland ook worden uitgebreid naar Oost-Nederland.

Wanneer de seismische acquisitie en de vervolgonderzoeken op de planning staan en worden afgerond is nog niet bekend. In de initiële planning (04-11-2019) wordt in de regio Oost-Gelderland nieuwe seismische data verzameld in Q2/Q3 van 2021. De actuele situatie is te vinden op: <https://scanaardwarmte.nl/>

8 Referenties

- Batzle M., & Wang Z. (1992). Seismic properties of pore fluids. *Geophysics*, Vol. 57, Nr. 11, 1396-1408.
- Bonté, D., van Wees, J.-D., & Verweij, J. M. (2012). Subsurface temperature of the onshore Netherlands: New temperature dataset and modelling. *Netherlands Journal of Geosciences - Geologie En Mijnbouw*, 91(4), 491-515. <https://doi.org/10.1017/S0016774600000354>
- Boswinkel, ir J. A. (1981). *Spatial salinity variations in the Netherlands*. [Map].
- Boxem, T. A. P., Veldkamp, J. G., & Van Wees, J. D. (2016). *Ultra-diepe geothermie: Overzicht, inzicht & to-do ondergrond* (B.5120.04; p. 53). TNO.
- CE Delft, I. T. (2018). *Weg van gas—Kansen voor de nieuwe concepten LageTemperatuurAardwarmte en Mijnwater*.
<https://www.ce.nl/publicaties/download/2574>
- DAGO. (2020, maart 16). *Forse stijging gebruik aardwarmte in de glastuinbouw*. Forse stijging gebruik aardwarmte in de glastuinbouw. <https://www.dago.nu/forse-stijging-gebruik-aardwarmte-in-de-glastuinbouw/>
- Doorn, drs T. H. M. van, Leyzers Vis, drs C. I., & Salomons, drs N. (1985). *Aardwarmtewinning en grootschalige warmteopslag in tertiaire en kwartaire afzettingen* (p. 108). RGD.
- IF Technology. (2019). *Totstandkoming aanbodkaart geothermie Overijssel* (69233/RDx/20191220; p. 14).
- IF Technology. (2019). *Geothermie putten in ondiepe fijnzandige formaties* (65163/RDx/20191218; p. 48).
- IF Technology, KEMA, DLV Glas en Energie. (2012). *Kansen voor Ondiepe Geothermie voor de glastuinbouw*.


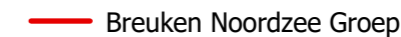
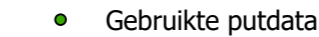




- Kramers, L., Vis, G. J., van den Dulk, M., Duin, E. J. T., Witmans, N., Pluymaekers, M., & Doornenbal, J. C. (2012). *Regionale studie aardwarmtepotentie provincie Limburg* (056.01872; p. 143). TNO.
- Mijnlieff, H. F., van Kempen, B. M. M., van der Molen, J., & Veldkamp, J. G. (2017). *Specificaties Geologisch onderzoek SDE en RNES april 2017.pdf* (Nr. R10498; p. 46). TNO.
<https://www.rvo.nl/sites/default/files/2017/12/Specificaties%20Geologisch%20onderzoek%20SDE%20en%20RNES%20april%202017.pdf>
- Ondergrondmodellen | DINOloket.* (z.d.). Geraadpleegd 18 februari 2019, van
<https://www.dinoloket.nl/ondergrondmodellen>
- Palermo, D., Aigner, T., Geluk, M., Poepelreiter, M., & Pipping, K. (2008). Reservoir potential of a lacustrine mixed carbonate / siliciclastic gas reservoir: The Lower Triassic Rogenstein in the Netherlands. *Journal of Petroleum Geology*, 31(1), 61-96.
<https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.2008.00407.x>
- Rijks Geologische Dienst. (1984). *Geologische en hydrogeologische inventarisatie van tertiaire en onder-kwartaire afzettingen in Noord-Nederland t.b.v. Ondergrondse opslag en winning van warm water* (p. 158).
- SCAN. (2019). *Geological evaluation for the seismic acquisition programme for SCAN areas A (Noord-Gelderland and Zuidoost Flevoland) and B (Achterhoek and Zuid-Twente)*.
- Staatstoezicht op de Mijnen. (2017). *Staat van de Sector Geothermie* (p. 25).
- TNO. (2014). *Diepte kaart van de basis Limburg Groep (DC), DGM-diep V4* accessed via www.nlog.nl. www.nlog.nl.
- TNO-NITG. (1998). Toelichting bij kaartblad X Almelo-Winterswijk. In *Geologische atlas van de diepe ondergrond van Nederland*.
- Yi, X. (2003). *Numerical and analytical modeling of sanding onset prediction*.

Bijlage: Kaarten

Oost-Gelderland

Formatie van Maassluis: Potentie voor Hoge Temperatuur Opslag

Legenda:

-  Oost-Gelderland
 -  Breuken Noordzee Groep
 -  Gebruikte putdata
 -  Klei aanwezig boven opslagpakket (Laagpakket van Twello k1)
- Potentie HTO formatie van Maassluis [m³/h]
-  Hoog
 -  Midden
 -  Laag

Toelichting:

Bij Hoge Temperatuur Opslag (HTO) wordt warmte in de ondergrond opgeslagen, om deze op een later moment weer te benutten. Met deze techniek kunnen warmteoverschotten uit de zomer worden bewaard en vervolgens worden gebruikt in de winter. Technisch is HTO vergelijkbaar met Warmte Koude Opslag (WKO), alleen worden hogere opslagtemperaturen gehanteerd. Voor HTO kan in Oost-Gelderland gebruik worden gemaakt van de formatie van Maassluis. Op deze kaart is de potentie voor HTO weergegeven als het haalbare debiet dat kan worden toegepast. Dit debiet is berekend aan de hand van de onttrekkingsnorm van grondwater bij 30 °C en de eigenschappen van de formatie. Zie rapportage voor nadere toelichting.

Disclaimer:

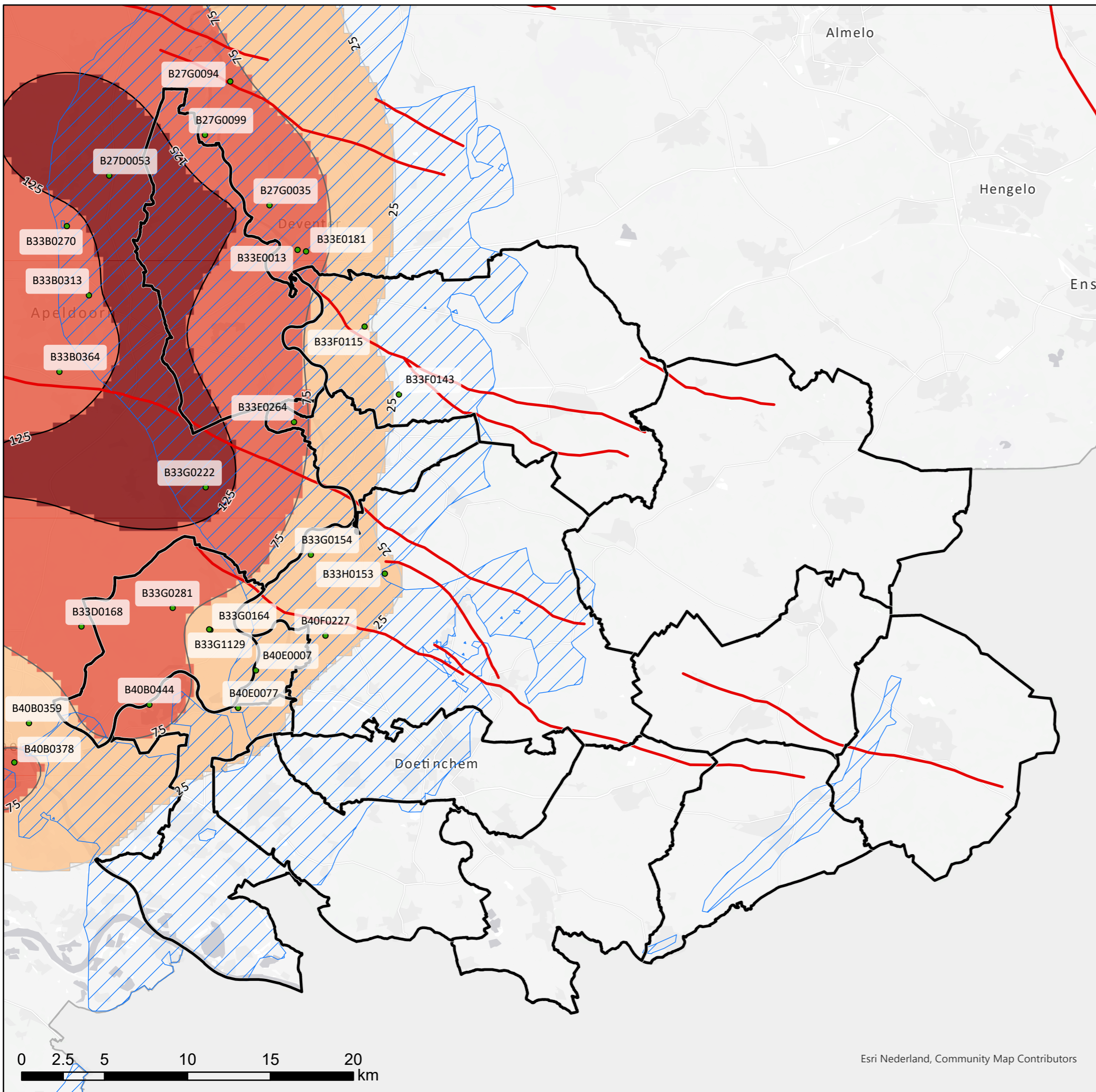
De kaart is gebaseerd op beschikbare regionale informatie ten tijde van het opstellen van de kaarten en is indicatief. Voor het bepalen van de haalbaarheid en ontwerp van een systeem is aanvullend onderzoek nodig.

In opdracht van:

 provincie
Gelderland

Uitgevoerd door:








Project: Geologische bureaustudie Eerbeek-Loenen en Oost Gelderland
Referentie: 69372/JO/26032020
Auteur: JO
Datum: 08/04/2020
Status: versie 1.0



Oost-Gelderland

Formatie van Oosterhout: Potentie voor Hoge Temperatuur Opslag

Legenda:

-  Oost-Gelderland
 -  Breuken Noordzee Groep
 -  Gebruikte putdata
 -  Klei aanwezig boven opslagpakket (Oosterhout k1)
- Potentie HTO formatie van Oosterhout [m³/h]
-  Hoog
 -  Midden
 -  Laag

Toelichting:

Bij Hoge Temperatuur Opslag (HTO) wordt warmte in de ondergrond opgeslagen, om deze op een later moment weer te benutten. Met deze techniek kunnen warmteoverschotten uit de zomer worden bewaard en vervolgens worden gebruikt in de winter. Technisch is HTO vergelijkbaar met Warmte Koude Opslag (WKO), alleen worden hogere opslagtemperaturen gehanteerd. Voor HTO kan in Oost-Gelderland gebruik worden gemaakt van de formatie van Oosterhout. Op deze kaart is de potentie voor HTO weergegeven als het haalbare debiet dat kan worden toegepast. Dit debiet is berekend aan de hand van de onttrekkingsnorm van grondwater bij 30 °C en de eigenschappen van de formatie. Zie rapportage voor nadere toelichting.

Disclaimer:

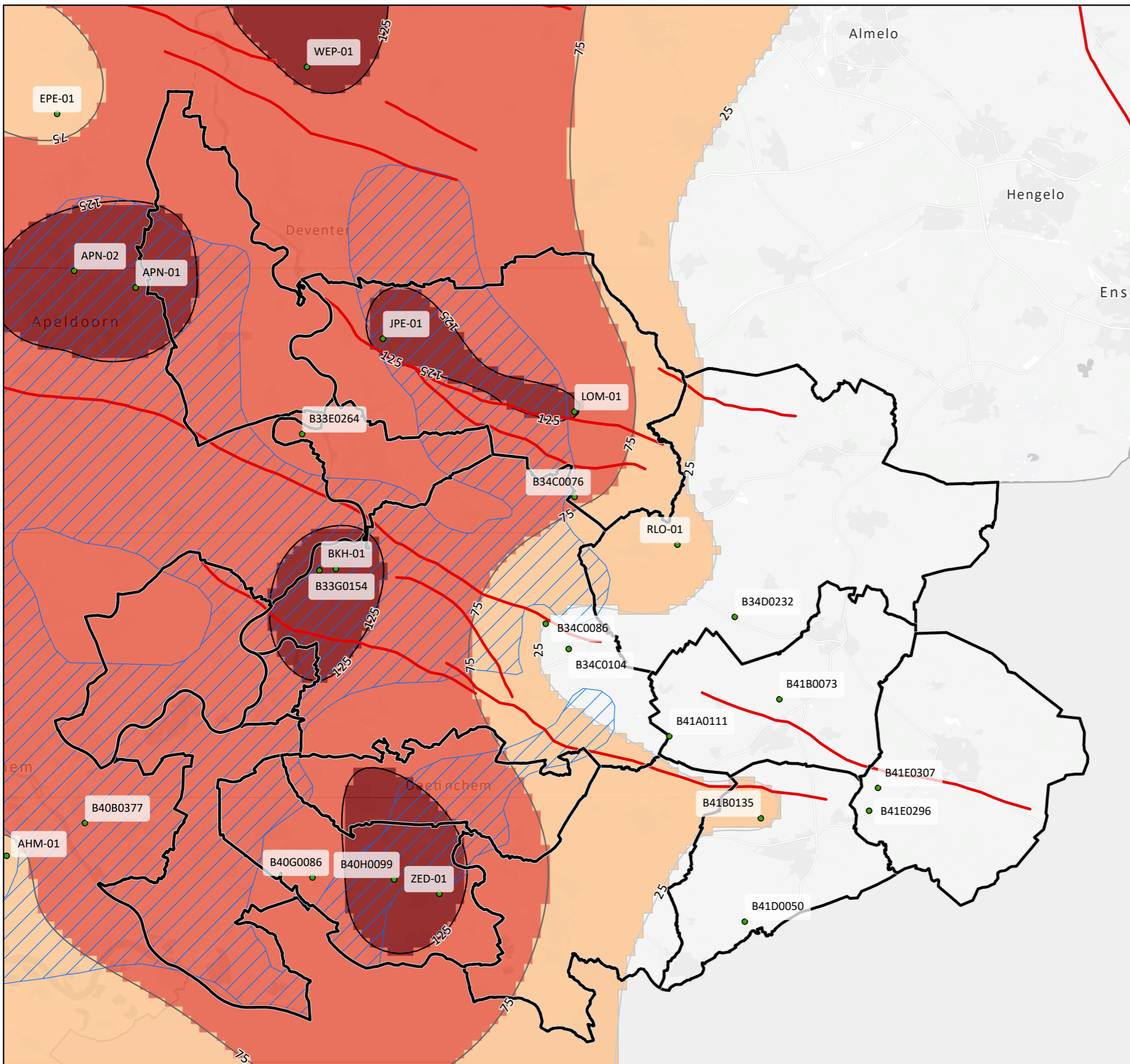
De kaart is gebaseerd op beschikbare regionale informatie ten tijde van het opstellen van de kaarten en is indicatief. Voor het bepalen van de haalbaarheid en ontwerp van een systeem is aanvullend onderzoek nodig.

In opdracht van:

 provincie
Gelderland

Uitgevoerd door:

Project: Geologische bureaustudie Eerbeek-Loenen en Oost Gelderland
 Referentie: 69372/JO/26032020
 Auteur: JO
 Datum: 08/04/2020
 Status: versie 1.0



Oost-Gelderland

Brussels Zand: Diepte Top

Legenda:

-  Oost-Gelderland
-  Breuken Noordzee Groep
- Diepte Top Brussels Zand [mTVD]
 -  1371
 -  0

Toelichting:

Bij ondiepe geothermie wordt warmte uit aardlagen tot ongeveer 1500 m gebruikt om huizen, kantoren of kassen te verwarmen. Het afgekoelde water wordt vervolgens weer terug in de ondergrond gebracht. Voor geothermie kan in Oost-Gelderland gebruik worden gemaakt van het Zand van Brussel. Op deze kaart is de diepte van de top van dit reservoir (de waterhoudende laag) weergegeven. De diepte van de top van het reservoir is gebaseerd op de geïnterpreteerde nabijgelegen olie- en gasputten, die op basis van het ThermoGIS v2.1 model geïnterpoleerd zijn tot een dieptekaart. In het algemeen geldt: hoe dieper het reservoir, hoe warmer en dus hoe hoger de potentie.

Disclaimer:

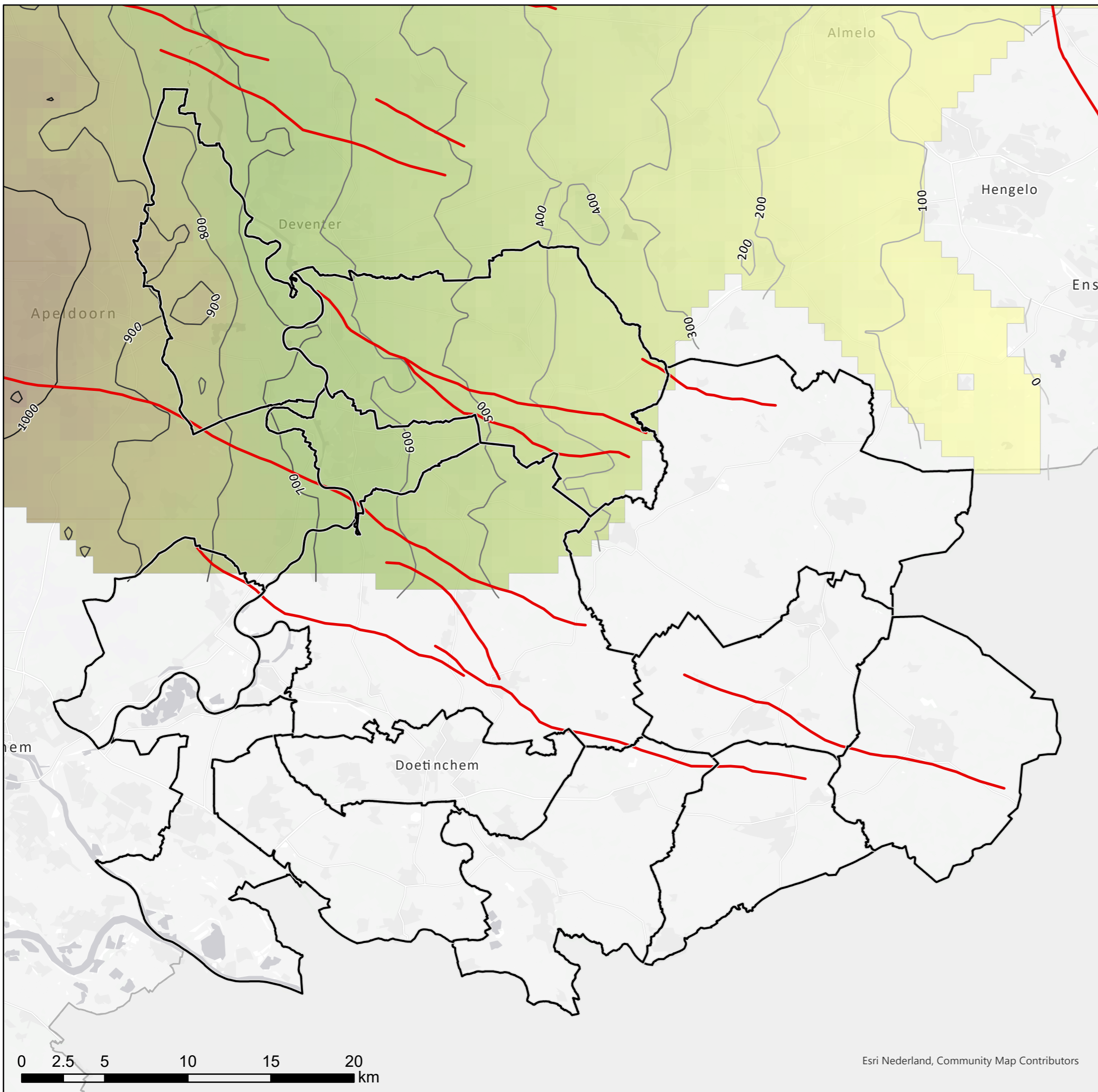
De kaart is gebaseerd op beschikbare regionale informatie ten tijde van het opstellen van de kaarten en is indicatief. Voor het bepalen van de haalbaarheid en ontwerp van een systeem is aanvullend onderzoek nodig.

In opdracht van:

 provincie
Gelderland

Uitgevoerd door:

Project: Geologische bureaustudie Eerbeek-Loenen en Oost Gelderland
Referentie: 69372/JO/26032020
Auteur: JO
Datum: 08/04/2020
Status: versie 1.0



Oost-Gelderland

Brussels Zand: Temperatuur

Legenda:

-  Oost-Gelderland
-  Breuken Noordzee Groep
- Temperatuur Brussels Zand [°C]
 -  54
 - 9

Toelichting:

Bij ondiepe geothermie wordt warmte uit aardlagen tot ongeveer 1500 m gebruikt om huizen, kantoren of kassen te verwarmen. Het afgekoelde water wordt vervolgens weer terug in de ondergrond gebracht. Voor geothermie kan in Oost-Gelderland gebruik worden gemaakt van het Zand van Brussel. Op deze kaart is de verwachte temperatuur van het water in dit reservoir (de waterhoudende laag) weergegeven. De temperatuur is uitgerekend op basis van de dieptekaart en een geothermische gradient van $0,032 \text{ }^\circ\text{C}/\text{m}$, en een gemiddelde oppervlaktetemperatuur van 10°C . In het algemeen geldt: hoe hoger de temperatuur, hoe hoger de potentie.

Disclaimer:

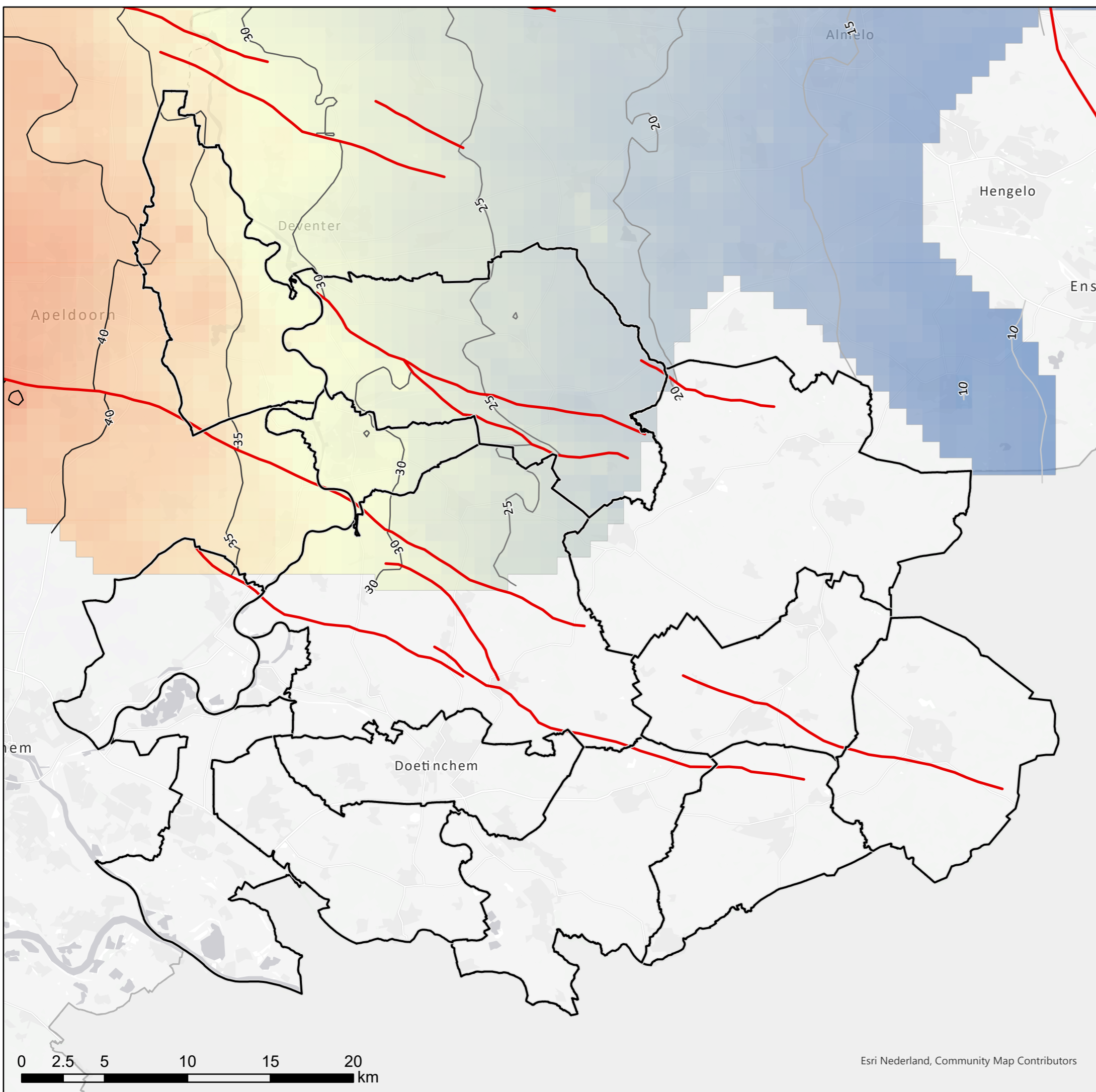
De kaart is gebaseerd op beschikbare regionale informatie ten tijde van het opstellen van de kaarten en is indicatief. Voor het bepalen van de haalbaarheid en ontwerp van een systeem is aanvullend onderzoek nodig.

In opdracht van:

 provincie
Gelderland

Uitgevoerd door:

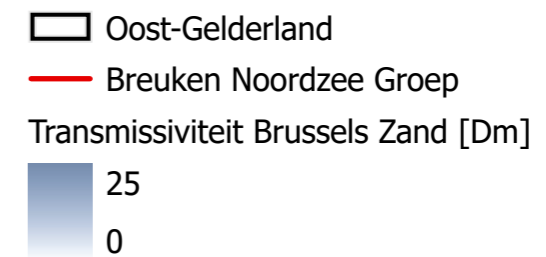
Project: Geologische bureaustudie Eerbeek-Loenen en Oost Gelderland
Referentie: 69372/JO/26032020
Auteur: JO
Datum: 08/04/2020
Status: versie 1.0



Oost-Gelderland

Brussels Zand: Transmissiviteit

Legenda:



Toelichting:

Bij ondiepe geothermie wordt warmte uit aardlagen tot ongeveer 1500 m gebruikt om huizen, kantoren of kassen te verwarmen. Het afgekoelde water wordt vervolgens weer terug in de ondergrond gebracht. Voor geothermie kan in Oost-Gelderland gebruik worden gemaakt van het Zand van Brussel. Op deze kaart is de verwachte transmissiviteit weergegeven: dit is een maat voor de beschikbaarheid van reservoirwater, en wordt verkregen door de permeabiliteit (doorlatendheid) te vermenigvuldigen met de dikte van het reservoir. Over het algemeen geldt: hoe hoger de transmissiviteit, hoe hoger de potentie.

Disclaimer:

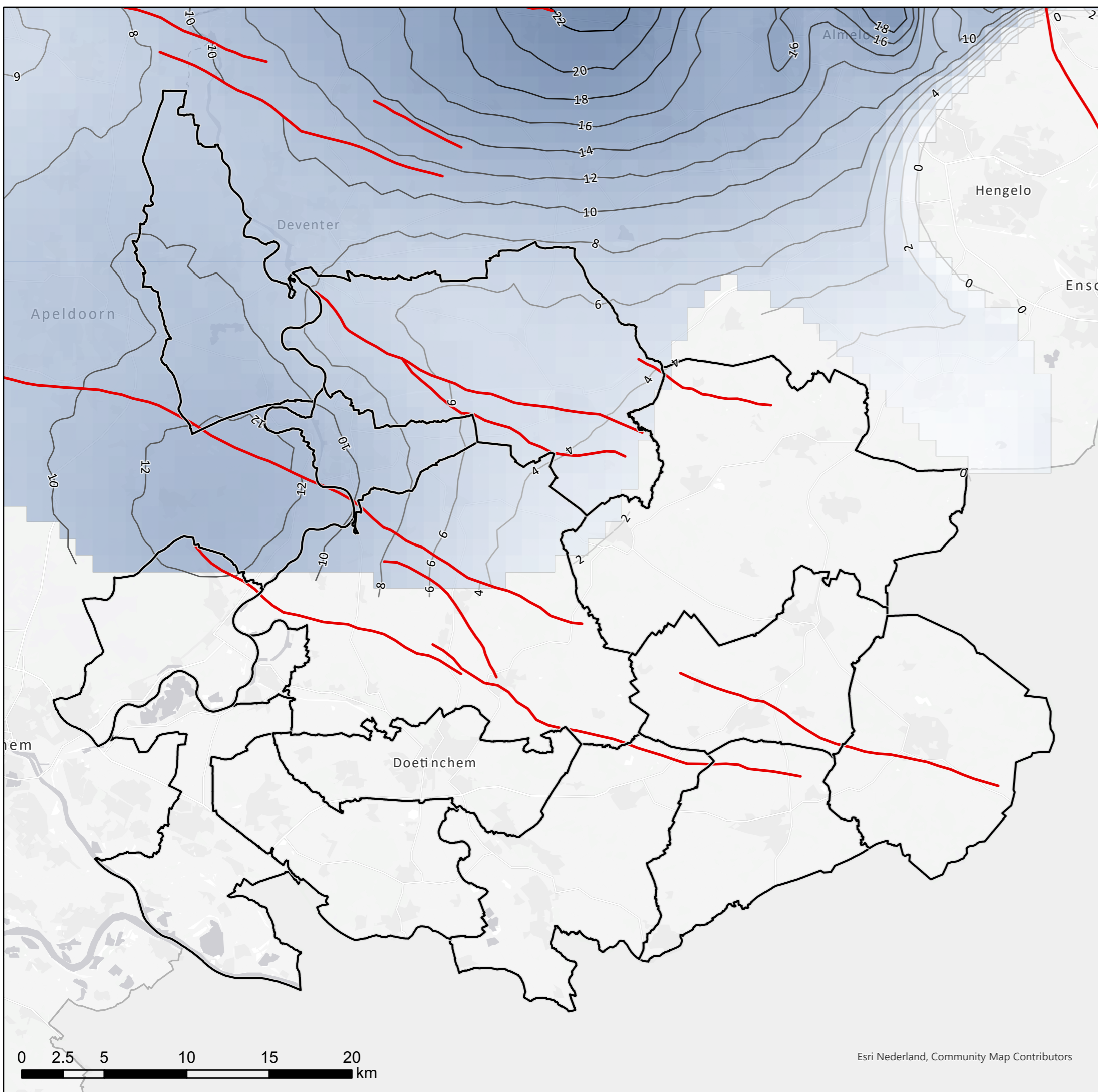
De kaart is gebaseerd op beschikbare regionale informatie ten tijde van het opstellen van de kaarten en is indicatief. Voor het bepalen van de haalbaarheid en ontwerp van een systeem is aanvullend onderzoek nodig.

In opdracht van:

≡ provincie
Gelderland

Uitgevoerd door:


Project: Geologische bureaustudie Eerbeek-Loenen en Oost Gelderland
Referentie: 69372/JO/26032020
Auteur: JO
Datum: 08/04/2020
Status: versie 1.0



Oost-Gelderland

Brussels Zand: Geothermische potentie

Legenda:

-  Oost-Gelderland
-  Breuken Noordzee Groep
- Potentie Brussels Zand [MW]
 -  6.6
 -  0

Toelichting:

Bij ondiepe geothermie wordt warmte uit aardlagen tot ongeveer 1500 m gebruikt om huizen, kantoren of kassen te verwarmen. Het afgekoelde water wordt vervolgens weer terug in de ondergrond gebracht. Voor geothermie kan in Oost-Gelderland gebruik worden gemaakt van het Zand van Brussel. Op deze kaart is de verwachte geothermische potentie in MWt weergegeven. Deze is gegrid op basis van de verwachte hoeveelheid water die opgepompt kan worden, en de temperatuur van dit water. Hierbij is een retourtemperatuur van 10°C aangehouden.

Disclaimer:

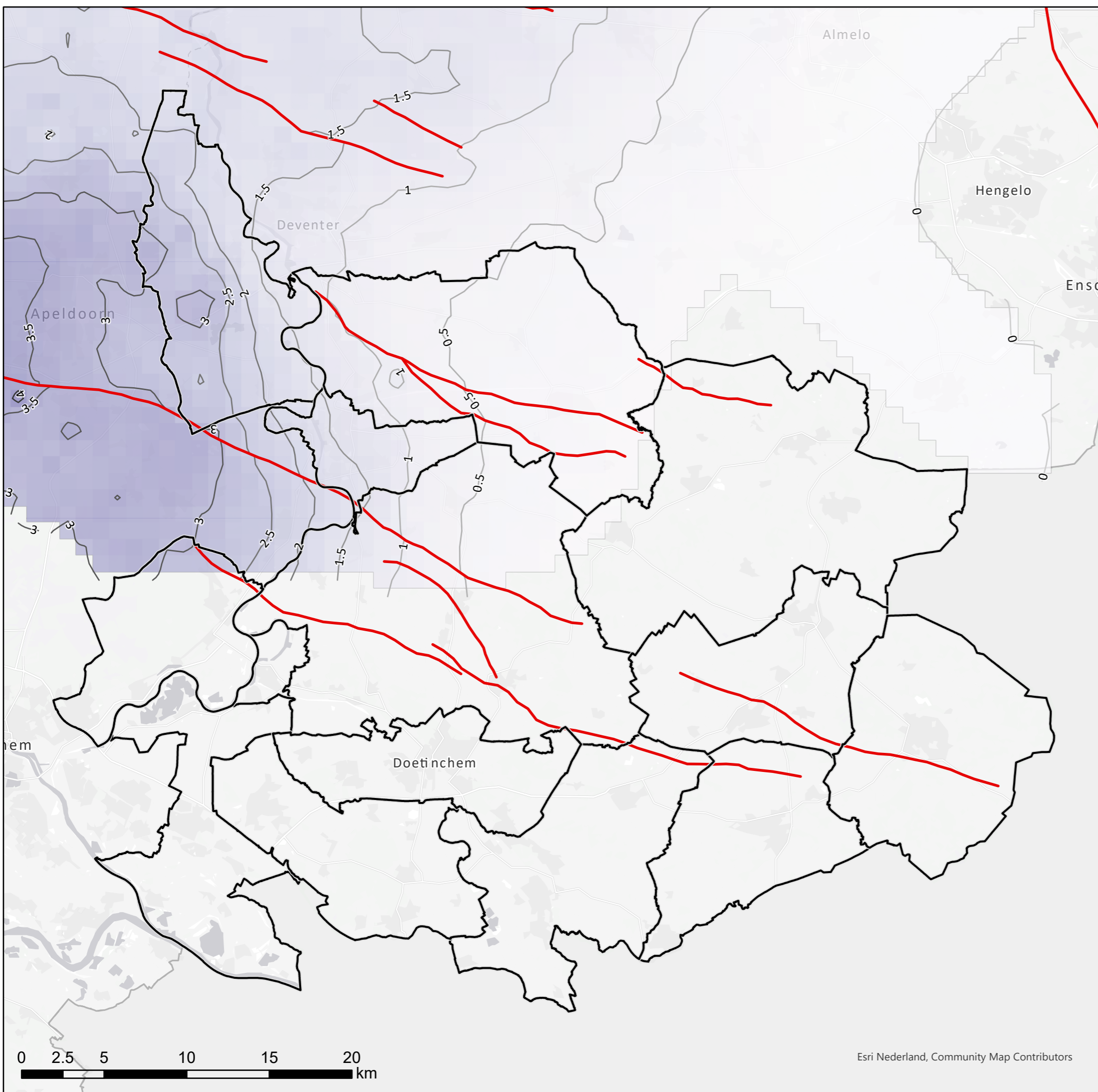
De kaart is gebaseerd op beschikbare regionale informatie ten tijde van het opstellen van de kaarten en is indicatief. Voor het bepalen van de haalbaarheid en ontwerp van een systeem is aanvullend onderzoek nodig.

In opdracht van:

 provincie
Gelderland

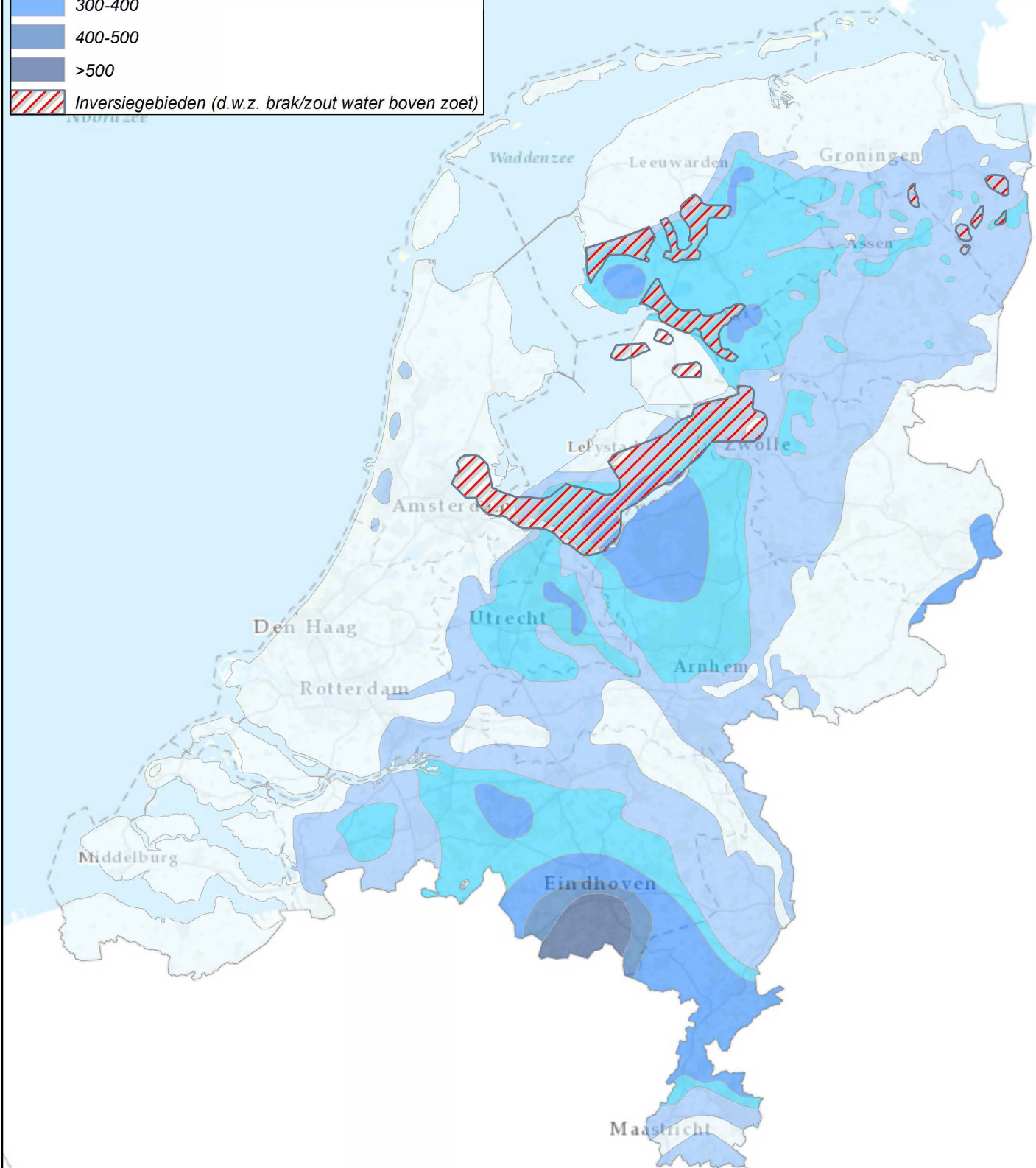
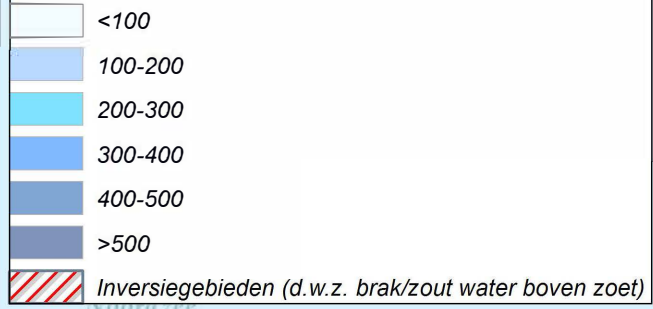
Uitgevoerd door:

Project: Geologische bureaustudie Eerbeek-Loenen en Oost Gelderland
Referentie: 69372/JO/26032020
Auteur: JO
Datum: 08/04/2020
Status: versie 1.0

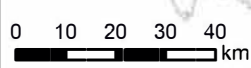


Zoet/brak grensvlak

Diepte (m t.o.v. NAP)



BELGIË



Deze kaart is gemaakt in 1981

IF Technology **Creating energy**



Velperweg 37
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**