Potentiekaarten Geothermie Noord-Brabant



IF Technology **Creating energy**

Datum	30 april 2026
Referentie	PR11233/JK/20260430
Betreft	Potentiekaarten Geothermie Noord-Brabant
Behandeld door	Quinten Boersma, Roel Dirkx, Rinde Kooij
Gecontroleerd door	Jasper Kwee, Nick Buik, Nick Shaw
Versienummer	3.0

OPDRACHTGEVER

Provincie Noord-Brabant
T.a.v. Dhr E.J. Heskes
Brabantlaan 1
Postbus 90151
T 073 681 28 12
eheskes@brabant.nl

INHOUDSOPGAVE

1 Inleiding 5
1.1 Aanleiding 5
1.2 De techniek geothermie 5
1.3 Behandeling van de klantvraag 7
2 Wat is de geothermiepotentie in Noord-Brabant? 8
2.1 Belangrijkste Conclusies 8
2.2 Potentie voor Zeer Lage Temperatuur Geothermie 11
2.3 Potentie voor Lage Temperatuur Geothermie 12
2.4 Potentie voor Midden Temperatuur geothermie 13
2.5 Omgevings- en veiligheidsbelangen 14
3 Geothermiepotentie en onzekerheid per reservoir 18
3.1 Kwalitatieve potentie - Formatie van Breda 18
3.2 Kwalitatieve potentie - Zand van Brussel Laagpakket 20
3.3 Kwalitatieve Potentie - Formatie van Vaals en Oploo 21
3.4 Kwalitatieve potentie - Formatie van Nieuwerkerk 23
3.5 Kwalitatieve potentie - Röt Randzandsteen Laagpakket 25
3.6 Kwalitatieve potentie - Hoofd-Bontzandsteen Subgroep 26
3.7 Kwalitatieve potentie - Nederweert Zandsteen Formatie 28
4 Hoe zijn de potentiekaarten tot stand gekomen? 31
4.1 Diepte 31
4.2 Temperatuur 32
4.3 Dikte 32
4.4 Reservoirkwaliteit 32
4.5 Geothermische potentie 34
4.6 Bepalen en in kaart brengen van de onzekerheid 35
5 Bijlages 36
Bijlage 1 Ondergrond 37
Bijlage 2 Reservoirselectie 41
Bijlage 3 Basiskaarten per reservoir 51
Bijlage 4 Formatie van Breda 62
Bijlage 5 Zand van Brussel Laagpakket 76
Bijlage 6 Formatie van Vaals en Oploo 89
Bijlage 7 Formatie van Nieuwerkerk 101
Bijlage 8 Röt Randzandsteen Laagpakket 116
Bijlage 9 Hoofd-Bontzandsteen Subgroep 131
Bijlage 10 Nederweert Zandsteen Formatie 148
6 Referenties 163

1 Inleiding

1.1 AANLEIDING

De provincie Noord-Brabant gaat de energietransitie in de komende jaren verder vormgeven. De warmtetransitie is hier een belangrijk onderdeel van en een complexe opgave. Om de gebouwde omgeving aardgasvrij te krijgen is expertise, samenwerking én een mix van duurzame oplossingen nodig. Geothermie is zo'n kansrijke technologie om de warmtevraag in Nederland gasvrij en CO_2 neutraal te maken.

Om de ontwikkeling van geothermieprojecten in Noord-Brabant te bevorderen is begin 2024 het Actieplan Geothermie in gang gezet. Als onderdeel van dit actieplan richt één van de werkgroepen (werkgroep 4) zich op het opstellen van kansenkaarten voor geothermie. Eén van de doelen is om met deze kansenkaarten een verbinding te leggen tussen het ondergrondse aanbod van warmte en de bovengrondse warmtevraag. Belangrijke input om deze kansenkaarten te kunnen creëren zijn ondergrondse geothermische potentiekaarten. De kansen- en potentiekaarten geven ook inzicht in vervolgstappen voor het ontwikkelen van geothermieprojecten en het reduceren van lokale geologische onzekerheid.

De hoofdvraag waar in voorliggende rapportage invulling aan wordt gegeven is dan ook: het opstellen van ondergrondse potentiekaarten geothermie in de provincie Noord-Brabant door op een duidelijke wijze het technische geothermisch potentieel kwalitatief in kaart brengen.

Naast dit rapport worden ook vier afzonderlijke RES-rapporten opgesteld met als doel:

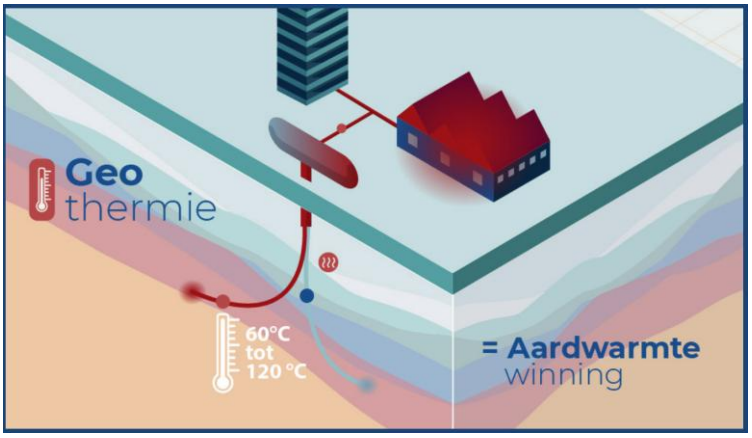
- Een verbinding te leggen tussen het ondergrondse aanbod van warmte, gebaseerd op de meest actuele beschikbare gegevens, en de bovengrondse warmtevraag.
- Inzicht geven in de benodigde vervolgstappen om de lokale geologische onzekerheid verder te reduceren, zodat geothermieprojecten kunnen worden ontwikkeld.

1.2 DE TECHNIEK GEOTHERMIE

Geothermie is een techniek waarbij warmte rechtstreeks uit de ondergrond wordt gewonnen door gebruik te maken van het van nature aanwezige warme water in diepe geologische lagen (Figuur 1.1).

Om de warmte uit de grond te halen worden er twee diepe putten geboord naar een geschikte, waterhoudende laag ook wel aquifer of reservoir genoemd. De eerste put (productieput) pompt het warme water omhoog. Een warmtewisselaar haalt de warmte eruit zodat deze, eventueel in combinatie met een warmtepomp, kan worden gebruikt. Het afgekoelde water gaat via de andere put (injectieput) weer terug in de grond, in dezelfde diepe aardlaag. Bovengronds staan deze putten enkele meters uit elkaar, maar ondergronds bevindt de injectieput zich ongeveer 1,5 kilometer van de productieput. Deze afstand wordt aangehouden om te voorkomen dat het afgekoelde water de productieput te snel bereikt, waardoor de temperatuur van het opgepompte water langzaam zou afnemen. De gewonnen warmte stroomt via een warmtenetwerk van buizen naar woningen, gebouwen, industrie en kassen. Een productieput en een injectieput samen worden een doublet genoemd.

In Nederland is aardwarmte een sterk groeiende duurzame sector. In de afgelopen vijftien jaar is deze techniek uitgegroeid tot een warmtebron met 32 operationele aardwarmte-productieputten eind 2025. Samen leveren deze installaties inmiddels 7,7 PJ aan gewonnen energie[1].



Figuur 1.1 | Illustratie van geothermie. Kijk op onze website voor meer informatie.

Diepe geothermie vs. ondiepe geothermie vs. bodemenergie?
In deze studie wordt er gesproken over diepe geothermie en ondiepe geothermie.

In dit rapport spreken we van diepe geothermie, wanneer de warmte gewonnen wordt van dieptes tussen de 1500 m en 4000 m. Hierdoor is het water uit de ondergrond vaak warm genoeg voor directe warmtelevering aan een Lage Temperatuur of Midden Temperatuur warmtenet (LT en MT). Vaak zijn dit soort systemen heel efficiënt omdat er relatief weinig elektriciteit nodig is voor het verpompen van het water.

Ondiepe geothermiesystemen zitten ondieper, tussen de 500 en 1500 m (al worden er nog wel eens verschillende definities gebruikt als ondergrens). Vanwege de geringe diepte is het water uit de ondergrond vaak niet warm genoeg voor directe levering aan een warmtenet (LT of MT). Het opgepompte water dient in dit geval als toevoer voor een warmtepomp die het water opwarmt tot de benodigde temperatuur. Ondiepe geothermiesystemen kunnen mogelijk wel direct leveren aan een Zeer Lage Temperatuur warmtenet (ZLT).

Ondieper dan 500 m spreken we van bodemenergie. In de praktijk is de diepte waarop deze systemen worden geplaatst meestal beperkt tot ca. 250 meter. Bodemenergiesystemen gebruiken vaak koel water in de zomer voor koeling en gebruiken het opgewarmde water in de winter voor verwarming (met een warmtepomp). Deze 500 m grens is een juridische grens. Technisch kan warmtewinning (zonder koeling) ook plaatsvinden vanuit lagen ondieper dan 500 m.

[1] https://geothermie.nl/wp-content/uploads/2026/03/Infographic-Geothermie-cijfers-2025.pdf

1.3 BEHANDELING VAN DE KLANTVRAAG

In voorliggende studie brengen we in kaart wat het geothermisch potentieel is in de provincie Noord-Brabant. Het rapport is als volgt ingedeeld:

- In **hoofdstuk 2** beantwoorden we gelijk de vraag: *wat zijn de kansen voor geothermie in de Provincie Noord-Brabant?* En hoe ziet de geothermie potentie eruit voor verschillende temperatuurniveaus. Ook beschrijven we de belangrijkste risico's en belangrijkste omgevingsbelangen.
- In **hoofdstuk 3** gaan we verder in op de geothermische potentiekaarten voor de verschillende geschikte reservoirs en brengen we de bijbehorende onzekerheid in kaart.
- In **hoofdstuk 4** gaan we in op de vraag hoe de geothermische potentie is bepaald.
- In **hoofdstuk 5** presenteren we een set bijlages die extra technisch-inhoudelijke informatie geven over de regionale geologische geschiedenis, de reservoirselectie en de gebruikte data en uitgevoerde analyses voor elk van de geselecteerde reservoirs.

Bij dit rapport horen vier afzonderlijke RES-rapporten, waarin per RES-regio wordt ingezoomd op de geothermische potentie. In deze documenten wordt niet alleen het ondergrondse warmteaanbod in kaart gebracht, maar ook de koppeling gemaakt met de bovengrondse warmtevraag. Daarnaast bieden de RES-rapporten inzicht in de vervolgstappen die nodig zijn om lokale geologische onzekerheden verder te verkleinen, zodat kansrijke locaties gericht kunnen worden doorontwikkeld tot concrete geothermieprojecten.

2 Wat is de geothermiepotentie in Noord-Brabant?

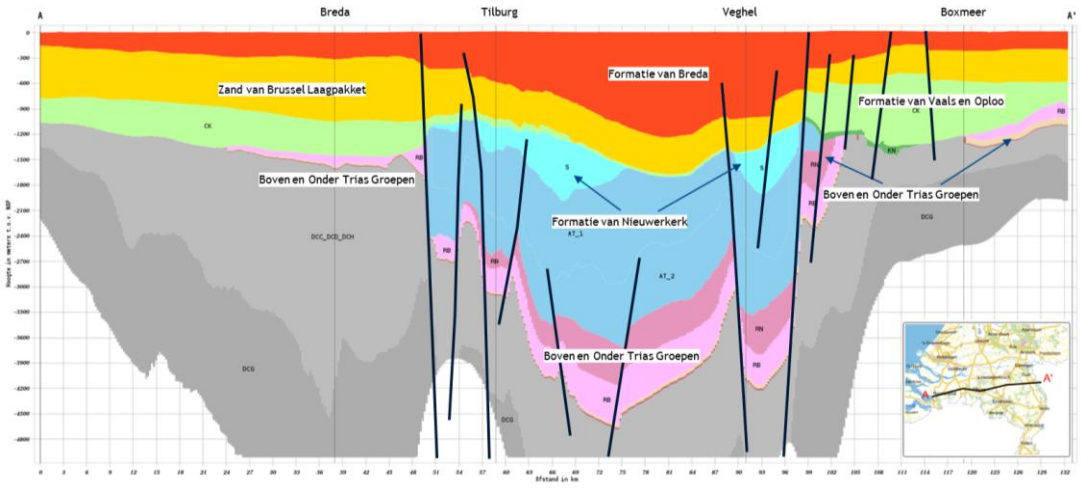
In dit hoofdstuk wordt een samenvatting met de belangrijkste conclusies over de potentie voor geothermie in de provincie Noord-Brabant gegeven. In het voorliggend hoofdstuk zetten we eerst de belangrijkste conclusies uiteen. Vervolgens beschrijven we de kansen voor geothermie voor drie verschillende temperatuurregimes en gaan we in op de omgevingsbelangen en risico's.

2.1 BELANGRIJKSTE CONCLUSIES

We hebben de kansrijkheid voor geothermie in de verschillende lagen in de ondergrond van de provincie Noord-Brabant onderzocht (bijlage 1 & 2). Uit dit onderzoek blijkt dat de grootste kansen voor geothermie liggen er in zeven van de onderzochte gesteentelagen kansen zijn voor geothermie, namelijk:

- Formatie van Breda (Boven-Noordzee Groep)
- Zand van Brussel Laagpakket (Onder-Noordzee Groep)
- Formatie van Vaals en Oploo (Krijtkalk Groep)
- Formatie van Nieuwerkerk (Schieland Groep)
- Röt Randzandsteen Laagpakket (Boven-Germaanse Trias Groep)
- Hoofd-Bontzandsteen Subgroep (Onder-Germaanse Trias Groep)
- Nederweert Zandsteen Formatie (Onder-Germaanse Trias Groep)

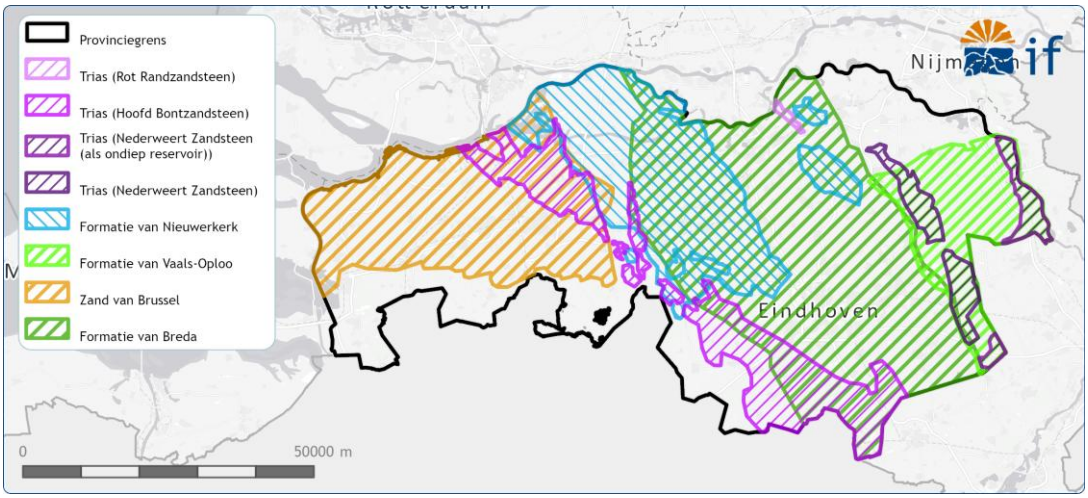
Figuur 2.1 toont een doorsnede van de ondergrond in de provincie Noord-Brabant. Hieruit blijkt dat niet alle geologische lagen overal aanwezig zijn en dat hun dikte en diepte sterk variëren. Deze variaties hebben een directe invloed op de kansrijkheid van de verschillende lagen voor geothermie in uiteenlopende regio's. Voor aanvullende informatie over de geologie en de structurele elementen van de ondergrond in Noord-Brabant wordt verwezen naar Bijlage 1.



Figuur 2.1 | Dwarsdoorsnede door de ondergrond van Noord-Brabant (bron: DGM-Diep, Dinoloket) waarin de verschillende lagen met kansen voor geothermie zijn aangegeven (voor zover onderzocht in deze studie). De Formatie van Breda bevindt zich aan de onderkant van de rode laag. Het Zand van Brussel Laagpakket ligt onderin de oranje/gele laag. De Formatie van

Nieuwerkerk ligt in het lichtblauwe deel. Het Röt Randzandsteen Laagpakket ligt in het donkerpaarse deel, de overige 2 Trias-zanden (Hoofd-Bontzandsteen Subgroep en Nederweert Zandsteen Formatie) liggen in de roze laag.

Waar deze gesteentelagen (reservoirs) geschikt zijn verschilt dus door de provincie heen. In Figuur 2.2 laten we zien welk reservoir waar een potentie heeft van redelijk geschikt of hoger. Dit figuur geeft dus aan waar de kansen liggen voor geothermie. In sommige delen van de provincie Noord-Brabant kunnen meerdere van de onderzochte gesteentelagen kansen bieden voor geothermie, in andere delen is dit er maar één of zelfs geen van de onderzochte lagen.

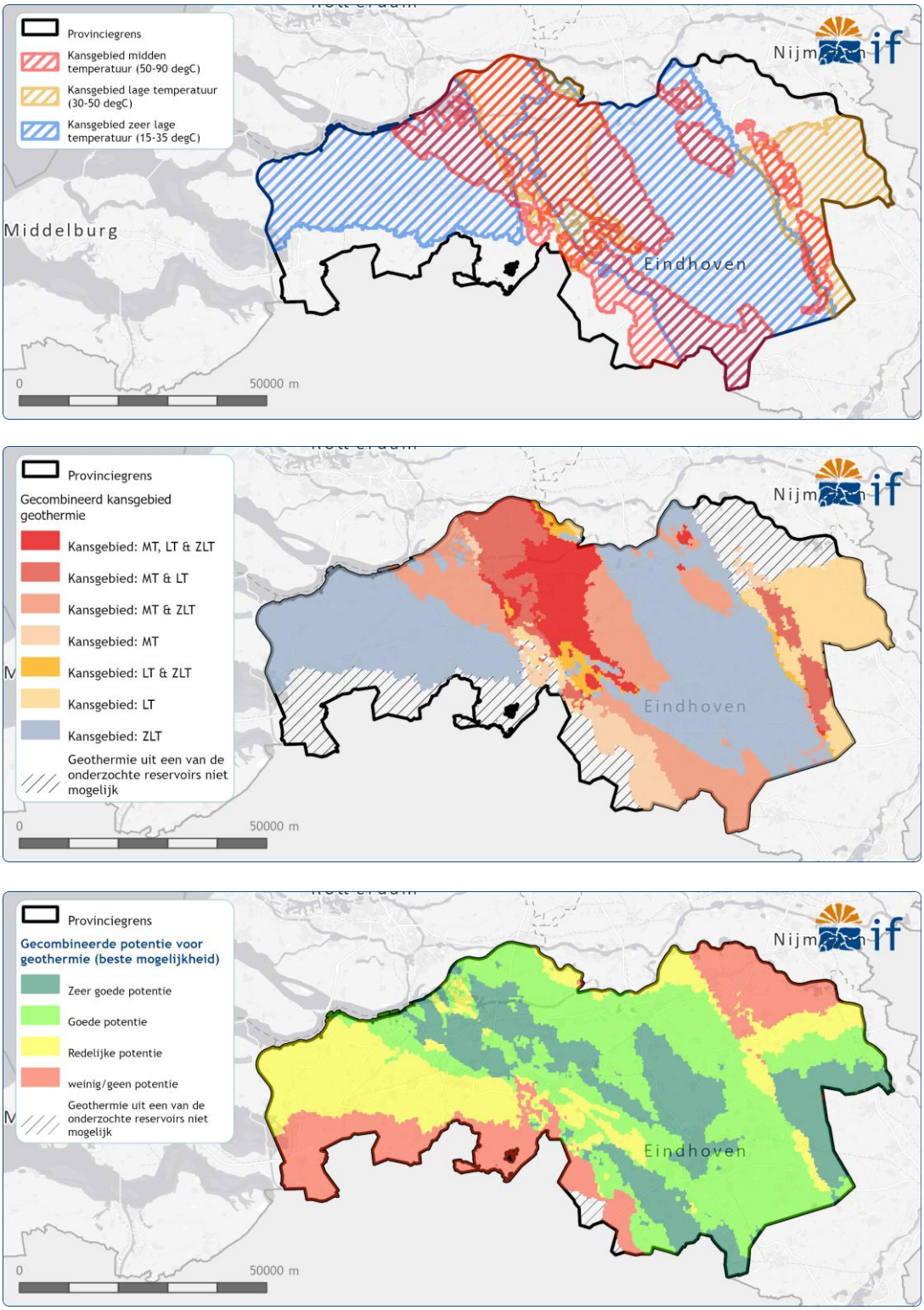


Figuur 2.2 | Kansenkaart voor geothermie in de provincie Noord-Brabant. In verschillende kleuren is aangegeven, welk van de onderzochte reservoirs, waar mogelijk geschikt is (potentie ≥ redelijk geschikt).

Hoewel alle zeven kansrijke reservoirs potentie hebben voor geothermie is dit vaak op een ander temperatuurniveau, waardoor het type geothermie verschillend kan zijn. De kansrijke reservoirs zijn daarom verder onderverdeeld naar verschillende toepassingen, namelijk:

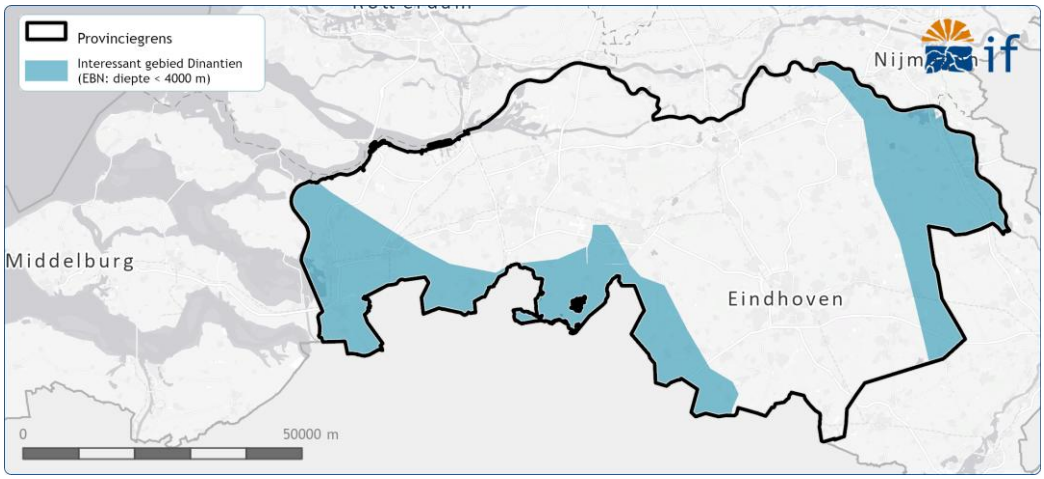
- Zeer Lage Temperatuur (ZLT) geothermie (15 – 35 °C): Combinatie van de Formatie van Breda en het Zand van Brussel Laagpakket
- Lage Temperatuur (LT) geothermie (30 – 50°C): Combinatie van het ondiepe gedeelte van de Formatie van Nieuwerkerk, ondiepe delen van de Nederweert Zandsteen Formatie en de Formatie van Vaals en Oploo
- Midden Temperatuur (MT) geothermie (> 50 °C): Combinatie van de Formatie van Nieuwerkerk, het Röt Randzandsteen Laagpakket, de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep en de Nederweert Zandsteen Formatie

De gecombineerde kansenkaarten onderverdeeld op temperatuurniveau zijn weergegeven Figuur 2.3. Deze kaarten laten zien dat in grote delen van de provincie geothermie enkel mogelijk is op één temperatuurniveau. Gebieden waar geothermie op meerdere temperatuurniveaus mogelijk is, is veelal geconcentreerd in het centrale deel van de provincie. Naast een kansenkaart laat Figuur 2.3 ook de gecombineerde potentie voor geothermie zien. Hierbij wordt de potentie van de best mogelijke toepassing telkens weergegeven. In de volgende secties gaan we dieper in op de specifieke potentie voor geothermie voor verschillende temperatuurniveaus.



Figuur 2.3 | Kanskaarten voor geothermie onderverdeeld per temperatuurniveau (ZLT, LT & MT). Boven) polygoonkaart met de verschillende kansgebieden. Midden) Gecombineerde grid kaart met de verschillende kansgebieden. Onder) Gecombineerde potentiekaart (zeer goed, goed, redelijk of weinig/geen) van de best mogelijke toepassing (MT, LT of ZLT)

Hoe zit het met de Kolenkalk Groep uit het Dinantiën?
Binnen het Dinantiën vormen de kalksteenlagen van de Kolenkalk Groep het belangrijkste reservoir. Dit reservoir is anders dan alle andere reservoirs besproken in dit rapport, omdat de doorlatendheid volledig secundair is en wordt gedragen door breuken, scheuren en karst die in de steen aanwezig zijn. De porositeit van matrix is vaak lager dan 2%. In het UDG-programma is geconcludeerd dat er nog veel onbekend is over waar deze breuken, scheuren en karst aanwezig zijn en in welke mate ze de reservoirkwaliteit verbeteren. Wel is er geconcludeerd dat gebieden waar de Kolenkalk Groep relatief ondiep ligt (diepte < 4000 m) als mogelijke kansgebieden kunnen worden aangewezen waar deze breuken, scheuren en/of karst een hogere kans hebben aanwezig te zijn.



In Californië (Limburg) en Mol (België) zijn projecten gerealiseerd die warmte onttrekken uit de Kolenkalk Groep. Ook voor deze projecten is de veronderstelling dat doorlatendheden volledig worden gedragen door de aanwezigheid van breuken, scheuren en/of karst. Hoewel deze systemen hebben aangetoond dat aardwarmtewinning uit het Dinantien mogelijk is gaan ze ook gepaard met een verhoogd risico op seismiciteit. Zo zijn de projecten in Californië stil gelegd vanwege vermeende breukreactivatie als gevolg van koud water injectie. Voor het systeem in Mol loopt er op dit moment een onderzoek naar geïnduceerde seismiciteit als gevolg van koud water injectie.

Er is daarom nog grote onzekerheid betreffende geothermie uit de Kolenkalk Groep. Zowel technisch, geologisch als juridisch zijn er nog veel uitdagingen. Het is daarom erg lastig om een potentie in te schatten voor de provincie Noord-Brabant. Dit reservoir is daarom niet meegenomen in deze studie. Aanbevolen wordt om de laatste ontwikkelingen vanuit het onderzoek in Mol en de geothermiesystemen in Californië af te wachten.

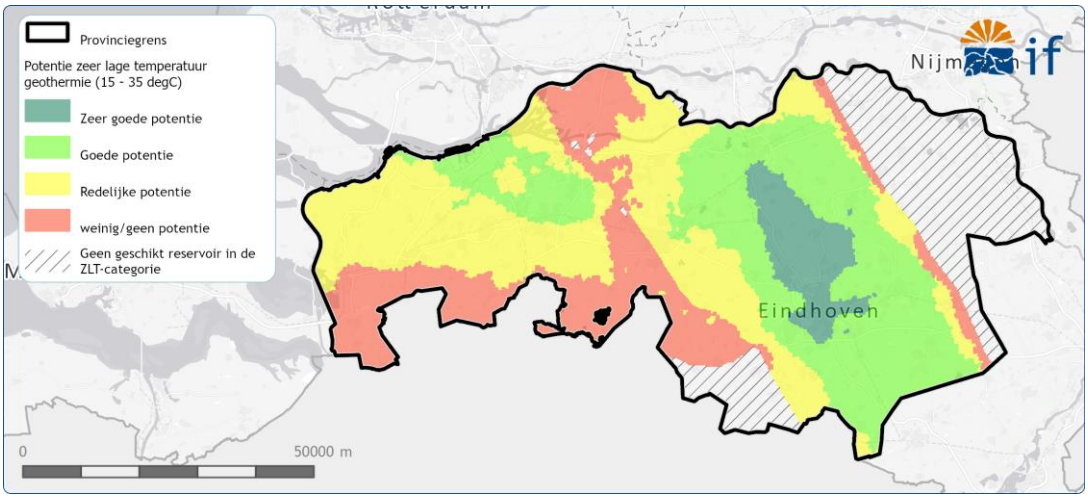
2.2 POTENTIE VOOR ZEER LAGE TEMPERATUUR GEOTHERMIE

Twee van de geschikte reservoirs kunnen tot het domein ZLT geothermie gerekend worden: de Formatie van Breda en het Zand van Brussel Laagpakket. Beide reservoirs liggen ondieper dan 1000 m en als gevolg hiervan zijn de temperaturen relatief laag, zo tussen de 15°C en 35°C. Echter,

doordat de reservoirs ondiep gelegen zijn kunnen boorkosten en systeemkosten lager zijn, waardoor geothermie uit deze lagen nog steeds interessant kan zijn.

Figuur 2.4 geeft de kwalitatieve geothermische potentie weer voor deze twee ondiepe reservoirs. Tussen de twee reservoirs is geen overlap in gebieden met geothermische potentie (zoals te zien is in Figuur 2.2). Hierdoor geeft het westelijke deel de potentie weer voor het Zand van Brussel Laagpakket, en het oostelijke deel (vanaf ongeveer Tilburg) de potentie voor de Formatie van Breda.

Een goede potentie kan worden gevonden in grofweg twee groene stroken; één strook vanaf Breda naar het noordwesten en een brede strook van 's-Hertogenbosch via Eindhoven naar het zuiden. Daaromheen zijn in geel gebieden te zien waar de geothermische potentie redelijk is en wellicht ook mogelijkheden biedt. In het oosten van de provincie en in delen van de Kempen zijn beide lagen te ondiep gelegen (< 500 m) of afwezig. Op de kaart is dit aangegeven als een gearceerde gebied.



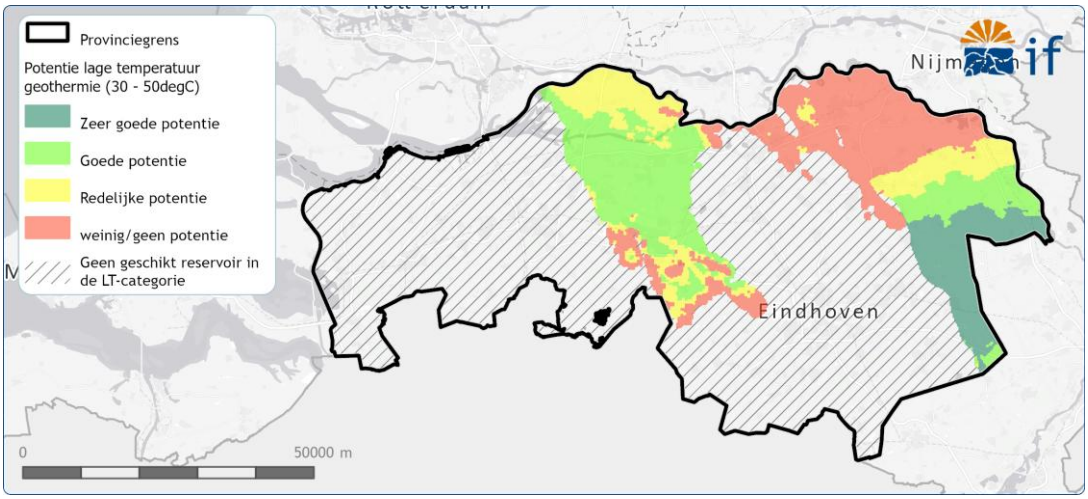
Figuur 2.4 | Kwalitatieve potentiekaart voor Zeer Lage Temperatuur geothermie in de provincie Noord-Brabant. Dit is een gecombineerde potentiekaart van 2 reservoirs; De Formatie van Breda en het Zand van Brussel Laagpakket. In groen gebieden met een (zeer) goede potentie voor geothermie, in geel gebieden met een redelijke potentie, in rood gebieden met weinig tot geen potentie en in wit/gearceerd gebieden zijn de reservoirs afwezig of te ondiep.

2.3 POTENTIE VOOR LAGE TEMPERATUUR GEOTHERMIE

De kaart met de geothermische potentie voor LT geothermie bestaat uit een combinatie van drie reservoirs, namelijk: de Formatie van Vaals en Oploo, de ondieper gelegen delen van de Formatie van Nieuwerkerk en de ondieper gelegen delen van de Nederweert Zandsteen Formatie. De Formatie van Vaals en Oploo en de Nederweert Zandsteen Formatie zijn alleen in het uiterste oosten van de provincie aanwezig. De Formatie van Nieuwerkerk is hoofdzakelijk in het midden van de provincie aanwezig. Temperaturen binnen deze categorie variëren over het algemeen tussen 30 - 50 °C maar kunnen sterk verschillen per reservoir.

Figuur 2.5 geeft de kwalitatieve geothermische potentie weer voor de drie reservoirs binnen de LT-categorie. De redelijke tot goede potentie in het centrale deel van de provincie bestaat volledig uit

ondiep gelegen zanden binnen de Formatie van Nieuwerkerk (1000 – 1400 m diep). In het oosten van de provincie bestaat de berekende potentie uit een combinatie van hoofdzakelijk Formatie van Vaals en Oploo en voor een klein deel uit de Nederweert Zandsteen Formatie (zoals te zien is in Figuur 2.2). De redelijke tot zeer goede potentie concentreert zich tot In het zuidelijk deel van dit gebied. In het noordelijk deel is het zand grotendeels afwezig waardoor de potentie achterblijft (Figuur 2.5). Tot slot is er in een groot deel van de provincie geen geschikt reservoir aanwezig in de LT categorie. Dit betekend niet dat hier geen geothermie mogelijk is maar enkel dat LT-categorie.



Figuur 2.5 | Kwalitatieve potentiekaart voor Lage Temperatuur geothermie in de provincie Noord-Brabant. Dit is een gecombineerde kaart opgebouwd uit drie verschillende reservoirs, namelijk: de Formatie van Vaals en Oploo, de ondieper gelegen delen van de Formatie van Nieuwerkerk en de ondieper gelegen delen van de Nederweert Zandsteen Formatie. In groen gebieden met een (zeer) goede potentie voor geothermie, in geel gebieden met een redelijke potentie, in rood gebieden met weinig tot geen potentie en in wit/gearceerd gebieden is er geen geschikt reservoir in de LT-categorie aanwezig.

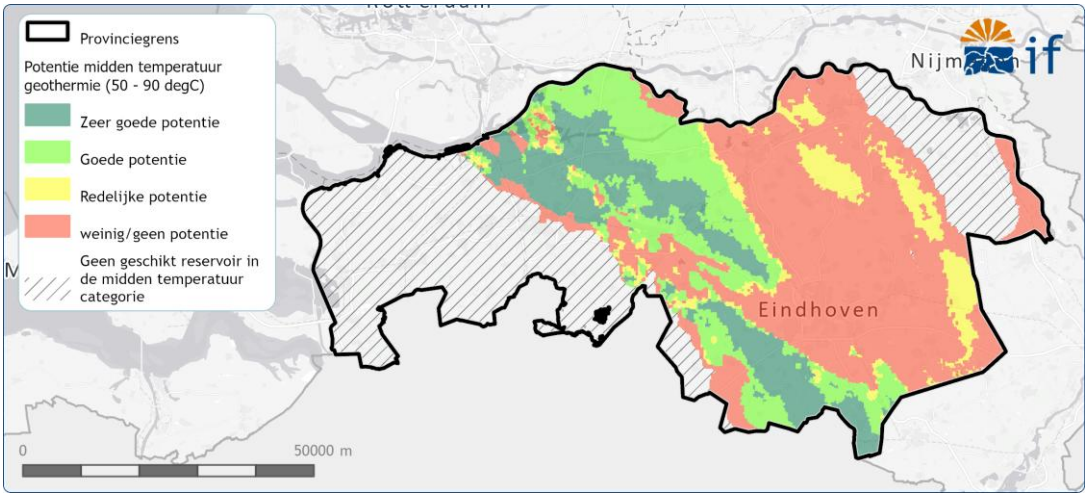
2.4 POTENTIE VOOR MIDDEN TEMPERATUUR GEOTHERMIE

De potentiekaart voor midden temperatuur geothermie bestaat uit de potentie vier verschillende reservoirs, namelijk: de dieper gelegen zanden binnen de Formatie van Nieuwerkerk, het Röt Randzandsteen Laagpakket, de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep en de Nederweert Zandsteen Formatie. Bij overlap is gekozen om het reservoir met de beste potentie te gebruiken, waardoor deze kaart in bepaalde gebieden grote overeenkomsten heeft met de potentiekaarten van de Hoofd Bontzandsteen Subgroep en in andere geibeden met de Formatie van Nieuwerkerk.

Figuur 2.6 laat de geothermische potentiekaart zien voor midden temperatuur geothermie.
In een groot deel van de provincie is er weinig tot geen potentie. De reden hiervoor is de grote diepteligging (>3000m) van de Trias zanden. Grote diepte resulteert weliswaar in een hoge temperatuur (positief voor geothermie), maar zorgt ook voor een slechte reservoirkwaliteit (negatief voor geothermie).

Mogelijkheden voor midden temperatuur geothermie liggen voornamelijk langs de zuidwestrand van het Roerdalslenk en in een NW-ZO strekkend gebied lopende van Oirschot richting Geertruidenberg. Aan de zuidwestrand liggen Trias Zanden ondieper, waardoor de doorlatendheid waarschijnlijk nog goed genoeg is. In dit gebied heeft vooral de Hoofd Bontzandsteen Subgroep een redelijk tot zeer

goede potentie. De potentie van het Röt Randzandsteen Laagpakket en de Nederweert Zandsteen Formatie is hier vaak een stuk lager (zie hoofdstuk 3). Om deze reden bestaat de potentie hier voornamelijk uit de potentie van de Hoofdbontzandsteen Subgroep. In het tweede genoemde gebied zijn de zanden binnen Formatie van Nieuwerkerk aanwezig, welke hier vaak zeer dik zijn en veelal een goede tot zeer goede potentie hebben. Daarnaast zijn er ook langs de oostrand van het Roerdalslenk enkele kleine gebieden met redelijke potentie. De reservoirs met potentie zijn hier hoofdzakelijk de Nederweert Zandsteen Formatie en de Formatie van Nieuwerkerk. De gemiddelde temperatuur in de interessante gebieden varieert veelal tussen de 50°C en 90°C.



Figuur 2.6 | Kwalitatieve potentiekaart voor midden temperatuur geothermie in de provincie Noord-Brabant. De kaart is een combinatie van de potentiekaarten van vier verschillende reservoirs, namelijk: De dieper gelegen zanden binnen de Formatie van Nieuwerkerk, het Röt Randzandsteen Laagpakket, de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep en de Nederweert Zandsteen Formatie. In groen gebieden met een (zeer) goede potentie voor geothermie, in geel gebieden met een redelijke potentie, in rood gebieden met weinig tot geen potentie en in wit/gearceerd zijn er geen geschikte reservoirs binnen de MT-categorie aanwezig.

Detail van de potentiekaarten?
De kaarten suggereren relatief veel detail. In veel gevallen is dit echter een product van de onderliggende (regionale) modellen en gekozen cut-off waardes voor de verschillende potentie categorieën.

2.5 OMGEVINGS- EN VEILIGHEIDSBELANGEN

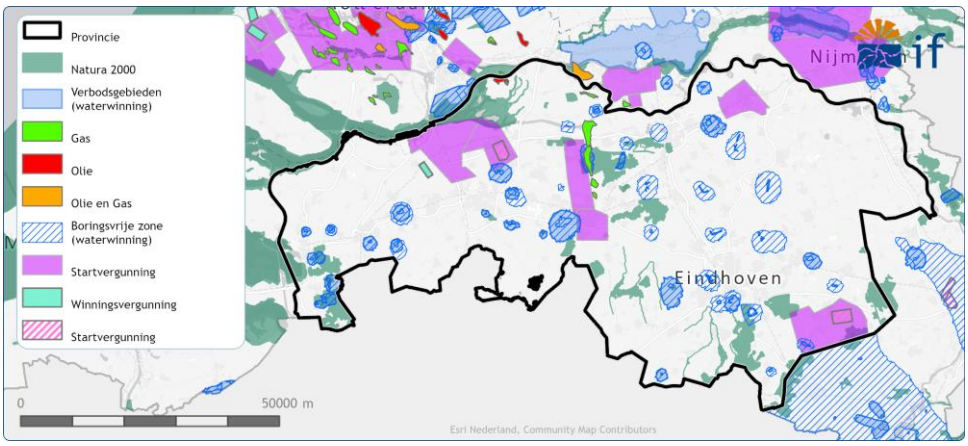
De haalbaarheid van een geothermieproject hangt niet alleen af van de ondergrondse potentie, maar ook van een aantal andere factoren, zoals omgevingsbelangen en veiligheidsrisico's.

Omgevingsbelangen
Voor het toepassen van geothermie moet rekening gehouden worden met specifieke belangen vanuit de omgeving en de ondergrond (Figuur 2.7). Het gaat hierbij om de volgende belangen:

- Drinkwaterwinning. Op een paar locaties binnen het onderzoeksgebied wordt drinkwater gewonnen. Rond deze gebieden zijn grondwaterbeschermingsgebieden gedefinieerd waarbinnen een geothermieboring niet is toegestaan. In sommige gevallen is het wel mogelijk om vanaf een

andere locatie naar een plek onder een drinkwatergebied te boren, zolang het drinkwater niet doorkruist wordt.

- Natuur. Om de biodiversiteit in Europa te beschermen zijn gebieden aangewezen die beschermd moeten worden. In deze Natura 2000 gebieden mag de lokale flora en fauna niet of in slechts geringe mate door een eventueel bodemenergie- of geothermiesysteem beïnvloed worden. De belangrijkste Natura 2000 gebieden liggen ten noorden van de projectregio. Naast natura 2000 gebieden zijn er aandachtgebieden voor natuur in en rond de regio en ook in deze gebieden mag niet zomaar een bodemenergie- of geothermiesysteem worden gerealiseerd. In sommige gevallen is het wel mogelijk om vanaf een andere locatie naar een plek onder een het natuurgebied te boren, zolang de oppervlakte locatie maar niet in het natuurgebied staat.
- Olie- en gasvelden. Boren in een uitgeproduceerd, produceren of onontwikkeld olie en/of gasveld is een enorm risico. Binnen de huidige wet en regelgeving is het niet toegestaan in een olie- of gasveld te boren om vervolgens uit dezelfde laag geothermische warmte te onttrekken. Ook is het niet zomaar toegestaan om door een olie of gasveld heen te boren om vervolgens in diepere lagen warmte te onttrekken. Binnen de provincie zijn meerdere aardgas- en olievelden aanwezig in de Trias en Schieland Groep.
- Toekomstig aardwarmteproject. Binnen en rond de provincie liggen meerdere bestaande vergunning voor een toewijzing zoekgebied aardwarmte: 1) bij en boven Tilburg, 2) rond Moerdijk en Plukmade en Breda, 3) in de Bommelerwaard, 4) bij Oss en 5) bij Asten en Someren. In deze gebieden kunnen niet zomaar nieuwe opsporings- of winningsvergunning worden aangevraagd. Wel kunnen, in overleg met de huidige vergunningshouder, nieuwe afspraken worden gemaakt over aardwarmtewinning in een bestaand zoekgebied. Verder kunnen er, wanneer de vergunningen verlopen zijn, weer nieuwe aanvragen worden gedaan.



Figuur 2.7 | (Ondiepe) omgevingsbelangen relevant voor geothermie. Vergunningen en belangen zijn van 02-2026

Veiligheidsbelangen

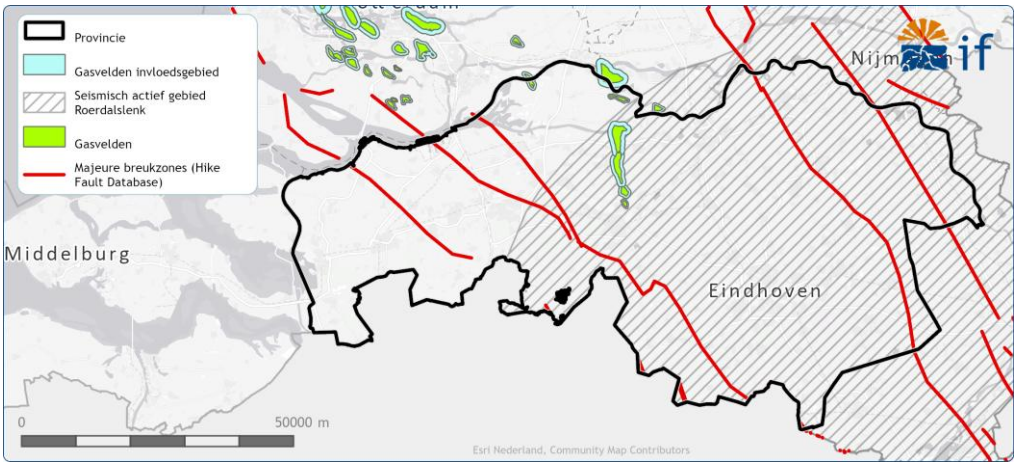
Geothermie is niet geheel zonder risico's. De belangrijkste ondergrondse risico's zijn:

- Aardbevingen en trillingen. Het risico op aardbevingen en trillingen als gevolg van geothermie is minimaal. In tegenstelling tot olie- en gaswinning wordt er netto nauwelijks materiaal aan de ondergrond onttrokken. Wel kunnen lokaal drukverschillen en temperatuurverschillen ontstaan. Wanneer dit te dicht bij (bestaande) breuken gebeurt, is er een kans dat deze reactiveren wat op zijn beurt weer seismiciteit kan opleveren. Om dit risico goed in kaart te brengen, moet voorafgaand aan de realisatie van een geothermieproject een "Seismische Dreiging en Risico Analyse" (SDRA) uitgevoerd worden.

- Bestaande breuken: Binnen het projectgebied zijn er verschillende breuken op reservoirniveau aanwezig. Deze breuken kunnen als gevolg van temperatuur- en drukveranderingen worden gereactiveerd wat kan lijden tot geïnduceerde seismiciteit. Geadviseerd wordt om deze breuken bij het realiseren van een geothermieproject te vermijden.
- Invloedsgebied Roerdalslenk (RVG): Het projectgebied heeft een grote overlap met het invloedsgebied van de Roerdalslenk. De nieuwe SDRA richtlijnen[2] geven aan dat voor projecten in het RVG invloedsgebied een uitgebreide en locatie specifieke SDRA uitgevoerd moet worden om aan te tonen hoe groot de risico's zijn en of de risico's binnen de wettelijke norm blijven.

- Schade door het onverwacht aanboren van gas of olie. Tijdens de boorfase worden verschillende maatregelen genomen om dit risico te mitigeren (bijv. door een blow-out preventor). Daarnaast dient voor de realisatie van een project een "H*ydrocarbon Risk Assessment*" (HRA) uitgevoerd te worden om dit risico goed in te kunnen schatten.
- Bodem- of drinkwaterverontreiniging. Een geothermiedoublet onttrekt en injecteert water uit één diep gelegen laag en is afgesloten door een afsluitende laag en middels buizen met een gecementeerde omheining van ondiepere lagen. Hoewel het zelden tot nooit gebeurt kan lekkage van kleine hoeveelheden zoutwater uit een geothermieput voorkomen en dit kan leiden tot milieuverontreiniging. Om lekkage te voorkomen worden verschillende maatregelen getroffen, zoals:
  - Het uitvoeren van een bodemonderzoek om vervuilde locaties te vermijden.
  - Het gebruik van een brede metalen buis (conductor) (tot wel 250 m diep) voor het bovenste gedeelte van de put
  - Het inrichten van een locatie met vloeistof dichte vloer.
  - Het toepassen van een dubbele barrière voor het bovenste deel van een put.
  - Continue monitoring of er problemen optreden.
- Zoet/Brak/Zout Grensvlak. Het zoet-brak grensvlak mag niet worden beïnvloed door een ondiep geothermie systeem. Dit grensvlak is met name van belang voor een systeem in de Formatie van Breda binnen het centrum van het Roerdalslenk omdat: 1) het grensvlak zich ten delen binnen de Formatie van Breda bevindt en 2) het onduidelijk is of er een goede afsluitende kleilaag boven de Formatie van Breda aanwezig. Daarom is het voor een systeem in Formatie van Breda voorafgaand aan realisatie van belang dat de effecten op het zoutgehalte van het water goed worden onderzocht.

[2] Nieuwe **SDRA** (Seismische Dreiging en Risico Analyse) richtlijnen binnen de nieuwe mijnbouwwet (2023)



Figuur 2.8 | Ondergrondse veiligheidsbelangen voor een geothermie systeem in de provincie Noord-Brabant.

3 Geothermiepotentie en onzekerheid per reservoir

In dit hoofdstuk presenteren we de geothermische potentie voor de volgende zeven geschikte reservoirs:

- Formatie van Breda (Boven-Noordzee Groep)
- Zand van Brussel Laagpakket (Onder-Noordzee Groep)
- Formatie van Vaals en Oploo (Krijtkalk Groep)
- Formatie van Nieuwerkerk (Schieland Groep)
- Röt Randzandsteen Laagpakket (Boven-Germaanse Trias Groep)
- Hoofd-Bontzandsteen Subgroep (Onder-Germaanse Trias Groep)
- Nederweert Zandsteen Formatie (Onder-Germaanse Trias Groep)

Net als in het vorige hoofdstuk zijn deze potentiekaarten kwalitatief en ingedeeld in 4 verschillende klassen (zeer goede potentie, goede potentie, redelijke potentie en weinig/geen potentie).

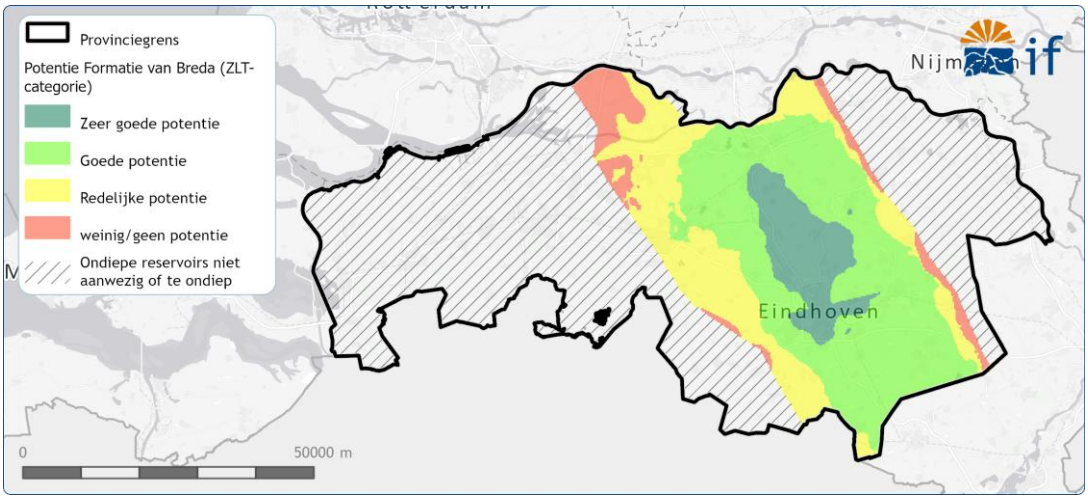
Onzekerheid
Om een geothermisch potentieel te kunnen berekenen en weergeven is kennis en data van de ondergrond nodig. Echter, voor sommige gebieden is geen of weinig directe ondergrond data aanwezig. Daarom wordt er voor deze gebieden gewerkt met inschattingen op basis van de gegevens van verderop en/of geologische modellen en relaties. Afhankelijk van hoeveel data en inzicht er beschikbaar is en de geologische complexiteit van het reservoir kan de onzekerheid van de potentie groter of kleiner zijn (zie voor meer uitleg ook Sectie 4.6).

Aangezien de datadichtheid en de geologische complexiteit over de gehele provincie en voor alle bestudeerde formaties niet gelijk is, is ook de zekerheid waarmee de eigenschappen van de pakketten bepaald kunnen worden niet overal gelijk. Er is daarom voor elk reservoir ook onzekerheid ingeschat op basis van onze kennis en de beschikbare data op die specifieke locatie. Dit is verdeeld in twee categorieën per reservoir: zeker en onzeker. Voor onzekere gebieden geldt dat er op dit moment nog te weinig data of inzicht is om de potentie echt accuraat te voorspellen. Dit wil niet zeggen dat er geen potentie is. Een logische maar kostbare vervolgstap voor onzekere gebieden is het plaatsen van een proefboring zodat er meer data in de regio vrijkomt. Een andere vervolgstap kan zijn om de onzekerheid te kwantificeren (onzekerheidsanalyse) om te kijken of het mogelijk om het risico te wagen en gelijk een geothermiesysteem te ontwikkelen.

3.1 KWALITATIEVE POTENTIE – FORMATIE VAN BREDA

Geothermische potentie
De kwalitatieve potentiekaart (Figuur 3.1) laat zien in welke mate temperatuur, dikte en reservoirkwaliteit leiden tot potentie voor ondiepe geothermie. In de gebieden met zeer goede potentie zijn de hoogste temperaturen voor de Formatie van Breda beschikbaar, is de formatie het dikst en is er een geschikte reservoirkwaliteit. In het noorden heeft de Formatie van Breda een relatief lage temperatuur, neemt het kleigehalte toe en nemen de korrelgroottes af. Dit resulteert in redelijke tot weinig/geen potentie. Langs de randen van de Roerdalslenk resulteren vooral de

beperkte diepte, en dus temperatuur, en de beperkte dikte in een redelijke tot weinig/geen potentie. Buiten het Roerdalslenk ligt de Formatie van Breda een stuk ondieper (top op 50 – 350 m) waardoor die buiten het domein van geothermie valt en daarom niet is meegenomen in deze studie (gearceerd gebied Figuur 3.1). Voor meer informatie over de onderbouwing van de kaarten potentiekaart zie bijlage 4.



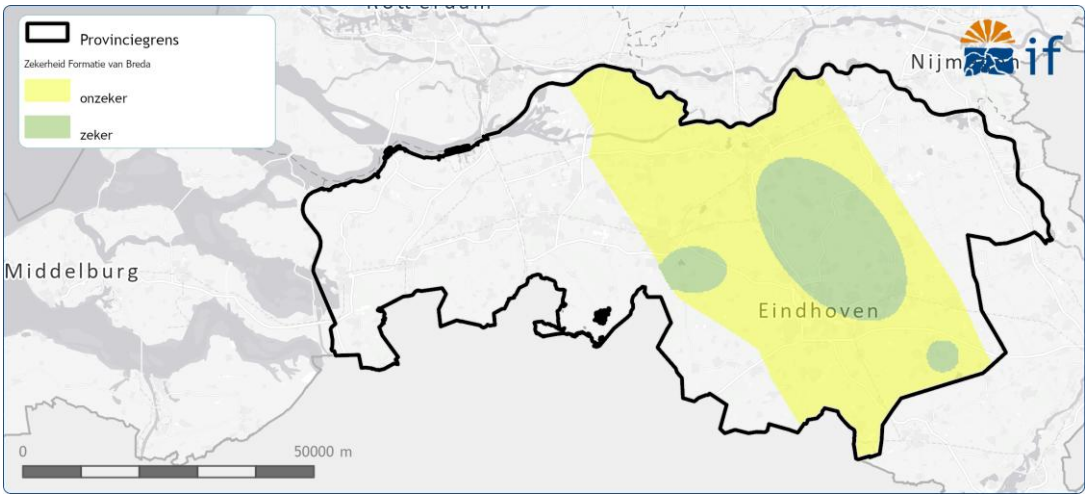
Figuur 3.1 | Kwalitatieve potentiekaart van de Formatie van Breda. Ook duidelijk zichtbaar op de kaart zijn een tweetal oost-west georiënteerde artefacten. Eén is zichtbaar rond Eindhoven en de andere net ten zuiden van het Land van Altena. Deze artefacten worden veroorzaakt doordat interpretaties van verschillende modelgebieden uit het H3O-programma[3] niet naadloos op elkaar aansluiten. Aangezien de H3O modellen in deze studie als basis worden genomen voor diepte en dikte werken deze artefacten door tot in de kwalitatieve potentiekaarten.

Onzekerheid

De Formatie van Breda wordt pas sinds kort beschouwd als een potentieel interessant reservoir voor ondiepe geothermie (Peters et al., 2022)[4]. Hierdoor bestaat nog veel onzekerheid over hoe dit reservoir zich leent voor geothermie en wat de exacte eigenschappen zijn. De in dit rapport gepresenteerde potentiekaart is daarom in delen onzeker, waarbij de mate van onzekerheid ook kan verschillen (Figuur 3.2). Rondom bestaande putten is er zowel direct bewijs (puttesten) als indirect bewijs dat de formatie geschikt kan zijn voor ondiepe geothermie. Naarmate de afstand tot deze putten toeneemt, neemt ook de onzekerheid toe (b.v. in het zuiden van het Roerdalslenk). In het noorden neemt het kleigehalte toe en de korrelgrootte af. Hoewel de netto zanddikte en berekende doorlatendheid mogelijk nog voldoende zijn, ontbreekt voldoende putdata en vooral puttesten om het effect van deze veranderingen op de potentie betrouwbaar in te schatten. Dit maakt dat de potentie in het noorden als onzeker wordt beoordeeld.

[3] H3O-programma: (hydro)geologie van Nederlandse grensgebieden in 3D (https://www.dinoloket.nl/h3o-programma-hydrogeologie-van-nederlandse-grensgebieden-in-3d)

[4] Peters e.a. - 2022 - Characterization of and production from the Breda Formation in the Roer Valley Graben

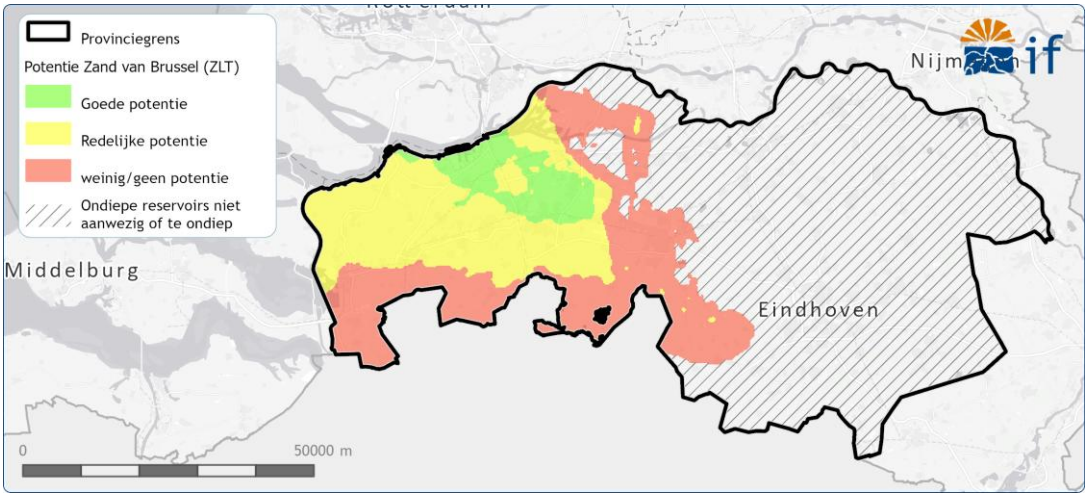


Figuur 3.2 | Onzekerheidskaart van de Formatie van Breda.

3.2 KWALITATIEVE POTENTIE – ZAND VAN BRUSSEL LAAGPAKKET

Geothermische potentie

Een groot deel van het gebied waar het Zand van Brussel Laagpakket voorkomt heeft een redelijke tot goede potentie voor geothermie. Dit gebied ligt grofweg tussen de plaatsen Breda, Bergen op Zoom, Roosendaal, Made en strekt zich uit tot in Zuid-Holland (Figuur 3.3). Binnen dit gebied ligt de temperatuur veelal rond of boven de 30 °C. Aan de randen van het voorkomen van het Zand van Brussel is er weinig tot geen potentie voor geothermie. Dit komt doordat het pakket daar meestal dunner is of ondieper ligt waardoor de temperatuur lager ligt. Nabij Hoogerheide en richting het oosten van de provincie ligt het reservoir te ondiep voor de toepassing van geothermie (basis < 500 m).

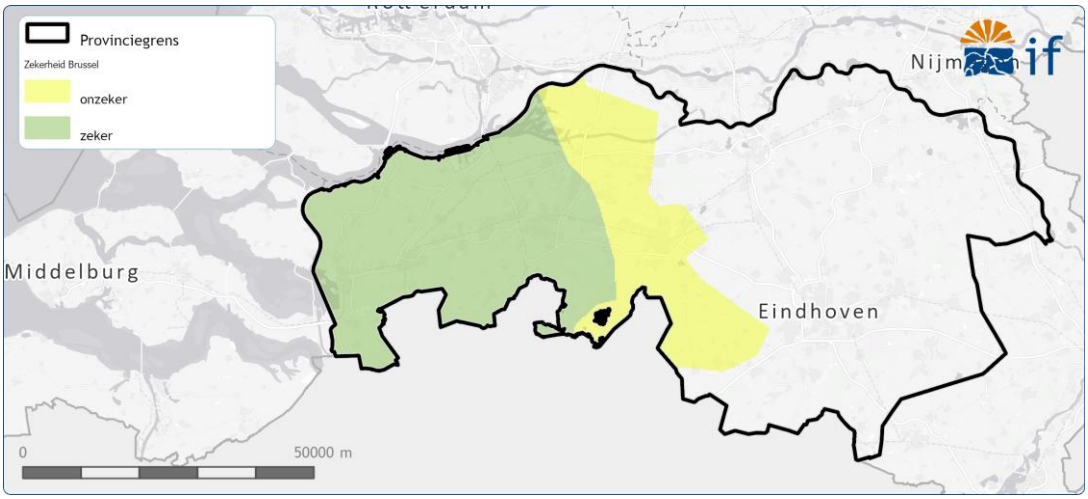


Figuur 3.3 | Kwalitatieve potentiekaart van het Zand van Brussel Laagpakket.

Over het algemeen is de potentie van het Zand van Brussel Laagpakket lager dan dat van de Formatie van Breda. Dit komt door de lagere doorlatendheden (250-500 mD) en de kleinere netto

dikte (<100 m) van het Zand van Brussel Laagpakket in vergelijking met de Formatie van Breda. Voor meer informatie over de onderbouwing van de kaarten potentiekaart zie bijlage 5.

Onzekerheid
Binnen het projectgebied is relatief veel bekend over het Zand van Brussel Laagpakket. Er bevindt zich een groot gebied waar deze laag voldoende netto zanddiktes en consistente reservoireigenschappen vertoont. In dit gebied zijn bovendien twee putten met puttestgegevens aanwezig (ZVB-GT-01 en ORO-01), waardoor de eigenschappen hier als relatief zeker tot zeker worden beoordeeld (Figuur 3.4). In een brede zone in het oosten geven putgegevens echter een wisselend beeld door verbreuking en sterk variërende netto zanddiktes. Hierdoor is de inschatting van de potentie in dit gebied onzeker.



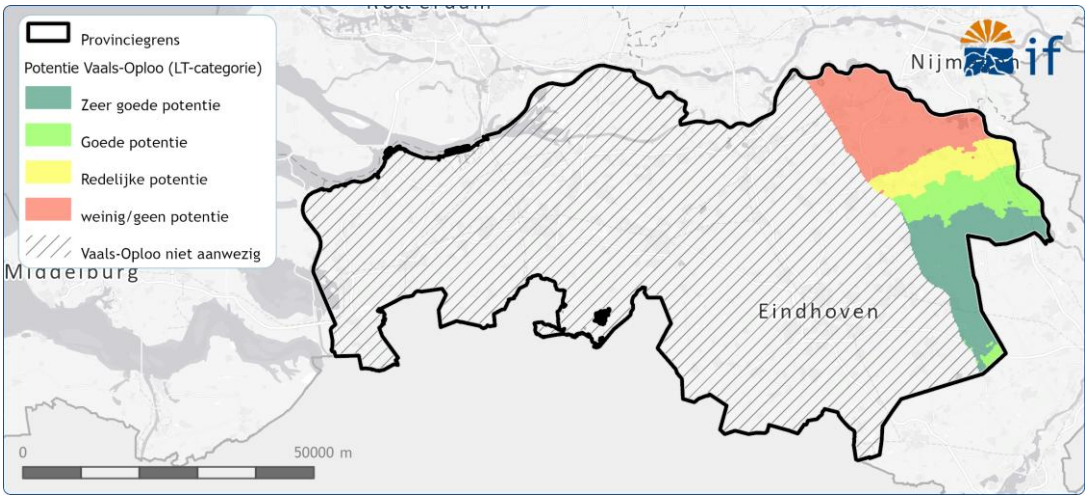
Figuur 3.4 | Onzekerheidskaart van het Zand van Brussel Laagpakket.

3.3 KWALITATIEVE POTENTIE - FORMATIE VAN VAALS EN OPLOO

Geothermische potentie
Met het vrijkomen van data uit de MHZ-01 boring uit het SCAN-programma werd het mogelijk om de potentie voor ondiepe geothermie uit de Formatie van Vaals en Oploo in te schatten (Figuur 3.5). Op de resulterende potentiekaart is te zien dat het reservoir met name in de onderste helft van het uiterste oosten van de provincie goede tot zeer goede potentie heeft (gebied rond Deurne, Gemert en Boxmeer). In het noorden van oostelijk Brabant is er geen zand meer aanwezig en is er dus ook geen potentie meer. In een lijn lopende van Uden naar Gennep wordt nog redelijke potentie geschat. Voor het gebied tussen de putten OPL-16 (meest noordelijke put met zand) en HEE-01 (meest zuidelijke put met mergel/krijtkalk) zijn de inschattingen echter zeer onzeker vanwege het ontbreken van harde datapunten. Temperaturen in de gebieden met potentie liggen tussen de 35 - 45 ºC. Voor meer informatie over de onderbouwing van de kaarten potentiekaart zie bijlage 6.

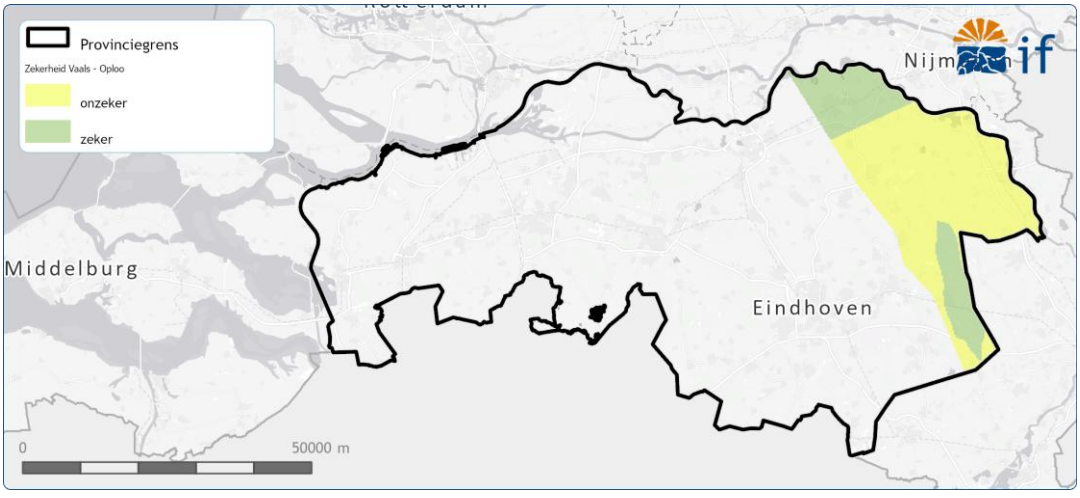
Onzekerheden
De Formaties van Vaals en Oploo worden pas sinds kort beschouwd als een potentieel interessant reservoir voor ondiepe geothermie. Hierdoor bestaat nog veel onzekerheid over hoe dit reservoir zich leent voor geothermie en wat de exacte eigenschappen zijn. De in dit rapport gepresenteerde

potentiekaart is daarom in delen onzeker, waarbij de mate van onzekerheid ook kan verschillen (Figuur 3.2). Rondom de recent geboorde SCAN-put MHZ-01 is er zowel direct bewijs (puttest) als indirect bewijs dat de formatie geschikt kan zijn voor ondiepe geothermie. Daarom is de potentie in het breukblok waarbinnen MHZ-01 aanwezig is relatief zeker.



Figuur 3.5 | Kwalitatieve potentiekaart van de Formatie van Vaals en Oploo.

Andere putten in de regio zijn zeer oud (ouder dan 1930) en bevatten alleen boorbeschrijvingen. Hierdoor kunnen deze putten niet worden gebruikt voor het inschatten van de reservoirkwaliteit. Ze kunnen echter wel worden gebruikt om in te schatten tot hoever het zand in ieder geval aanwezig is. De meest noordelijke put met zand is OPL-16 (Oploo) en ten noorden van deze put gaat het zand langzamerhand over in kalksteen en mergel. Bij de put HEE-01 bestaat de Krijtkalk groep volledig uit kalsteen en mergel. Daarom is het voor het gebied ten noorden van deze boring zeker dat er weinig/geen potentie aanwezig is. Voor het gebied tussen MHZ-01 en HEE-01 zijn de inschatting van de het onzeker vanwege het ontbreken van kwantitatieve data.



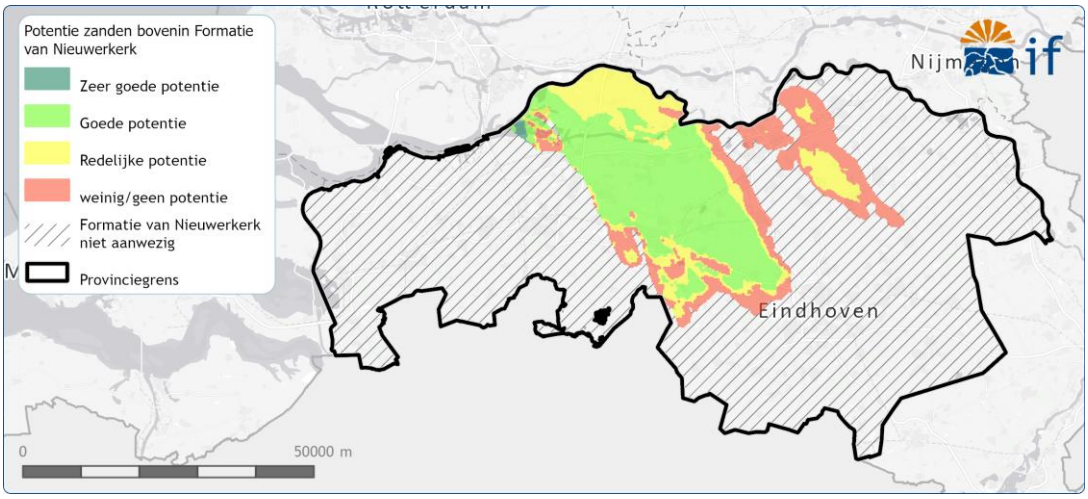
Figuur 3.6 | Onzekerheidskaart van de Formatie van Vaals en Oploo.

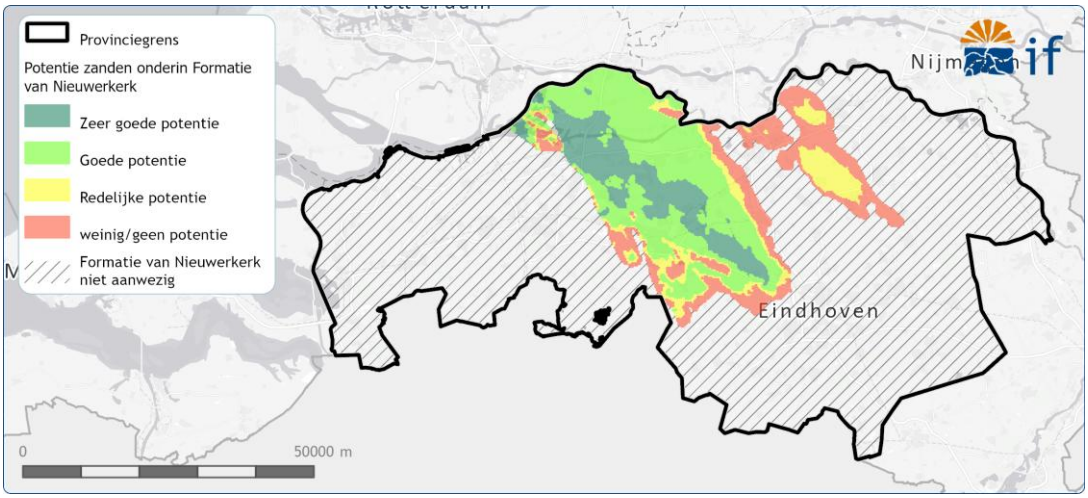
3.4 KWALITATIEVE POTENTIE – FORMATIE VAN NIEUWERKERK

Geothermische potentie

In grote delen van het Roerdalslenk is de Formatie van Nieuwerkerk erg dik. Daar waar de Formatie van Nieuwerkerk dik is (>600 m) is de geothermische potentie goed tot zeer goed. In deze gebieden zijn ook de gemiddelde temperaturen het hoogst en is er relatief veel doorlatend zand aanwezig. Vanwege de grote dikte van de Formatie van Nieuwerkerk is er besloten om het reservoir op te delen in twee intervallen, namelijk: de 1) ondiep gelegen zanden (bovenste 50%) en 2) de diep gelegen zanden (onderste 50%). Vooral de diepere zandlagen binnen deze formatie resulteren door de hogere temperaturen in een zeer hoge potentie. De ondieper gelegen zanden binnen de Formatie van Nieuwerkerk hebben vanwege de lagere temperaturen (5 – 10 °C lager) vaak een iets lagere potentie, maar zijn desondanks geschikt (b.v. goede potentie i.p.v. zeer goede potentie) (Figuur 3.7).

In het oosten, bij Heeschwijk, is de geothermische potentie redelijk. Deze is lager door de relatief lage netto-bruto verhouding en daardoor kleinere netto zanddiktes. De onzekerheid is hier echter groter door een gebrek aan representatieve data: in de enige put die in dit gebied aanwezig is niet de volledige Formatie van Nieuwerkerk aangeboord, waardoor informatie over het onderste deel ontbreekt. Tot slot heeft de Formatie van Nieuwerkerk aan van het afzettingsgebied vaak weinig/geen potentie. In deze gebieden is de Formatie van Nieuwerkerk te dun en sterk verbreukt waardoor er te weinig goed zand aanwezig is. Voor meer informatie over de onderbouwing van de kaarten potentiekaart zie bijlage 7.





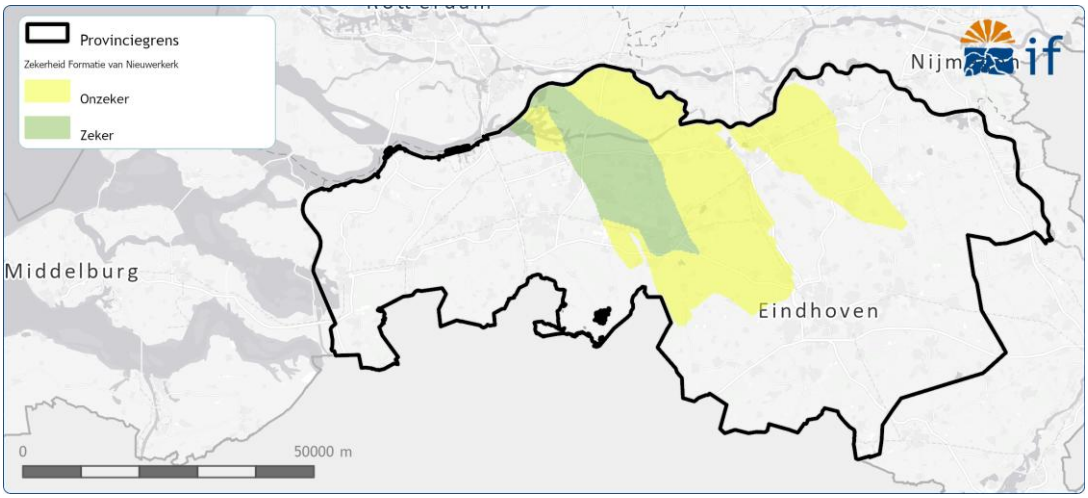
Figuur 3.7 | Kwalitatieve potentiekaart van de Formatie van Nieuwerkerk. Boven) potentie van de ondiep gelegen zanden. Onder) Potentie van de diep gelegen zanden.

Onzekerheid

Binnen de provincie Noord-Brabant bestaat de Formatie van Nieuwerkerk hoofdzakelijk uit het Laagpakket van Alblasserdam. Dit laagpakket bestaat uit rivierafzettingen welke worden gekenmerkt door een afwisselende opeenstapeling van zand- en kleilagen met een beperkte laterale uitbreiding waarbij de bruto dikte lokaal kan oplopen tot meer dan 1000 m. Ondanks een hoge doorlatendheid kan uit de individuele zandlagen niet voldoende water worden onttrokken. Om wel voldoende water te kunnen onttrekken is het noodzakelijk dat de verschillende zandlagen met elkaar in verbinding staan. Dit wordt ook wel de mate van connectiviteit genoemd. De zekerheid waarmee de potentie kan worden ingeschat wordt voor de Formatie van Nieuwerkerk daarom vooral bepaald door hoe goed de connectiviteit tussen de verschillende zandlagen kan worden ingeschat.

Op basis van een eenduidig beeld uit de putgegevens kan de mate van connectiviteit in een deel van het gebied redelijk zeker worden ingeschat. In andere zones laat de putdata een afname van zand en een wisselende verdeling van zandlichamen laten zien. Hierdoor is er een sterke lokale variatie in connectiviteit waardoor de inschatting van de potentie relatief onzeker is. In het oostelijke en zuidelijke deel is de geologie zeer complex en ontbreekt representatieve data, waardoor de inschatting van de potentie daar als zeer onzeker wordt beoordeeld.

In het Westland zijn meerdere geothermiesystemen operationeel die water onttrekken uit het Delft Zandsteen Laagpakket, het bovenste deel van de Formatie van Nieuwerkerk. Recent is in Maasdijk een geothermiesysteem gerealiseerd dat gebruikmaakt van het dieper gelegen Laagpakket van Alblasserdam. Deze systemen bevestigen dat geothermie in deze reservoirs op deze locaties mogelijk is.

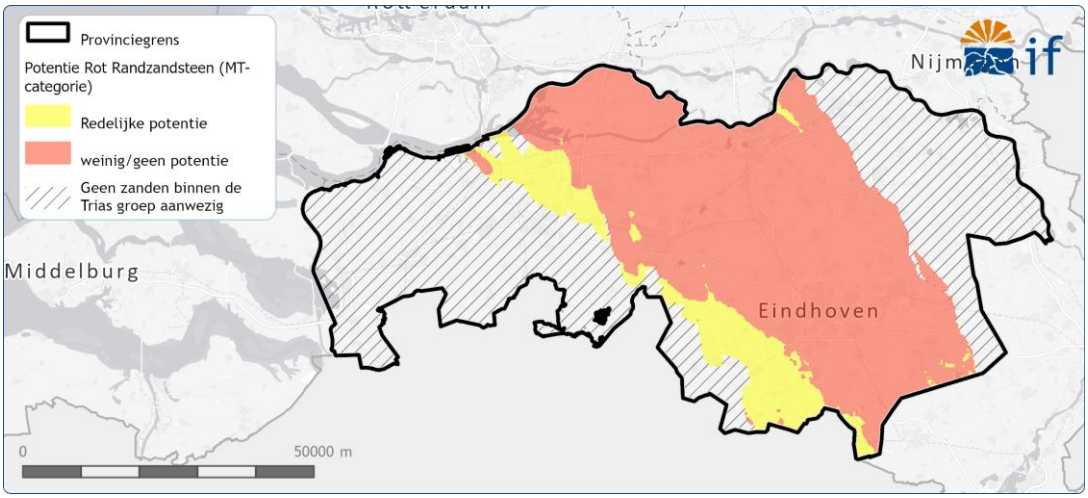


Figuur 3.8 | Onzekerheidskaart van de Formatie van Nieuwerkerk. Deze kaart is van toepassing op zowel de ondiep als diep gelegen zanden

3.5 KWALITATIEVE POTENTIE - RÖT RANDZANDSTEEN LAAGPAKKET

Geothermische potentie reguliere geothermie

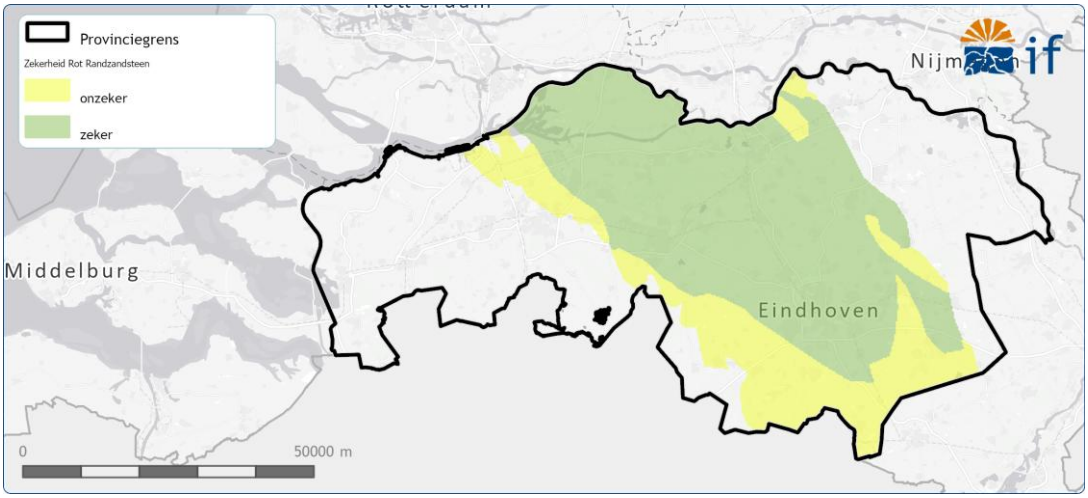
De geothermische potentie van het Röt Randzandsteen Laagpakket valt in twee categorieën: 'weinig/geen' potentie en 'redelijke' potentie. In gebieden met 'weinig of geen' potentie ligt het laagpakket diep begraven, waardoor de doorlatendheid te laag is. Dit is het geval in het centrale deel van de Roerdalslenk. Aan de randen van de Roerdalslenk is het pakket ondieper begraven wat gepaard gaat met hogere doorlatendheden. Echter is hier de netto dikte van het pakket relatief laag, waardoor de potentie beperkt blijft tot 'redelijk'. Voor het realiseren van een geothermie project in dit gebied betekent dit dat er gekeken moet worden naar optimalisaties van de operationele uitgangspunten. Denk hierbij aan het verhogen van de injectiedruk of het verlagen van de injectietemperatuur, mits de eigenschappen van het reservoir en de afsluitende laag dit toelaten. Voor meer informatie over de onderbouwing van de kaarten potentiekaart zie bijlage 8.



Figuur 3.9 | Kwalitatieve potentiekaart Röt Randzandsteen Laagpakket.

Onzekerheid

Voor het Röt Randzandsteen Laagpakket bestaat er onzekerheid over de gebieden met potentie aan de randen van het Roerdalslenk. Deze onzekerheid komt in het westen (Breda - Moerdijk) voort uit geologische complexiteit en mogelijke erosiegebieden, in het zuidwesten en zuiden (Kempen - Peel) door de afwezigheid van representatieve data en onzekerheden over de maximale begraving van het reservoirgesteente. Nabij Nuland – Gewande is ook nog een onzeker gebied. Dit komt door dat lokale putten een afwijking in het porositeit vs. begravingsmodel laten zien. Over het centrale deel van het Roerdalslenk zijn we zeker dat er vanwege de te grote begravingsdiepte en de daarmee gepaard gaande lage doorlatendheden, weinig/geen potentie aanwezig is.

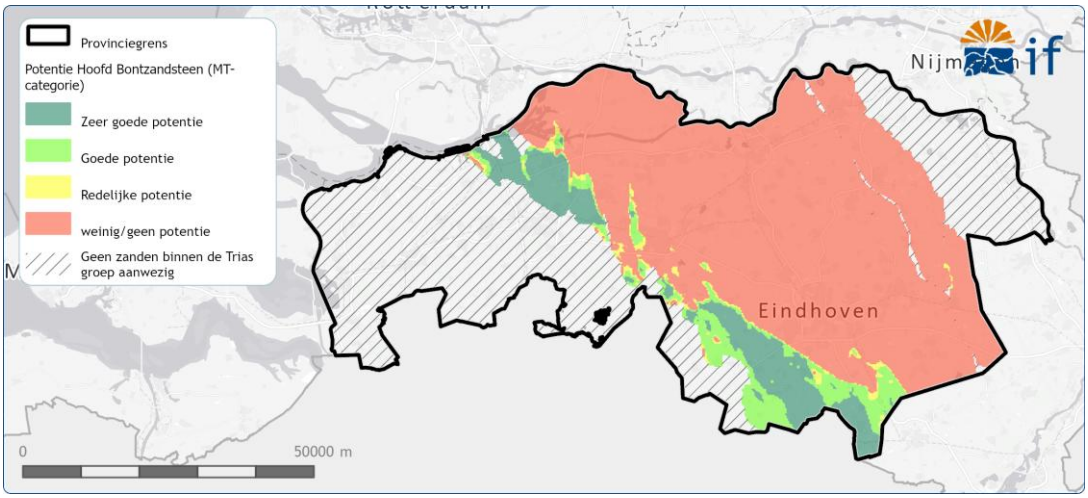


Figuur 3.10 | *Onzekerheidskaart van het Röt Randzandsteen Laagpakket.*

3.6 KWALITATIEVE POTENTIE – HOOFD-BONTZANDSTEEN SUBGROEP

Geothermische potentie

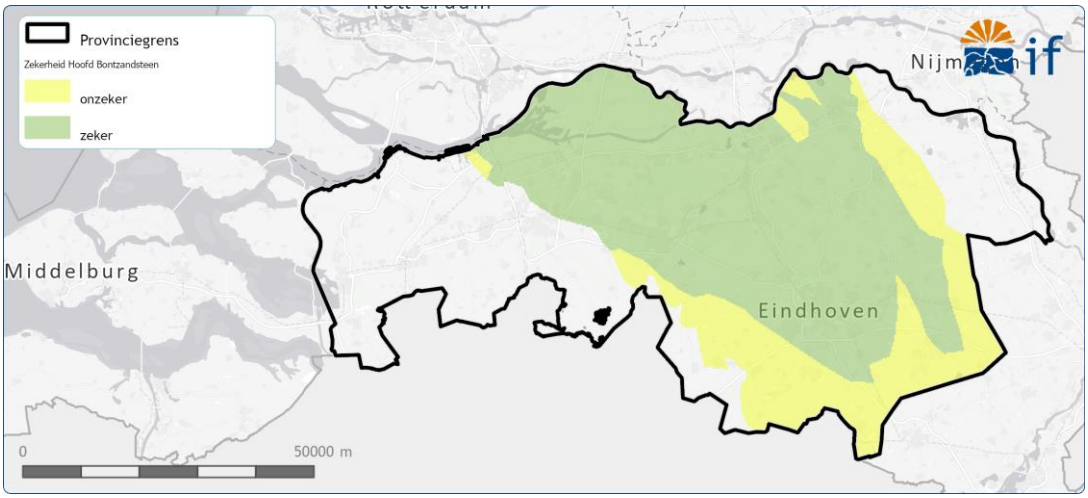
De geothermische potentie van de Hoofd Bontzandsteen Subgroep is het hoogst aan de zuidwestelijke rand van de Roerdalslenk. Hier ligt het reservoir relatief ondiep, wat resulteert in relatief hoge doorlatendheden, zoals geobserveerd in putten STW-01, STH-01 en HBV-01. Daarnaast is de netto dikte van het reservoir in dit gebied relatief hoog (> 100 m). Aan de noordoostelijke rand van de Roerdalslenk zijn de begravingsdieptes vergelijkbaar met die van de noordwestelijke rand. Echter, door de kleinere korrelgroottes van de zanden is de doorlatendheid hier een stuk lager (b.v. HEE-01). Hierdoor lijkt er op basis van de huidige inzichten weinig tot geen geothermische potentie in dit gebied. In het centrale deel van de Roerdalslenk ligt het reservoir dieper begraven, waardoor de doorlatendheden zeer laag zijn. Hierdoor is er ook hier weinig tot geen potentie voor geothermie in dit gebied. Voor meer informatie over de onderbouwing van de kaarten potentiekaart zie bijlage 9.



Figuur 3.11 | Kwalitatieve potentiekaart Hoofd Bontzandsteen Subgroep.

Nieuwe inzichten MHZ-01 boring
In februari 2026 zijn de eerste inzichten en voorlopige data van de SCAN-boring MHZ-01 in Milheeze naar buiten gekomen. Hieruit bleek dat de reservoirkwaliteit van de Hoofd Bontzandsteen Subgroep vergelijkbaar was in vergelijking tot eerdere resultaten uit de SCAN Boring BLT-01 en HEE-01. De uiteindelijke reservoirkwaliteit is namelijk vergelijkbaar met wat eerder is gemeten in BLT-01. Dit impliceert dat de inschattingen voor de Hoofd Bontzandsteen Subgroep uit deze studie in lijn liggen met de eerste resultaten van de MHZ-01. Dat gezegd hebbende, het expliciet meenemen van de interpretaties van de MHZ-01 valt echter buiten de planning en scope van deze studie.

Onzekerheid
Voor de Hoofd Bontzandsteen Subgroep is de inschatting van de potentie onzeker aan de randen van het Roerdalslenk. Deze onzekerheid komt in het noordwesten voort uit geologische complexiteit en mogelijke erosiegebieden, in het zuidwesten en zuiden door de afwezigheid van representatieve data en langs de oostelijke rand door onzekerheid over het begraving versus porositeit model. Over het centrale deel van het Roerdalslenk is er zekerheid over de inschatting van de potentie vanwege de grote begravingsdiepte en de daarmee gepaard gaande lage doorlatendheden. Hoewel er duidelijke onzekerheden bestaan over de potentie langs de westelijke flank van de Roerdalslenk zijn er twee goed draaiende geothermieprojecten (Briele en Tinte) in de Hoofd Bontzandsteen Subgroep gerealiseerd in het verlengde van deze structuur in provincie Zuid Holland. De putten STW-01 en STH-01 laten een vergelijkbare of betere reservoirkwaliteit zien in vergelijk met deze geothermieprojecten. Daarom zijn we relatief zeker over het gebied met potentie rond Breda en Moerdijk. Voor het gebied met potentie in de Kempen is er echter weinig tot geen representatieve data aanwezig waardoor het hier weer zeer onzeker is.

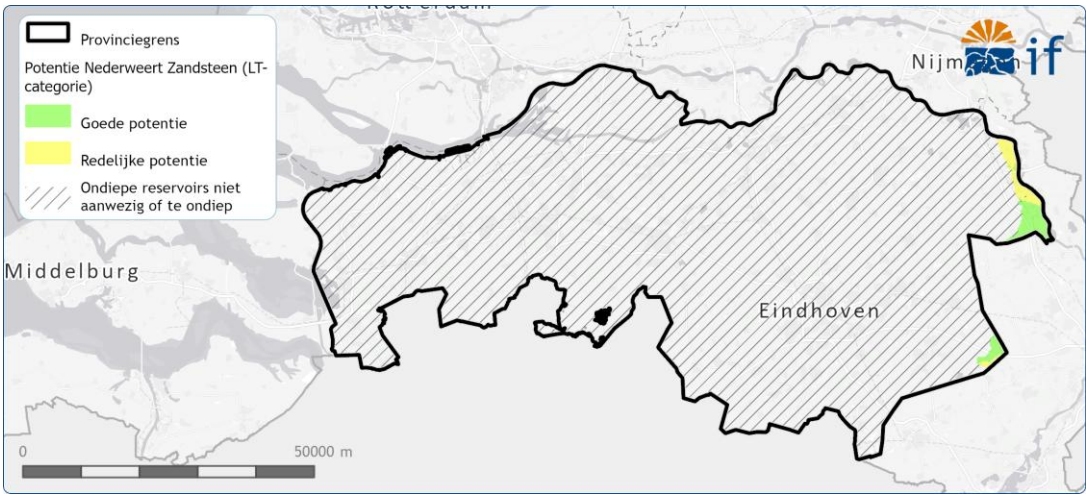


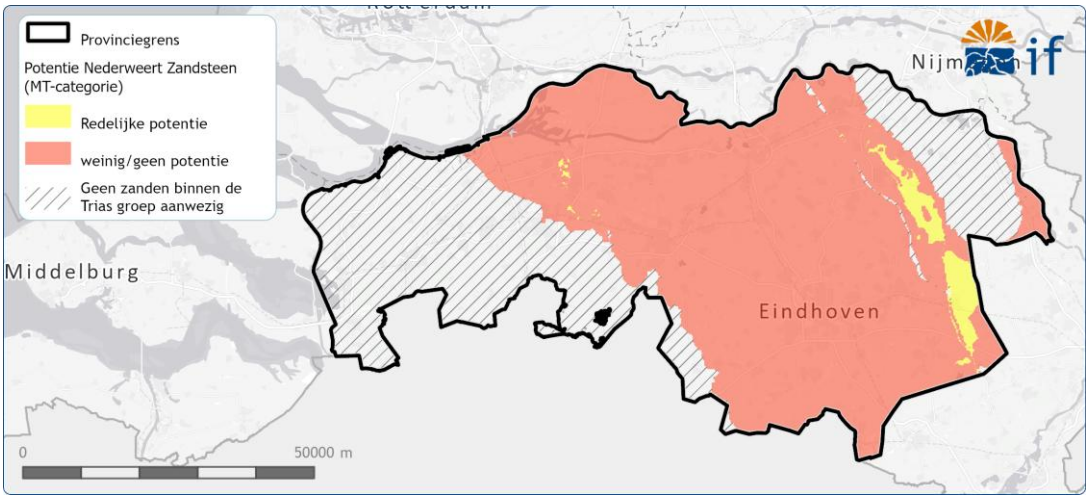
Figuur 3.12 | Onzekerheidskaart van de Hoofd Bontzandsteen Subgroep.

3.7 KWALITATIEVE POTENTIE - NEDERWEERT ZANDSTEEN FORMATIE

Geothermische potentie reguliere en ondiepe geothermie

De Nederweert Zandsteen Formatie heeft overwegend 'weinig tot geen' potentie. In de oostelijke rand van de Roerdalslenk is een gebied waar de geothermische potentie 'redelijk' is. In dit gebied is relatief veel zand aanwezig ten opzichte van de rest van de Roerdalslenk. Meerdere putten (HEE-01, CAL-GT-01, NDW-01) laten echter zien dat dit zand veelal fijnkorrelig is, waardoor de doorlatendheden waarschijnlijk relatief laag zijn. Ten oosten van de Roerdalslenk ligt het Peel Maasbommel Complex (PMC), waar de Nederweert Zandsteen Formatie meestal op minder dan 1000 m diepte voorkomt. Er liggen daar mogelijk kansen voor ondiepe geothermie omdat de potentie wordt ingeschat op redelijke tot goed. Dit is echter wel zeer onzeker.

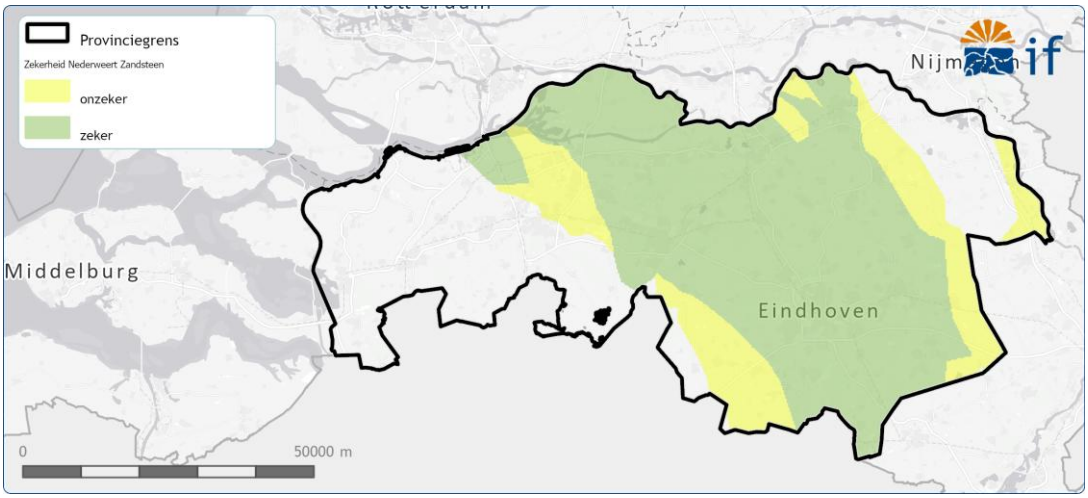




Figuur 3.13 | Kwalitatieve potentiekaart van de Nederweert Zandsteen Formatie. Boven) Potentie van de Nederweert Zandsteen Formatie als ondiep geothermie reservoir (diepte < 1000 m). Onder) Potentie Nederweert Zandsteen Formatie "diep" geothermie reservoir (diepte > 1000 m).

Nieuwe inzichten MHZ-01 boring
In februari 2026 zijn de eerste inzichten en voorlopige data van de SCAN-boring MHZ-01 in Milheeze naar buiten gekomen. Hieruit bleek dat de reservoirkwaliteit van de Nederweert Zandsteen Formatie tegenviel ten opzichte van initieel voorspeld. Uit de puttest bleek namelijk dat het 344 meter dikke zandsteenpakket maar een transmissiviteit heeft van 6-7 Dm. Dit is ongeveer een factor twee lager dan eerder ingeschat en ook ingeschat in deze studie. Hierdoor ligt de potentie van de Nederweert Zandsteen Formatie mogelijk lager dan hier kaartbeeld afgebeeld. Het meenemen van deze inzichten valt echter buiten de planning en scope van deze studie.

Onzekerheid
Langs de westelijke zijde van de Roerdalslenk is de inschatting van de potentie onzeker. Het is een geologisch complex gebied en het is onduidelijk of de Nederweert Zandsteen Formatie aanwezig is. Daarnaast is de potentie-inschatting gebaseerd op slechts één put (STH-01).
De inschatting van de potentie van de ondiepe breukblokken in het oosten is ook onzeker vanwege verschillende signalen uit de geïnterpreteerde putten en onzekerheden in de gebruikte modellen. Over het centrale deel van het Roerdalslenk is er zekerheid over de inschatting van de potentie vanwege de grote begravingsdiepte en de daarmee gepaard gaande lage doorlatendheden.



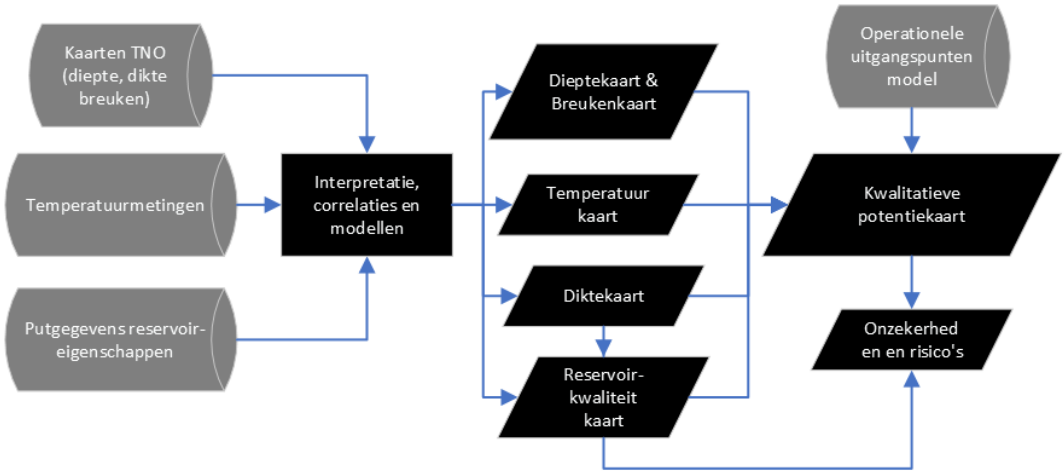
Figuur 3.14 | Onzekerheidskaart van de Nederweert Zandsteen Formatie.

4 Hoe zijn de potentiekaarten tot stand gekomen?

De geothermische potentiekaarten gepresenteerd in dit rapport zijn middels kwantitatieve data en interpretaties tot stand gekomen. Deze potentie is afhankelijk van verschillende eigenschappen;

- Allereerst moet de **temperatuur** van het water in het reservoir hoog genoeg zijn voor de beoogde toepassing. Over het algemeen geldt: hoe **dieper**, hoe warmer het is.
- Ook dient er **voldoende water** aanwezig te zijn, hierbij is de **netto dikte** van een reservoir een belangrijke parameter.
- Tot slot moet de **doorlatendheid** van het reservoir voldoende zijn, zodat het formatiewater de mogelijkheid heeft om te stromen.

Deze eigenschappen van het reservoirgesteente dienen dus eerst goed in kaart te worden gebracht voordat we de mogelijke geothermische potentie kunnen berekenen. In dit hoofdstuk leggen we beknopt uit welke gegevens en methodes hieraan ten grondslag liggen. De meer gedetailleerde interpretaties en resultaten en gehanteerde methodes per onderzocht reservoir zijn te vinden in bijlage 4 tot en met bijlage 10.



Figuur 4.1 | *Werkwijze van de totstandkoming van de kwalitatieve potentiekaarten.*

4.1 DIEPTE

De diepte van de onderzochte reservoirs is bepaald op basis van kaarten van TNO, namelijk:

- Formatie van Breda: combinatie van verschillende dieptekaarten van de Formatie van Breda (top en basis) uit het H3O-programma[5] en uit DGM V2.2.1

[5] H3O programma: https://www.dinoloket.nl/h3o-programma-hydrogeologie-van-nederlandse-grensgebieden-in-3d

- Zand van Brussel Laagpakket: dieptekaarten van het Zand van Brussel Laagpakket (top en basis) uit het WarmingUP onderzoeksprogramma[6]
- Formatie van Vaals en Oploo: samenvoeging van dieptekaarten van de CK2, CK3 en CK4 pakketten (top en basis) vanuit het H3O Peelhorst & Venloslenk[5] programma.
- Formatie van Nieuwerkerk: dieptekaarten van de Schieland Groep (top en basis) uit het H3O Diep Zuid NL programma[5]
- Röt Randzandsteen Laagpakket: dieptekaarten van de Boven Trias Groep (basis) uit het H3O Diep Zuid NL programma[5]
- Hoofd Bontzandsteen Subgroep: dieptekaarten van de Onder Trias Groep (top en basis) uit het H3O Diep Zuid NL programma en H3O Peelhorst & Venloslenk[5]
- Nederweert Zandsteen Formatie: dieptekaarten van de Onder Trias Groep (basis) uit het H3O Diep Zuid NL programma en H3O Peelhorst & Venloslenk[5]

Voor de verschillende lagen uit het Trias zijn geen kaarten van TNO beschikbaar op het gewenste niveau. Voor deze reservoirs zijn daarom de kaarten van TNO gecombineerd met putgegevens en resultaten uit de petrofysische interpretatie om tot dieptekaarten (top, basis en midden) per reservoir te komen.

4.2 TEMPERATUUR

De temperatuurkaarten van de onderzochte reservoirs zijn opgesteld op basis van een relatie tussen temperatuurmetingen in boorputten en diepte, ook wel aangeduid als de geothermische gradiënt. Deze gradiënt geeft de toename van temperatuur met toenemende diepte weer. Door variaties in geologische eigenschappen verschilt deze gradiënt per reservoir en soms zelfs binnen één reservoir op lokale schaal. Deze variabiliteit is duidelijk zichtbaar in de geanalyseerde temperatuurdata (e.g. Formatie van Breda (zie bijlage 4)). Om de gemiddelde temperatuur op reservoirniveau zo nauwkeurig mogelijk te bepalen, is er voor elk reservoir een afzonderlijke temperatuur-diepte relatie afgeleid. De temperatuur berekeningen zijn uitgevoerd met behulp van deze specifieke relatie in combinatie met dieptekaarten van het midden van het reservoir.

4.3 DIKTE

Vanwege verschillen in de gebruikte kaarten van TNO zijn er drie aparte methodieken gebruikt om tot bruto diktekaarten te komen per reservoir. Voor de Formatie van Breda, het Zand van Brussel Laagpakket, de Formatie van Nieuwerkerk en de Hoofd Bontzandsteen Subgroep was het mogelijk de kaarten van TNO[5,6] direct te gebruiken voor het maken van de bruto diktekaarten. Voor het Röt Randzandsteen Laagpakket waren er geen geschikte kaarten beschikbaar en is de bruto diktekaart gebaseerd op een interpolatie van geïnterpreteerde diktes uit boorputten. Voor de Nederweert Zandsteen Formatie is een vergelijkbare methodiek gebruikt. Echter, hierbij zijn naast de geïnterpreteerde putten uit deze studie ook eerdere interpretaties van EBN gebruikt (vooronderzoek voor de SCAN-boringen HEE-01 en MHZ-01).

4.4 RESERVOIRKWALITEIT

De kwaliteit van een geothermiereservoir is voor een groot deel afhankelijk van de dikte van de zandlaag of -lagen die aanwezig zijn en de doorlatendheid van datzelfde zand. Een belangrijke

[6] WarmingUP programma: https://www.warmingup.info/actueel/101/het-brussels-zand-een-potenti%C3%ABle-bron-van-warmte-voor-warmtenetten

parameter om dit inzichtelijk te maken is de Netto-Bruto verhouding (N/G). Deze verhouding verwijst naar het aandeel van het reservoirgesteente dat kan bijdragen aan de productie van geothermisch water. Daarnaast is de doorlatendheid van het netto zand belangrijk. Verder kunnen ook andere factoren zoals de hoeveelheden bijgemengd klei of de connectiviteit van doorlatende zandlagen van belang zijn. Vanwege de grote verschillen in de geologie van de onderzochte reservoirs is er per reservoir afzonderlijk bekeken wat de beste methode was voor het maken van de reservoirkwaliteitskaarten en welke parameters daarin leidend zijn (Tabel 4.1):

- **Formatie van Breda**: Vanwege de grote dikte en ook grote hoeveelheden zand binnen dit reservoir is er voor de Formatie van Breda enkel gekeken naar de netto/bruto-verhouding (N/G) en de doorlatendheid om de reservoirkwaliteit te bepalen.
- **Zand van Brussel Laagpakket**: de transmissiviteit (bruto dikte*N/G*doorlatendheid) is gebruikt om de reservoirkwaliteit in te schatten.
- **Formatie van Vaals en Oploo**: de transmissiviteit (bruto dikte*N/G*doorlatendheid) is gebruikt om de reservoirkwaliteit in te schatten. Hierbij is gebruik gemaakt van een maximale filterlengte van 100 m (dus maximaal 100 m netto zand kan worden gebruikt).
- **Formatie van Nieuwerkerk**: De Formatie van Nieuwerkerk bestaat uit een opeenstapeling van zandlagen en kleilagen. De zandlagen zijn over het algemeen goed doorlatend, terwijl de kleilagen vrijwel ondoorlatend zijn. De verhouding tussen zand en klei, uitgedrukt als de netto/bruto-verhouding (N/G), is echter niet overal gelijk. Deze N/G-verhouding is voor dit type reservoir van groot belang omdat deze de mate van connectiviteit tussen de afzonderlijke zandlagen bepaalt. Een hogere connectiviteit resulteert in een betere reservoirkwaliteit. De reservoirkwaliteit is daarom bepaald aan de hand van de N/G en de bruto dikte van de Formatie van Niewerkerk.
- **Zanden uit het Trias**: Voor deze reservoirs is de transmissiviteit (bruto dikte*N/G*doorlatendheid) gebruikt om de reservoirkwaliteit in te schatten.

Tabel 4.1 | Gebruikte tussentijdse resultaten voor het maken van de reservoirkwaliteitskaarten. De parameters die leidend zijn in de bepaling van de reservoirkwaliteitskaart zijn groen gemarkeerd.

	Diepte	Bruto dikte	Korrelgrootte	N/G	Porositeit	Permeabiliteit	Transmissiviteit	Connectiviteit
Fm van Breda			✓	✓	✓	✓		
Zand van Brussel Laagpakket		✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Fm van Vaals en Oploo		✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Fm van Nieuwerkerk				✓	✓	✓		✓
Röt Randzandsteen Laagpakket	✓	✓		✓	✓	✓	✓	
Hoofd-Bontzandsteen Subgroep	✓	✓		✓	✓	✓	✓	
Nederweert Zandsteen Formatie	✓	✓		✓	✓	✓	✓	

4.5 GEOTHERMISCHE POTENTIE

Voor elk reservoir is de geothermische potentie modelmatig ingeschat aan de hand van de tussentijdse resultaten (e.g. doorlatendheid, diepte, N/G, temperatuur en bruto dikte), aannames, operationele uitgangspunten en de volgende formule:

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

Hierbij is:

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

De uiteindelijke kaart geeft een inschatting van het thermisch vermogen weer (kwantitatieve potentie). Echter, vanwege onzekerheden in de resultaten, onzekerheden in de operationele uitgangspunten en de provinciale schaal van deze studie is ervoor gekozen om de kwantitatieve potentiekaarten kwalitatief op te delen in vier categorieën:

- **Zeer goede potentie**: het reservoir heeft op deze locatie een zeer hoge potentie voor geothermie. Er is een zeer goede kans dat er op deze locatie een technisch en economisch haalbaar geothermieproject kan worden gerealiseerd, mits ondergrondse en bovengrondse risico's en belangen dit toe laten.
- **Goede potentie:** het reservoir heeft op deze locatie een hoge potentie. Er is een redelijke tot goede kans dat er op deze locatie een technisch en economisch haalbaar geothermieproject kan worden gerealiseerd, mits ondergrondse en bovengrondse risico's en belangen dit toe laten.
- **Redelijke potentie:** het reservoir heeft op deze locatie een redelijke potentie. Er is een kleine tot redelijke kans dat er op deze locatie een technisch en economisch haalbaar geothermieproject kan worden gerealiseerd, mits ondergrondse en bovengrondse risico's en belangen dit toe laten.
- **Weinig/geen potentie**: het reservoir heeft op deze locatie een zeer lage tot geen potentie. Het is daarmee hoogst onwaarschijnlijk dat er op deze locatie een technisch en economisch haalbaar geothermieproject kan worden gerealiseerd.

Diepe en middeldiepe vs. ondiepe geothermie
Vanwege significante verschillen in het systeemconcept en in de verwachte investeringen gaat haalbaarheid van een 'diep tot middeldiep' geothermieproject gepaard met hogere vermogens dan met een 'ondiep' geothermieproject. Daarom zijn de uiteindelijke vermogenskaarten van de ondiepe reservoirs (Formatie van Breda, Zand van Brussel Laagpakket, Formatie van Vaals en Oploo en de lokaal ondiep gelegen Nederweert Zandsteen Formatie) op een andere manier kwalitatief beoordeeld dan de dieper gelegen reservoirs (Formatie van Nieuwerkerk en de Zanden uit het Trias). Dit is bijvoorbeeld goed te zien bij de LT-potentiekaart waarbij de ondiep gelegen Formatie van Vaals en Oploo anders schalen dan de Formatie van Nieuwerkerk.

4.6 BEPALEN EN IN KAART BRENGEN VAN DE ONZEKERHEID

Bij het opstellen van de kaarten wordt ook een kwalitatieve inschatting van de onzekerheid gemaakt. Deze inschatting is gebaseerd op een drietal hoofdcriteria:

- **Gebruikte data**: We beoordelen de kwantiteit en kwaliteit van de beschikbare data. Gebieden met gedetailleerde en recente meetgegevens kennen doorgaans een lagere onzekerheid, terwijl gebieden met beperkte of verouderde data een hogere onzekerheid hebben.
- **Geologische complexiteit**: De mate van variatie in geologische structuren beïnvloedt de betrouwbaarheid van de interpretatie. Homogene gebieden geven minder onzekerheid dan gebieden met complexe structuren, breuken of sterk wisselende lithologie.
- **Gebruikte correlaties en modellen**: We analyseren welke aannames en correlaties zijn toegepast om data te extrapoleren of te interpoleren. Hoe meer het model afhankelijk is van aannames of indirecte correlaties, hoe groter de onzekerheid. Modellen die goed gevalideerd zijn met lokale data geven een hogere betrouwbaarheid.

De combinatie van deze drie factoren resulteert in een kwalitatieve beoordeling van de onzekerheid waarvoor we vier categorieën gebruiken: Onzeker, relatief onzeker, relatief zeker en zeker. Deze beoordeling wordt door middel van een arcering weergegeven op de potentiekaarten per reservoir (zie bijlages), zodat gebruikers direct inzicht hebben in de betrouwbaarheid van de informatie. In de hoofdrapportage en definitieve GIS kaarten die in de online viewer van de provincie Noord-Brabant komen te staan is de onzekerheid versimpeld tot twee categorieën: zeker en onzeker (i.e. zeker en relatief zeker wordt zeker & onzeker en relatief onzeker wordt onzeker).

5 Bijlages

Als toevoeging voor dit hoofdrapport zijn er ook tien bijlages geschreven. Deze bijlages geven verdiepende informatie over: 1) de regionale geologische geschiedenis en de verschillende aardlagen, 2) een toelichting hoe de selectie van de uitgewerkte reservoirs tot stand is gekomen, 3) de basiskaarten per reservoir en 4) de gedetailleerde resultaten per reservoir. Deze documenten dienen hoofdzakelijk als naslagwerk.

Bijlage 1: Ondergrond en regionale geschiedenis
Bijlage 2: Reservoirselectie
Bijlage 3: Basiskaarten: Diepte, temperatuur, dikte en reservoirkwaliteit
Bijlage 4-10: Kwantitatieve resultaten en kaarten per reservoir

Bijlage 1 Ondergrond

1.1 GEOLOGISCHE GESCHIEDENIS

Om een volledig beeld te krijgen van de geothermische potentie van Noord-Brabant is het belangrijk om inzicht te krijgen in de geologische opbouw en geschiedenis van de provincie. Hiermee kan een eerste beeld gevormd worden welke geologische aardlagen aanwezig zijn en welke hiervan geschikt kunnen zijn voor geothermie.

Het bovenste deel van de Nederlandse ondergrond bestaat hoofdzakelijk uit een 10 kilometer dikke laag van sedimentaire gesteenten, die zich gedurende miljoenen jaren heeft opgebouwd[7]. Deze gesteentes bestaan met name uit (versteend) zand en klei, en in mindere mate uit kalkafzettingen en evaporieten (zoals zout). Het type sediment dat op een bepaalde plek is afgezet, hangt af van de omgeving en van de klimatologische omstandigheden op dat moment. Omdat deze omstandigheden gedurende de tijd veranderden, veranderde ook het soort sediment dat werd afgezet.

De verschillende gesteentelagen zijn op te delen in geologische groepen. Deze groepen zijn weer onder te verdelen in formaties en laagpakketten. Een formatie is een pakket van sediment of gesteente met een relatief uniforme samenstelling. Dit pakket is afgezet in een specifiek afzettingsmilieu (bijvoorbeeld in een rivier, zee of moeras). Hierdoor bezit elke formatie onderscheidende eigenschappen, zoals poreusheid, permeabiliteit en korrelgrootteverdeling, die van belang zijn voor de toepassing van geothermie. De opeenvolging van verschillende formaties in de ondergrond wordt stratigrafie genoemd. De indeling van gesteentelagen in formaties en groepen maakt het mogelijk om de ondergrond systematisch te beschrijven.

Onder invloed van tektonische processen zijn door de tijd delen van het land omhooggekomen, of juist gedaald. Tijdens gebergtevorming kwam het land omhoog, wat leidde tot afbraak van gesteente in deze gebieden. Op andere plaatsen daalde de bodem, waardoor er ruimte ontstond voor de afzetting van sediment. Gedurende de geologische geschiedenis hebben hierdoor periodes van sedimentatie (de afzetting van sediment) zich afgewisseld met periodes van erosie (afbraak van gesteente). Als gevolg is de opeenvolging van formaties verschillend op verschillende plaatsen.

Door tektonische processen ontstonden structurele elementen. Een structureel element is een regionaal gebied dat een unieke geologische ontwikkeling heeft doorgemaakt met betrekking tot onder andere bodemdaling, breukvorming en opheffing. Deze geschiedenis bepaalt de aanwezigheid of afwezigheid van formaties in de ondergrond en ook de dikte en eigenschappen van deze formaties.

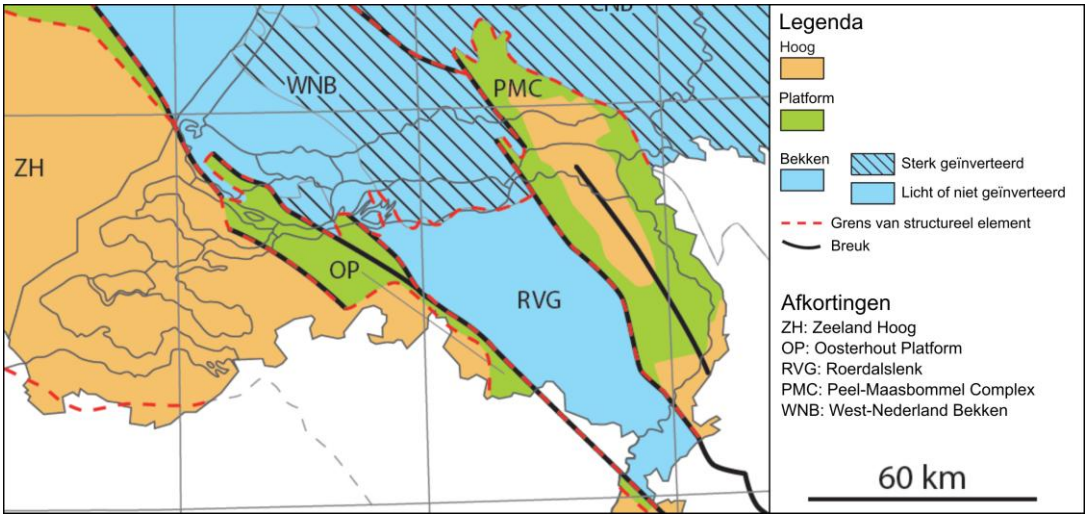
1.2 STRUCTURELE ELEMENTEN

Vanaf het begin van het Jura (circa 200 miljoen jaar geleden) begon het supercontinent Pangea uit elkaar te bewegen. Dit proces duurde miljoenen jaren waarin er meerdere fases van extensie van de aardkorst waren. De belangrijkste structurele elementen in de ondergrond van Noord-Brabant

[7] Geology of the Netherlands (ten Veen et al. 2025)

ontstonden tijdens een van deze extensie-fases in het Laat Jura en Vroeg Krijt (circa 160 - 140 miljoen jaar geleden). Er ontstonden hooggelegen gebieden, zogenaamde hogen en platforms, en laaggelegen gebieden, zogenaamde bekkens.

In Noord-Brabant zijn vier structurele elementen in de ondergrond te onderscheiden: de Roerdalslenk, het Peel-Maasbommel Complex, het Zeeland Hoog en het Oosterhout Platform (Figuur 5.1). Elk van deze gebieden heeft een eigen geologische geschiedenis meegemaakt en heeft hierdoor een andere stratigrafische opbouw. De structurele elementen worden hieronder toegelicht.



Figuur 5.1 | Kaart van de structurele elementen in Noord-Brabant, naar Kombrink et al. (2012)[8] . De verschillende kleuren en arceringen reflecteren de verschillen in geologische processen zoals gebergtevorming, bekkenvorming of inversie die de verschillende structurele elementen hebben doorgemaakt.

Roerdalslenk

Het belangrijkste structurele element in de ondergrond van Noord-Brabant is de Roerdalslenk. Dit is een NW-ZO georiënteerd bekken van circa 35 km breed en 130 km lang. De Roerdalslenk wordt begrensd door twee breuklijnen: de Peellandbreuk in het noordoosten en de Feldbissbreuk in het zuidwesten. Naar het noordwesten gaat de Roerdalslenk over in het West-Nederland Bekken. In het zuidwesten wordt de Roerdalslenk begrensd door het Zeeland Hoog en het Oosterhout Platform en in het oosten door het Peel-Maasbommel Complex.

Tijdens het Laat Krijt bewoog Afrika naar het noorden, richting Europa. Als gevolg van de toegenomen druk in de ondergrond, werd de Roerdalslenk lichtelijk geïnverteerd. Dit betekent dat de bodem omhoog kwam langs de oude breukvlakken. Doordat het gebied hoger kwam te liggen zijn de afzettingen uit het Krijt hierdoor grotendeels geërodeerd.

[8] New insights into the geological structure of the Netherlands; results of a detailed mapping project (Kombrink et al. 2012).

Vanaf het Laat-Oligoceen (circa 25 miljoen jaar geleden) werd de Roer Valley Rift System, waarvan de Roerdalslenk onderdeel is, actief[9]. Sindsdien is in het gebied sprake van bodemdaling. Dit proces is tot op heden actief en kan gepaard gaan met natuurlijke aardbevingen.

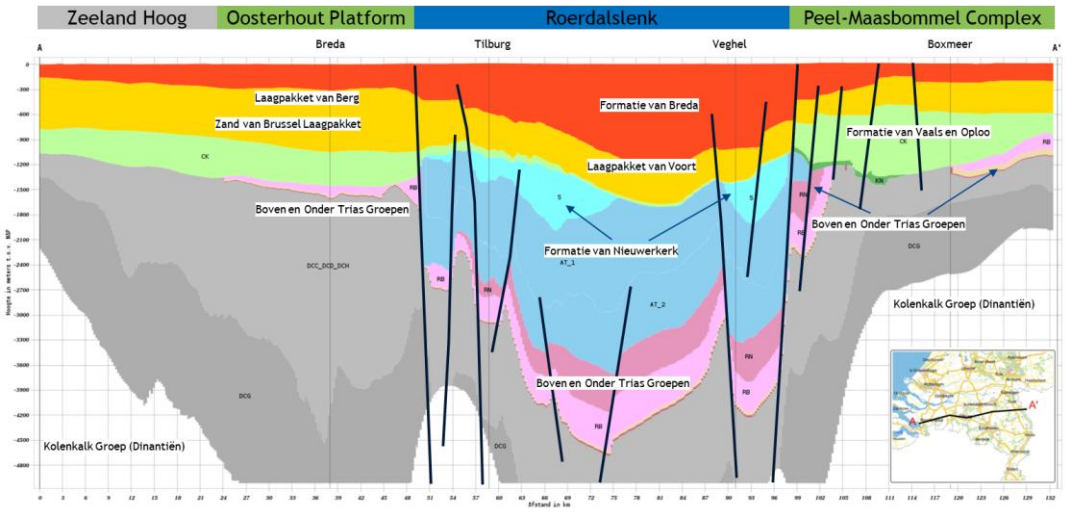
Peel-Maasbommel Complex
Het Peel-Maasbommel Complex is een noordelijke uitloper van het Rijnlands Leisteenplateau. Het complex wordt gevormd door een groep breuken die NW-ZO gericht zijn. Het complex is gelegen ten noordoosten van de Roerdalslenk.

Zeeland Hoog
Het Zeeland Hoog is voornamelijk gelegen in de provincie Zeeland. Een klein deel in het zuidwesten van Noord Brabant valt ook onder het Zeeland Hoog. Het gebied wordt gekenmerkt doordat de gesteentes van het Krijt direct op afzettingen uit het Carboon liggen. De afzettingen tussen het Carboon en het Krijt zijn geërodeerd.

Oosterhout Platform
Het Oosterhout Platform ligt tussen het Roerdalslenk, dat gelegen is ten noordoosten, en het Zeeland Hoog dat gelegen is in ten zuidwesten. Het Oosterhout Platform wordt gekenmerkt doordat de gesteentes van het Krijt direct op afzettingen uit het Trias liggen.

1.3 STRATIGRAFIE

Doordat de structurele elementen elk een eigen geologische ontwikkeling hebben doorgemaakt, hebben de structurele elementen een verschillende stratigrafische opbouw. In Figuur 5.2 is een west-oost dwarsdoorsnede weergeven van de ondergrond van Noord-Brabant. Hierin is te zien hoe de stratigrafische opbouw verschilt per structureel element.



Figuur 5.2 | *Dwarsdoorsnede door de ondergrond van Noord-Brabant. De verschillende structurele elementen staan bovenaan aangegeven. De Roerdalslenk bevat een dik pakket aan afzettingen uit het Jura (blauw). Deze afzettingen zijn in de andere delen van de provincie geërodeerd en ontbreken hierdoor. De afzettingen uit het Krijt (groen) ontbreken in de Roerdalslenk als gevolg van het omhoogkomen van het gebied. Deze afzettingen zijn juist aanwezig op de hogen en platforms. De Boven-*

[9] Stratigraphy and tectonics of the Roer Valley Graben (Geluk et al. 1994)

Noordzee Groep (rood) is in de Roerdalslenk relatief dik doordat dit gebied bodemdaling onderging ten tijde van afzetting van deze groep.

Tijdens het Laat-Jura en Vroeg-Krijt vond er erosie plaats van de hooggelegen hogen en platforms. Hierdoor ontbreken de afzettingen uit het Jura in deze gebieden. De hogen hebben de meeste erosie ondergaan, waardoor ook de afzettingen uit het Trias niet meer aanwezig zijn. Deze afzettingen zijn nog wel aanwezig op de platformen. In de Roerdalslenk zijn dikke pakketten uit het Jura bewaard gebleven. In het Laat-Krijt onderging de Roerdalslenk inversie. Hierdoor zijn de afzettingen uit het Krijt afgebroken. Deze afzettingen zijn juist wel te vinden op de hogen en platforms. In de Roerdalslenk vond vanaf het Oligoceen significante bodemdaling plaatst. Hierdoor is de Boven-Noordzee Groep die in deze tijdsperiode werd afgezet, relatief dik in de Roerdalslenk.

De geologische geschiedenis en het afzettingsmilieu van iedere formatie en laagpakket bepalen of een geologische eenheid geschikt is voor geothermie. Op voorhand is op basis van algemene kennis een selectie gemaakt van alle mogelijke potentiële reservoirs in de provincie. De formaties en laagpakketten die mogelijk potentie hebben voor geothermie zijn de volgende:

- **Boven-Noordzee Groep**: Formatie van Diessen en Groote Heide (samen Formatie van Breda)
- **Midden-Noordzee Groep**: Laagpakket van Berg en Voort
- **Onder-Noordzee Groep**: Zand van Brussel Laagpakket
- **Krijtkalk Groep**: Formatie van Vaals en Oploo
- **Schieland Groep**: Formatie van Nieuwerkerk
- **Boven Germaanse Trias Groep**: Röt Randzandsteen Laagpakket
- **Onder Germaanse Trias Groep**: Hoofd-Bontzandsteen Subgroep en de Nederweert Zandsteen Formatie
- **Kolenkalk Groep (Dinantiën):** Formatie van Zeeland

In bijlage 2 wordt beschreven welke van deze potentiële reservoirs mogelijk geschikt zijn voor het toepassen van geothermie en in detail worden uitgewerkt in deze studie.

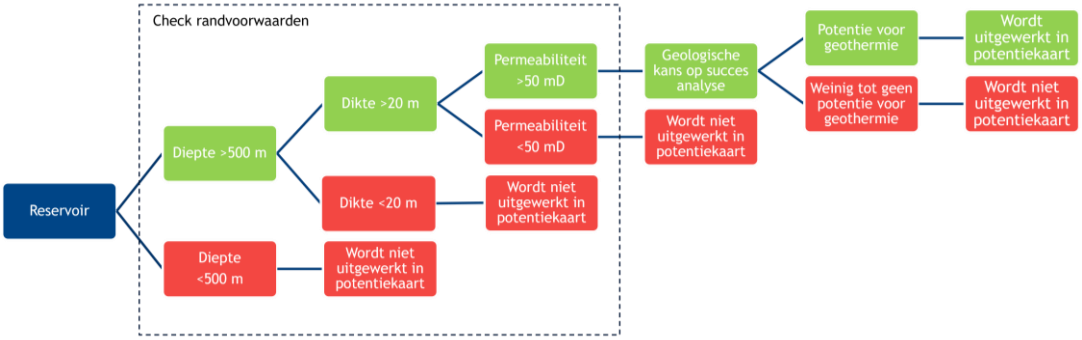
Bijlage 2 Reservoirselectie

2.1 METHODE

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

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

De methode is vertaald in een beslisboom (Figuur 5.3) welke inzicht geeft in de stappen die zijn doorlopen. Alle potentiële lagen voor geothermie zijn in eerste instantie beoordeeld op een aantal randvoorwaarden. Wanneer een laag niet voldoet aan de minimale waarden van de randvoorwaarden diepte, dikte en permeabiliteit dan is deze laag niet geschikt voor geothermie.



Figuur 5.3 | Beslisboom om te bepalen welke reservoirs potentie hebben voor geothermie en verder worden uitgewerkt in potentiekaarten.

De reservoirs die voldoen aan alle randvoorwaarden zijn vervolgens beoordeeld op basis van de geologische factoren reservoirdikte en reservoirkwaliteit gecombineerd met de zekerheid waarmee deze factoren kunnen worden ingeschat. De gecombineerde score op reservoirdikte en reservoirkwaliteit bepaalt het resultaat per reservoir (Figuur 5.4). Het resultaat geeft op basis van een globale analyse inzicht in de mate van potentie van het reservoir voor geothermie. Op basis van dit overzicht is een keuze gemaakt welke reservoirs in detail te analyseren en uit te werken in potentiekaarten.

				Geologische Kans op Succes		
				Laag	Medium	Hoog
Zekerheid	Data kwaliteit	Data kwantiteit	Hoog			
			Medium			
			Laag			

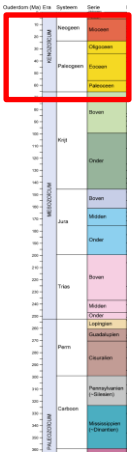
Figuur 5.4 | Resultaatmatrix geologische kans op succes analyse. Ieder reservoir is op basis van een deskundigenoordeel beoordeeld op dikte en reservoirkwaliteit. Bij reservoirkwaliteit is gekeken naar de netto-bruto verhouding (N/G) en de permeabiliteit. De gecombineerde score op dikte en reservoirkwaliteit bepaalt het resultaat per reservoir.

De beschreven stappen zijn doorlopen voor alle elf potentiële reservoirs en voor elk van de drie deelgebieden: Het Peel-Maasbommel Complex (regio oost), de Roerdalslenk en het Oosterhout Platform/Zeeland Hoog (regio west). De reden hiervoor is dat ieder deelgebied wordt gekenmerkt door zijn eigen geologische geschiedenis welke resulteert in verschillende geologische karakteristieken per reservoir per deelgebied en uiteindelijk in de mate van geschiktheid voor geothermie.

2.2 SELECTIE VAN MOGELIJK GESCHIKTE RESERVOIRS

In onderstaande paragrafen wordt per geologisch tijdvak op basis van een beknopte globale analyse een kwalitatieve beschrijving gegeven van de gesteentelagen, ook wel ‘formaties’ of ‘laagpakketten’ genoemd, die mogelijk geschikt zijn als reservoirgesteente voor geothermie. Op basis van deze observaties is bepaald of reservoirs voldoen aan de gestelde randvoorwaarden en is vervolgens een score op de geologische kans op succes toegekend om te bepalen welke reservoirs in deze studie in detail worden uitgewerkt.

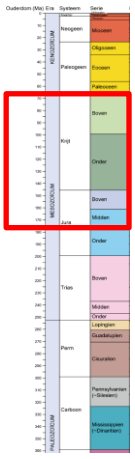
Kenozoïcum



De afzettingen uit het Kenozoïcum bestaan hoofdzakelijk uit zand, klei en silt. In de provincie Noord-Brabant bevinden zich meerdere zandpakketten die mogelijk interessant zijn voor de toepassing van geothermie: de Formatie van Breda (Formatie van Diessen en Groote Heide), het Laagpakket van Berg, het Laagpakket van Voort en het Zand van Brussel Laagpakket. Op basis van bestaande modellen lijkt de Formatie van Breda interessant als reservoir voor ondiepe geothermie (lage temperatuur) in de Roerdalslenk. Hierbij lijkt het bovenste deel van de formatie (Formatie van Diessen) kansrijker dan het onderste deel (Formatie van Groote Heide), dat veel klei bevat. Het Zand van Brussel en het Laagpakket van Berg zijn mogelijk geschikt voor ondiepe geothermie in het westen van de provincie. Het Laagpakket van Voort zou een mogelijk reservoir kunnen zijn in de Roerdalslenk, maar op basis van putdata van AST-GT-02 lijken de permeabiliteit en N/G ongunstig.

Potentieel reservoir	Eigenschappen
Formatie van Diessen	**Regio west:** te ondiep gelegen (<500 m). **Regio midden:** in gehele Roerdalslenk aanwezig. Kan op plekken zeer dik zijn (>500 m). De Fm van Diessen is relatief homogeen en heeft over het algemeen goede reservoireigenschappen zoals een hoge N/G en permeabiliteiten tussen de 200-5000 mD. **Regio oost:** te ondiep gelegen (<500 m).

Formatie van Groote Heide	**Regio west:** te ondiep gelegen (<500 m). **Regio midden:** in de gehele Roerdalslenk aanwezig. Het is een heterogeen pakket. De N/G is relatief laag. Permeabiliteiten in zandige delen kunnen goed zijn. Het pakket bevat echter in sommige putten veel klei. Onzekerheid van porositeiten en permeabiliteiten is groot door beperkte kalibratie met kernmetingen of puttesten **Regio oost:** te ondiep gelegen (<500 m).
Laagpakket van Berg	**Regio west:** relatief ondiep (top op 400 – 500 m). De dikte is in delen van dit gebied redelijk tot goed (ORO-01: 125 m, ZVB-GT: 110 m, STH-01: 51 m). Over het algemeen geldt hoe oostelijker hoe dunner. Zowel N/G en doorlatendheden (500 – 2500 mD) lijken redelijk tot goed. **Regio midden:** de dikte is beperkt en in veel putten minder dan 20 met een enkele uitschieter richting de 30 m. **Regio oost:** te ondiep en de dikte is beperkt en in veel putten minder dan 20 met een enkele uitschieter richting de 30 m.
Laagpakket van Voort	**Regio west:** in grote delen van de regio afwezig. De dikte varieert tussen 0 – 90 m. Waar aanwezig te ondiep gelegen (200 - 500 m). **Regio midden:** Aanwezig in de hele regio. Diepte tussen 700 – 1500 m. Dikte neemt af van circa 200 m in het zuidoosten tot minder dan 20 in het noordoosten vanaf de lijn Tilburg- Den Bosch. Wordt omgeschreven als kleihoudend, zeer fijn zand. Permeabiliteit en N/G zijn waarschijnlijk laag op basis van kerndata (AST-GT-02) en ThermoGIS. **Regio oost:** te ondiep gelegen (<400 m).
Zand van Brussel Laagpakket	**Regio west:** de diepte is tussen de 400 tot 800 m. De dikte is in delen van dit gebied goed (100 – 200 m). Over het algemeen geld hoe oostelijker hoe dunner. De doorlatendheden zijn redelijk tot goed (100 – 3000 mD). Zandige lagen worden gescheiden door kalk concreties (hardere lagen) wat de verticale doorlatendheid beperkt. **Regio midden:** grotendeels afwezig. Langs de westelijke rand van de RVG mogelijk wel aanwezig, maar een zeer beperkt in dikte. **Regio oost:** te ondiep gelegen (200 – 500 m).



Krijt/Jura

Het Krijt in Noord-Brabant wordt voornamelijk vertegenwoordigd door de Krijtkalk Groep. Deze groep bestaat hoofdzakelijk uit fijnkorrelige mariene carbonaatgesteenten, die ongeschikt zijn voor geothermie. Binnen de Krijtkalk Groep komen ook glauconiethoudende groenzanden voor, waarin mogelijk wel kansen liggen voor geothermie. In Noord-Brabant betreft dit de Formatie van Vaals en Oploo. Van deze formatie was vooralsnog weinig data beschikbaar. Echter, in februari 2026 zijn de eerste resultaten van de MHZ-01 boring vrij gekomen welke hebben aangetoond dat de Formatie van Vaals en Oploo bestaat uit een zeer dik zandpakket welke zeer doorlatend kunnen zijn (> 1000 mD).

De Formatie van Nieuwerkerk, bestaande uit o.a. het Delft Zandsteen Laagpakket en het Laagpakket van Alblasserdam, vormt het belangrijkste geothermische reservoir van het Jura. Het Delft Zandteen Laagpakket komt enkel in het uiterste noorden voor in de provincie Noord-Brabant (Woudrichem, Sleeuwijk en Werkendam). Het Laagpakket van Alblasserdam is aanwezig in een groter gedeelte van de ondergrond van de provincie.

Potentieel reservoir	Eigenschappen
Formatie van Vaals en Oploo	**Regio west:** afwezig **Regio midden:** afwezig **Regio oost: g**edeeltelijk aanwezig. Dikte neemt vanuit limburg toe tot meer dan 200 meter netto zand bij MHZ-01 en OPL-16. De formatie bestaat uit fijne tot grove glauconiethoudende groenzanden (MHZ-01). Richting het noordwesten gaat de zanden geleidelijk over in mergels en krijtkalken (e.g. HEE-01). Op basis van de MHZ-01 put kan met name de Formatie van Oploo een hoge doorlatendheid hebben (> 1000 mD). Daarom wordt dit reservoir als mogelijk interessant gezien als reservoir voor ondiepe geothermie.
Formatie van Nieuwerkerk	**Regio west:** niet aanwezig **Regio midden: a**anwezig in het noordwestelijk deel (tot aan Tilburg). Dikte is goed in het centrum van de Roerdalslenk (240 - 770 m) en wordt dunner aan de randen van de Roerdalslenk. Wordt omschreven als rivierafzettingen welke een opeenstapeling van zand en kleilagen vormen. Porositeit en permeabiliteit van zandlagen is goed. Echter zijn de zandlagen veelal dun (gemiddeld 3-5 m in Tilburg). N/G bepaalt de mate van connectiviteit tussen zandlagen. N/G varieert (34% LOZ-1, 50% HBV-01). Vaak is een N/G van minimaal 30% nodig om connectiviteit tussen individuele zandlagen te hebben. **Regio oost:** niet aanwezig

Trias

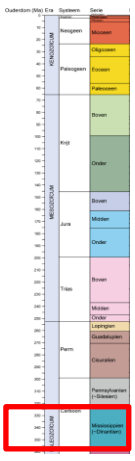


Binnen het Trias vormen de zanden uit de Boven- en Onder-Germaanse Trias Groepen (Röt Randzandsteen Laagpakket, Hoofd Bontzandsteen Subgroep en Nederweert Zandsteen Formatie) de belangrijkste reservoirs voor geothermie. In Vierpolders en Brielle wordt er ook aardwarmte uit deze lagen gewonnen. In het studiegebied liggen de geschatte dieptes van de zanden uit het Trias tussen circa 1000 – 4000 m. De diepte speelt hierbij een belangrijke rol: de dieper begraven Trias zanden hebben naar verwachting een lage potentie voor geothermie vanwege de lage doorlatendheid.

Potentieel reservoir	Eigenschappen
Röt Randzandsteen Laagpakket	**Regio west:** aanwezig in het oostelijk deel van de regio aan de rand van de Roerdalslenk. Diepte (1500 – 2500 m) en dikte (20 – 80 m) is goed. Mogelijk is het pakket uitgeloogd in dit gebied, wat een positief effect kan hebben op de permeabiliteit. Permeabiliteit is relatief hoog in STH-01 en STW-01 (100-500 mD) **Regio midden:** aanwezig in de hele regio. Grotendeels diep begraven (>3000 m) waardoor doorlatendheid waarschijnlijk laag is. Mogelijk liggen op hoger gelegen breukblokken lokaal nog kansen. Op deze breukblokken lijkt de permeabiliteit redelijk op basis van GWD-01-S1, SPC-01, VRK-01 en KDK-01 (50 – 200 mD) **Regio oost:** aanwezig aan de rand van de Roerdalslenk. Diepte (1500 – 2500 m) en dikte (20 – 80) is goed. Mogelijk is het pakket uitgeloogd in dit gebied, wat een positief effect kan hebben op de permeabiliteit. Het pakket is fijnkorreliger dan in regio west waardoor de

permeabiliteit lager ligt. Mogelijk doorlatende delen bevinden zich op basis van putgegevens (GWD-01-S1, SPC-01, VRK-01, KDK-01) voornamelijk binnen ondieper gelegen NW-ZO strekkende breukblokken (50 – 200 mD).

Hoofd-Bontzandsteen Subgroep	**Regio west:** aanwezig aan de rand van de Roerdalslenk. Diepte (1500 – 2500 m) en dikte (tot 200 m) is goed. Mogelijk is het pakket uitgeloogd in dit gebied, wat een positief effect kan hebben op de permeabiliteit. Permeabiliteit is relatief hoog (100 – 1000 mD) op basis van inschattingen van STH-01, STW-01 en HBV-01. De mogelijk doorlatende delen bevinden zich in een NW-ZO strekkende band van Bergeijk-Hilvarenbeek-Tilburg Zuid-Breda Noord-Made-Moerdijk. **Regio midden:** aanwezig in de hele regio. Grotendeels diep begraven (>3000 m) waardoor doorlatendheid zeer waarschijnlijk laag is. Mogelijk liggen op hogere gelegen breukblokken lokaal nog kansen (GWD-01-S1, SPC-01, VRK-01 en KDK-01). In het zuiden van de Roerdalslenk ligt het reservoir relatief ondiep begraven. De NDW-01 put laat zien dat het reservoir hier mogelijk doorlatend kan zijn, echter de interpretatie hiervan is zeer onzeker. **Regio oost**: aanwezig aan de rand van de Roerdalslenk. De diepte varieert tussen 700 en 2000 m. Mogelijk is het pakket uitgeloogd in dit gebied, wat een positief effect kan hebben op de permeabiliteit. De mogelijk doorlatende delen van de Hoofd Bontzandsteen Subgroep bevinden zich in dit gebied voornamelijk binnen ondieper gelegen NW-ZO strekkende breukblokken (GWD-01-S1, HSW-01-S1, VRK-01, KDK-01) en aan de NO lopende bekken rand (PMC). De eerste indicaties van de SCAN boringen HEE-01 en BLT-01 laten zien de Hoofd Bontzandsteen Subgroep marginaal is en mogelijk niet voldoende doorlatend voor de toepassing van geothermie. Wel is er mogelijk een “sweet-spot” tussen de 1000 – 1750 m diepte waar doorlatendheden hoog genoeg zijn (e.g. BLT-01) .
Nederweert Zandsteen Formatie	**Regio west:** Mogelijk aanwezig als uitloper. In enkele putten (STW-01 en STH-01) zijn zandlagen in de Rogenstein en Hoofd Kleisteen Formatie aanwezig. Dit zijn mogelijk uitlopers van de Nederweert Zandsteen Formatie. Indien doorlatend genoeg, is de Nederweert Zandsteen Formatie mogelijk ook in de regio west interessant. **Regio midden:** mogelijk te diep begraven (2500 – 4500 m) waardoor permeabiliteit laag is. Relatief dik in het zuiden (~400 m). Naar het noorden neemt de dikte sterk af tot minder dan 20 m voorbij de lijn Hilvarenbeek – Oirschot – Beek en Donk. Eerste inschatting van reservoirkwaliteit lijkt op basis van NWD-01 ongunstig. **Regio oost:** aanwezig aan de rank van de Roerdalslenk. HEE-01 laat aan de oostelijke rand een relatief lage porositeit. NVG-01 laat relatief goede eigenschappen zien. Voor de rest is er weinig data beschikbaar. Mogelijk is er een diepte interval tussen de 800 - 1750 m waarin de Nederweert Zandsteen goed is. Offshore data van de Nederweert Zandsteen op deze diepte (P11-04) laat goede doorlatendheden en porositeiten zien.



Dinantiën

Binnen het Dinantiën vormen de kalksteenlagen van de Kolenkalk Groep (Formatie van Zeeland) het belangrijkste reservoir. Dit reservoir is anders dan alle andere reservoirs besproken in dit rapport, omdat de doorlatendheid volledig secundair is en wordt gedragen door breuken, scheuren en karst (holtes / grotten) die in de steen aanwezig zijn. De porositeit van matrix is vaak lager dan 2%. In het UDG-programma is geconcludeerd dat er nog veel onbekend is over waar deze breuken, scheuren en karst aanwezig zijn en in welke mate ze lokaal de reservoirkwaliteit verbeteren. Wel is er geconcludeerd dat gebieden waar de Kolenkalk Groep relatief ondiep ligt (diepte < 4000 m) als

mogelijke kansgebieden kunnen worden aangewezen waar deze breuken, scheuren en/of karst een hogere kans hebben aanwezig te zijn.

In Californië (Limburg) en Mol (België) zijn projecten gerealiseerd in deze kansgebieden. Ook voor deze projecten is de veronderstelling dat doorlatendheden volledig worden gedragen door de aanwezigheid van breuken, scheuren en/of karst. Hoewel deze systemen hebben aangetoond dat aardwarmtewinning uit het Dinantiën mogelijk is gaan ze ook gepaard met een verhoogd risico op seismiciteit. Zo zijn de projecten in Californië stil gelegd vanwege vermeende breukreactivatie als gevolg van koud water injectie. Voor het systeem in Mol loopt er op dit moment een onderzoek naar geïnduceerde seismiciteit als gevolg van koud water injectie.

Er is nog grote onzekerheid betreffende geothermie uit de Kolenkalk Groep. Zowel Technisch, geologisch als juridisch zijn er nog veel uitdagingen. Het is daarom niet zomaar mogelijk om voor dit reservoir een inschatting te maken van potentie voor de provincie Noord-Brabant Aanbevolen wordt om de laatste ontwikkelingen vanuit de projecten in Mol en Californië af te wachten.

Potentieel reservoir	Eigenschappen
Kolenkalk Groep (Formatie van Zeeland)	**Regio west:** Volledig aanwezig. In het uiterste zuidwesten en zuiden van dit gebied ligt de Kolenkalk Groep mogelijk op een interessante diepte (1000 – 4000 m), waardoor een secundaire doorlatendheid mogelijk aanwezig is. Echter dit is zeer onzeker en op basis van huidige inzichten moeilijk te voorspellen. **Regio midden:** aanwezig in de hele regio. Grotendeels te diep begraven (> 4000 m) waardoor een secundaire doorlatendheid hoogstwaarschijnlijk afwezig is. **Regio oost:** Volledig aanwezig. In het uiterste oosten van dit gebied ligt de Kolenkalk Groep mogelijk op een interessante diepte (2000 – 4000 m), waardoor een secundaire doorlatendheid mogelijk aanwezig is. Echter dit is zeer onzeker en op basis van huidige inzichten moeilijk te voorspellen.

Resultaten check randvoorwaarden
Er zijn elf potentiële reservoirs in de drie deelgebieden beoordeeld op de randvoorwaarden volgens de beschreven methode.

Tabel 5.1 geeft een overzicht van de uitkomst of de beoordeelde potentiële reservoirs voldoen aan de randvoorwaarden in het Oosterhout Platform/Zeeland Hoog (regio West). Uit de beoordeling volgt dat vijf reservoirs afvallen omdat ze niet voldoen aan de gestelde randvoorwaarden. Deze reservoirs zijn niet aanwezig, liggen ondieper dan 500 m, hebben een dikte kleiner dan 20 m en/of zijn niet doorlatend.

Tabel 5.2 geeft een overzicht van de uitkomst of de beoordeelde potentiële reservoirs voldoen aan de randvoorwaarden in de Roerdalslenk. Uit de beoordeling volgt dat vijf reservoirs afvallen omdat ze niet voldoen aan de gestelde randvoorwaarden. Deze reservoirs zijn niet aanwezig, hebben een dikte kleiner dan 20 m en/of zijn niet doorlatend.

Tabel 5.3 geeft een overzicht van de uitkomst of de beoordeelde potentiële reservoirs voldoen aan de randvoorwaarden in het Peel-Maasbommel Complex (regio Oost). Uit de beoordeling volgt dat zes

reservoirs afvallen omdat ze niet voldoen aan de gestelde randvoorwaarden. Deze reservoirs zijn niet aanwezig, liggen ondieper dan 500 m, hebben een dikte kleiner dan 20 m en/of zijn niet doorlatend.

Tabel 5.1 | Overzicht of de beoordeelde reservoirs in het Oosterhout Platform/Zeeland Hoog (regio West) voldoen aan de randvoorwaarde diepte, dikte en permeabiliteit.

Groep	Reservoir	Check randvoorwaarden Oosterhout Platform/Zeeland Hoog			Opmerkingen
		Diepte	Dikte	Perm	
Boven-Noordzee	Fm van Diessen	✗	✓	✓	Deze formatie ligt te ondiep
	Fm van Groote Heide	✗	✓	✓	Deze formatie ligt te ondiep
Midden-Noordzee	Laagpakket van Voort	✗	✗	✓	Deze formatie is grotendeels afw ezig, te ondiep of te dun
	Laagpakket van Berg	✓	✓	✓	
Onder-Noordzee	Zand van Brussel Laagpakket	✓	✓	✓	
Krijtkalk	Fm van Vaals en Oploo	✗	✗	✗	Deze formatie is niet aanw ezig
Schieland	Laagpakket van Alblasserdam	✗	✗	✗	Deze formatie is niet aanw ezig
Boven-Germaanse Trias	Röt Randzandsteen Laagpakket	✓	✓	✓	Deze formatie is deels aanw ezig
Onder-Germaanse Trias	Hoofd-Bontzandsteen Subgroep	✓	✓	✓	Deze formatie is deels aanw ezig
	Nederweert Zandsteen Fm	✓	✓	✓	Mogelijk aanw ezig en doorlatend op ondiep gelegen breukblokken
Kolenkalk Groep	Fm van Zeeland	✓	✓	✓	Doorlatendheid is secundair en zeer onzeker. Technisch en juridisch mogelijk zeer complex

Tabel 5.2 | Overzicht of de beoordeelde reservoirs in de regio Roerdalslenk voldoen aan de randvoorwaarde diepte, dikte en permeabiliteit.

Groep	Reservoir	Check randvoorwaarden Roerdalslenk			Opmerkingen
		Diepte	Dikte	Perm	
Boven-Noordzee	Fm van Diessen	✓	✓	✓	
	Fm van Groote Heide	✓	✓	✓	
Midden-Noordzee	Laagpakket van Voort	✓	✓	✓	
	Laagpakket van Berg	✓	✗	✓	Deze formatie is te dun
Onder-Noordzee	Zand van Brussel Laagpakket	✓	✗	✓	Deze formatie is grotendeels afw ezig of te dun
Krijtkalk	Fm van Vaals en Oploo	✗	✗	✗	Deze formatie is niet aanw ezig
Schieland	Laagpakket van Alblasserdam	✓	✓	✓	
Boven-Germaanse Trias	Röt Randzandsteen Laagpakket	✓	✓	✓	
Onder-Germaanse Trias	Hoofd-Bontzandsteen Subgroep	✓	✓	✓	
	Nederweert Zandsteen Fm	✓	✓	✗	Deze formatie is in deze regio niet doorlatend
Kolenkalk Groep	Fm van Zeeland	✓	✓	✗	Deze formatie is in deze regio hoogstw aarschijnlijk niet doorlatend

Tabel 5.3 | Overzicht of de beoordeelde reservoirs in het Peel-Maasbommel Complex (regio Oost) voldoen aan de randvoorwaarde diepte, dikte en permeabiliteit.

Groep	Reservoir	Check randvoorwaarden Peel-Maasbommel Complex			Opmerkingen
		Diepte	Dikte	Perm	
Boven-Noordzee	Fm van Diessen	✗	✓	✓	Deze formatie ligt te ondiep
	Fm van Groote Heide	✗	✓	✓	Deze formatie ligt te ondiep
Midden-Noordzee	Laagpakket van Voort	✗	✓	✓	Deze formatie ligt te ondiep
	Laagpakket van Berg	✗	✗	✓	Deze formatie ligt te ondiep of is te dun
Onder-Noordzee	Zand van Brussel Laagpakket	✗	✗	✗	Deze formatie is niet aanw ezig
Krijtkalk	Fm van Vaals en Oploo	✓	✓	✓	
Schieland	Laagpakket van Alblasserdam	✗	✗	✗	Deze formatie is niet aanw ezig
Boven-Germaanse Trias	Röt Randzandsteen Laagpakket	✓	✓	✓	
Onder-Germaanse Trias	Hoofd-Bontzandsteen Subgroep	✓	✓	✓	
	Nederweert Zandsteen Fm	✓	✓	✓	
Kolenkalk Groep	Fm van Zeeland	✓	✓	✓	Doorlatendheid is secundair en zeer onzeker. Technisch en juridisch mogelijk zeer complex

De resultaten van de check op de randvoorwaarden zijn samengevat in Tabel 5.4. De reservoirs met een groen vinkje in minimaal één regio zullen worden meegenomen in de analyse naar de geologische kans op succes. Dit geldt dus voor elk van de onderzochte reservoirs.

Tabel 5.4 | Samenvattende tabel van de check op de randvoorwaarden voor de verschillende reservoirs in de provincie Noord-Brabant.

Groep	Reservoir	Samenvatting check randvoorwaarden		
		West	Midden	Oost
Boven-Noordzee	Fm van Diessen	✗	✓	✗
	Fm van Groote Heide	✗	✓	✗
Midden-Noordzee	Laagpakket van Voort	✗	✓	✗
	Laagpakket van Berg	✓	✗	✗
Onder-Noordzee	Zand van Brussel Laagpakket	✓	✗	✗
Krijtkalk	Fm van Vaals en Oploo	✗	✗	✓
Schieland	Formatie van Nieuwerkerk	✓	✓	✓
Boven-Germaanse Trias	Röt Randzandsteen Laagpakket	✓	✓	✓
Onder-Germaanse Trias	Hoofd-Bontzandsteen Subgroep	✓	✓	✓
Onder-Germaanse Trias	Nederweert Zandsteen Fm	✓	✗	✓
Kolenkalk Groep	Fm van Zeeland	✓	✗	✓

Resultaat geologische kans op succes analyse

Vanwege de regionale verschillen in geologie is de analyse met behulp van de geologische kans op succes is wederom apart voor de verschillende deelgebieden uitgevoerd.

Voor het Oosterhout Platform/Zeeland Hoog blijkt uit deze analyse (Tabel 5.5) dat vier van de zes reservoirs voldoende kans hebben om verder onderzocht te worden. Echter, het Laagpakket van Berg komt voor in gebieden waarin het Zand van Brussel ook aanwezig is en voor deze laatste worden de reservoireigenschappen beter ingeschat. Daarom is ervoor gekozen om het Laagpakket van Berg niet verder te onderzoeken in deze studie. Voor de Nederweert Zandsteen en de Formatie van Zeeland

zijn de kansen voor een geschikte reservoirkwaliteit waarschijnlijk te laag. Daarom lijken enkel het Zand van Brussel, de Röt Randzandsteen en de Hoofd-Bontzandsteen voldoende te scoren om mee te worden genomen in de detailstudie.

Tabel 5.5 | Overzicht van de subjectieve inschattingen van de geologische kans op succes van de reservoirs op het Oosterhout Platform/Zeeland Hoog. De inschattingen zijn kwalitatief van aard en zijn gevormd door een deskundigenoordeel op basis van een globale analyse.

Reservoir	Subjectieve inschatting geologische kans op succes **Oosterhout Platform/Zeeland Hoog**				
	Dikte		Reservoirkwaliteit		
	Kans op succes	Zekerheid	Kans op succes	Zekerheid	Resultaat
Laagpakket van Berg		M		M	
Zand van Brussel		H		M	
Röt Randzandsteen		M		M	
Hoofd-Bontzandsteen		H		M	
Nederweert Zandsteen		L		L	
Fm van Zeeland		H		M	

In de Roerdalslenk zijn zes potentiële reservoir verder geanalyseerd op dikte en reservoirkwaliteit (Tabel 5.6). Hieruit volgt dat het Laagpakket van Voort en in mindere mate de Fm van Groote Heide en negatieve indicaties hebben en daarmee een lagere kans op succes hebben. Voor de Formaties van Diessen, Nieuwerkerk en de Hoofdbontzandsteen is er voldoende aanleiding om deze verder in detail te analyseren. De Röt Randzandsteen wordt ondanks een lage score toch verder geanalyseerd, omdat deze zeer lokaal mogelijk toch interessant kan zijn voor geothermie.

Tabel 5.6 | Overzicht van de subjectieve inschattingen van de geologische kans op succes in de Roerdalslenk. De inschattingen zijn kwalitatief van aard en zijn gevormd door een deskundigenoordeel op basis van een globale analyse.

Reservoir	Subjectieve inschatting geologische kans op succes **Roerdalslenk**				
	Dikte		Reservoirkwaliteit		
	Kans op succes	Zekerheid	Kans op succes	Zekerheid	Resultaat
Fm van Diessen		H		L	
Fm van Groote Heide		H		L	
Laagpakket van Voort		M		L	
Fm van Nieuwerkerk		H		L	
Röt Randzandsteen		H		L	
Hoofd Bontzandsteen		H		L	

Voor het Peel-Maasbommel Complex is voor vijf reservoirs verder gekeken naar dikte en reservoirkwaliteit (Tabel 5.7). Ondanks de lage kans op succes scores is er toch besloten de Trias zanden verder te onderzoeken. Dit is met name ingegeven doordat er weinig alternatieven zijn en de onzekerheid van de beoordeling groot is. Ook het feit dat er gedurende het project informatie beschikbaar zou komen over de Trias zanden uit de SCAN-boring HEE-01 en MHZ-01 was een reden om deze reservoirs verder te onderzoeken. Voor de Formatie van Vaals en Oploo lijken er op basis van de eerste inschattingen uit MHZ-01 kansen een goede reservoirkwaliteit voor een redelijk groot deel van het gebied. Voor de Formatie van Zeeland is de kans voor een geschikte reservoirkwaliteit waarschijnlijk te laag. Daarom worden in de regio oost enkel de Trias reservoirs en de Formatie van Vaals en Oploo in detail geanalyseerd.

Tabel 5.7 | Overzicht van de subjectieve inschattingen van de geologische kans op succes in het Peel-Maasbommel Complex. De inschattingen zijn kwalitatief van aard en zijn gevormd door een deskundigenoordeel op basis van een globale analyse.

Reservoir	Subjectieve inschatting geologische kans op succes **Peel-Maasbommel Complex**				
	Dikte		Reservoirkwaliteit		
	Kans op succes	Zekerheid	Kans op succes	Zekerheid	Resultaat
Fm van Vaals en Oploo		H		M	
Röt Randzandsteen		M		M	
Hoofd Bontzandsteen		H		M	
Nederweert Zandsteen		M		L	
Fm van Zeeland		H		M	

Conclusie reservoirselectie

De globale analyse van alle mogelijke reservoirs heeft geresulteerd in een selectie van reservoirs waarvan wordt ingeschat dat deze potentie voor geothermie kunnen hebben. De geselecteerde reservoirs die in deze studie in meer detail worden geanalyseerd en worden uitgewerkt in kaarten zijn (Tabel 5.8):

- Formatie van Breda (Formatie van Diessen en Groote Heide vallen hieronder)
- Zand van Brussel Laagpakket
- Formatie van Vaals en Oploo
- Formatie van Nieuwerkerk
- Röt Randzandsteen Laagpakket
- Hoofd-Bontzandsteen Subgroep
- Nederweert-Zandsteen Formatie

De detailanalyse per reservoir zal niet meer apart voor de verschillende regiogebieden (west, midden en oost) worden uitgevoerd, wat betekend dat we waar mogelijk op provinciale schaal en vlak dekkend zullen werken (e.g. de Nederweert Zandsteen Formatie wordt ook in de regio west onderzocht.

Tabel 5.8 | Samenvattende tabel van de geologische kans op succes analyse voor de verschillende reservoirs in de provincie Noord-Brabant. Er is besloten om de Fm van Groote Heide toch mee te nemen omdat deze een onderdeel vormt van de Formatie van Breda welke sowieso al wordt onderzocht (Fm van Diessen).

Groep	Reservoir	Samenvatting GPOS			
		West	Midden	Oost	Meenemen?
Boven-Noordzee	Fm van Diessen (Fm van Breda)				✓
	Fm van Groote Heide (Fm van Breda)				✓
Midden-Noordzee	Laagpakket van Voort				✗
	Laagpakket van Berg				✗
Onder-Noordzee	Zand van Brussel Laagpakket				✓
Krijtkalk	Fm van Vaals en Oploo				✓
Schieland	Formatie van Nieuwerkerk				✓
Boven-Germaanse Trias	Röt Randzandsteen Laagpakket				✓
Onder-Germaanse Trias	Hoofd-Bontzandsteen Subgroep				✓
Onder-Germaanse Trias	Nederweert Zandsteen Fm				✓
Kolenkalk Groep	Fm van Zeeland				✗

Bijlage 3 Basiskaarten per reservoir

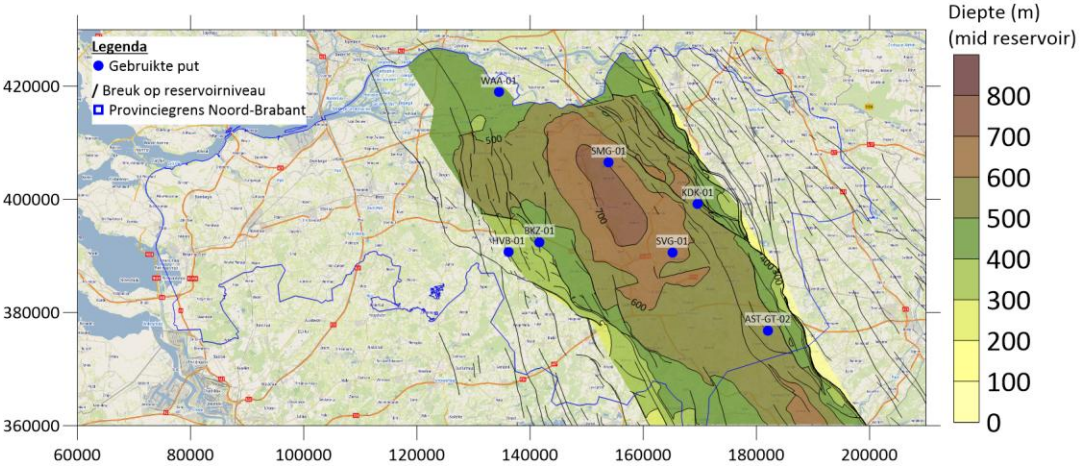
In deze bijlage staan de belangrijkste basiskaarten uit detailanalyse per reservoir weergegeven. Dit zijn de:

- Dieptekaart
- Temperatuurkaart
- Diktekaart
- Reservoirkwaliteitskaart

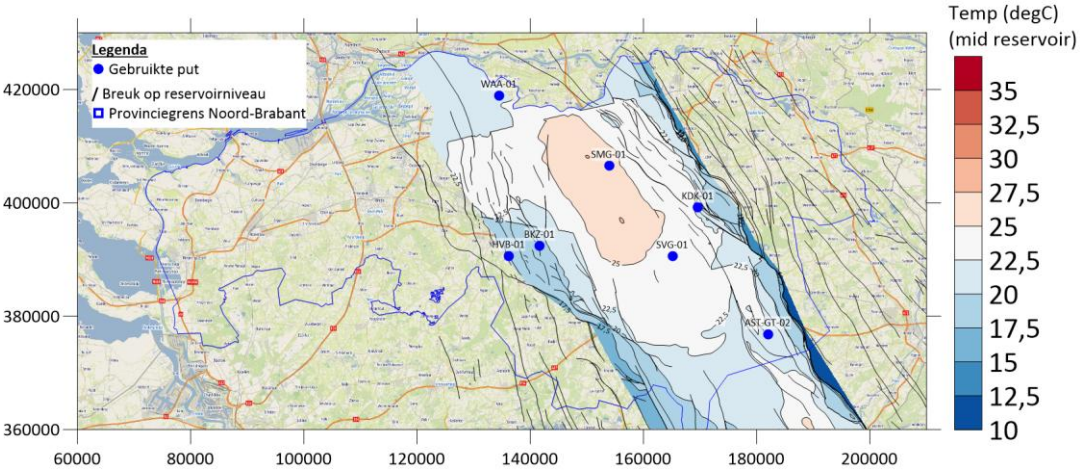
Voor de Kolenkalk Groep wordt enkel een kaart met interessante gebieden getoond. Voor meer informatie over de kaarten, zie bijlages 4 t/m 10.

3.1 FORMATIE VAN BREDA

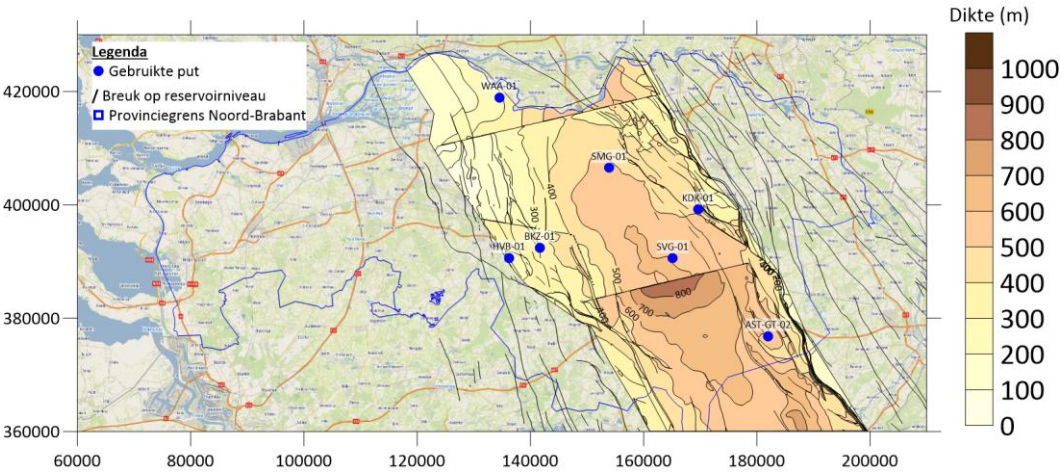
Diepte (mid reservoir)



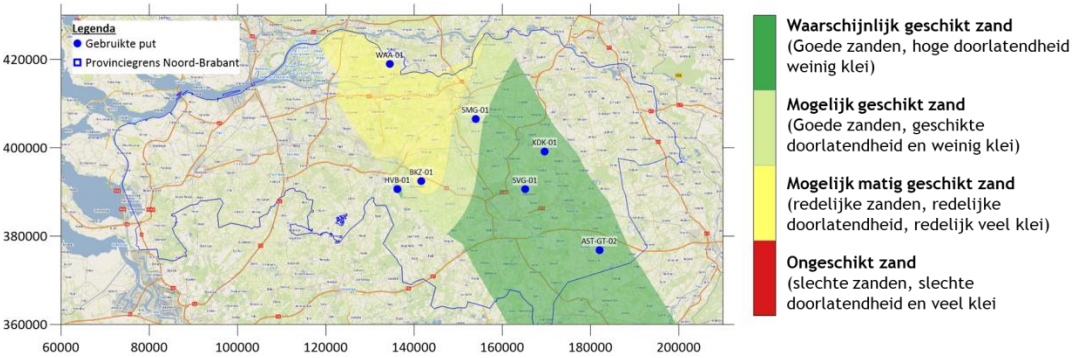
Temperatuur (mid reservoir)



Bruto dikte

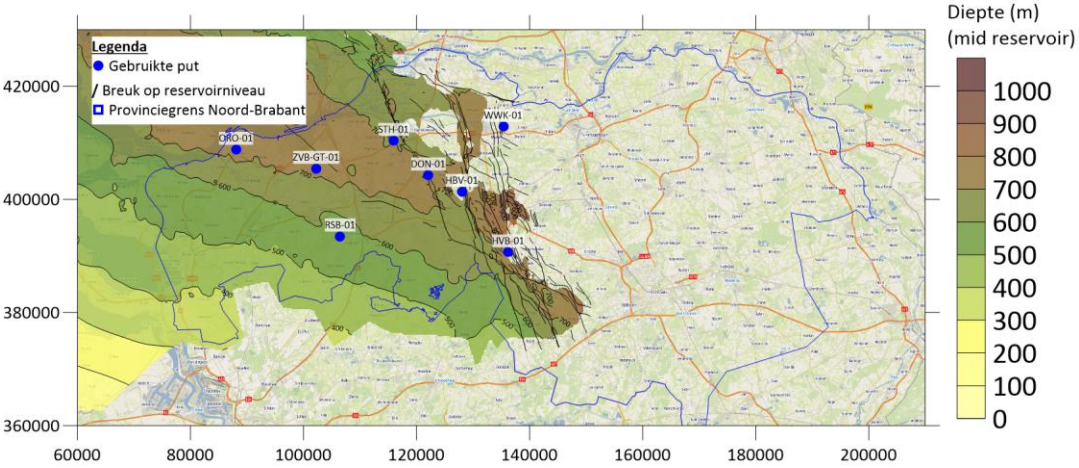


Reservoirkwaliteit

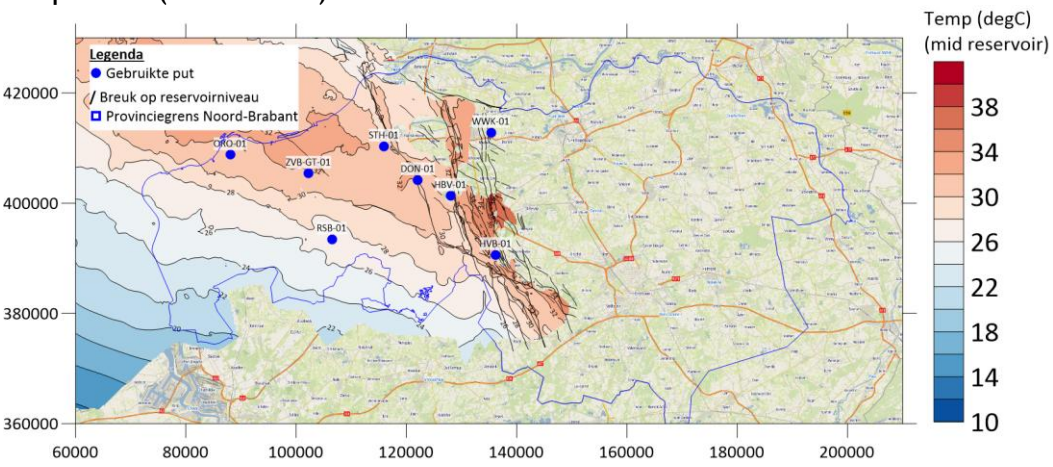


3.2 ZAND VAN BRUSSEL LAAGPAKKET

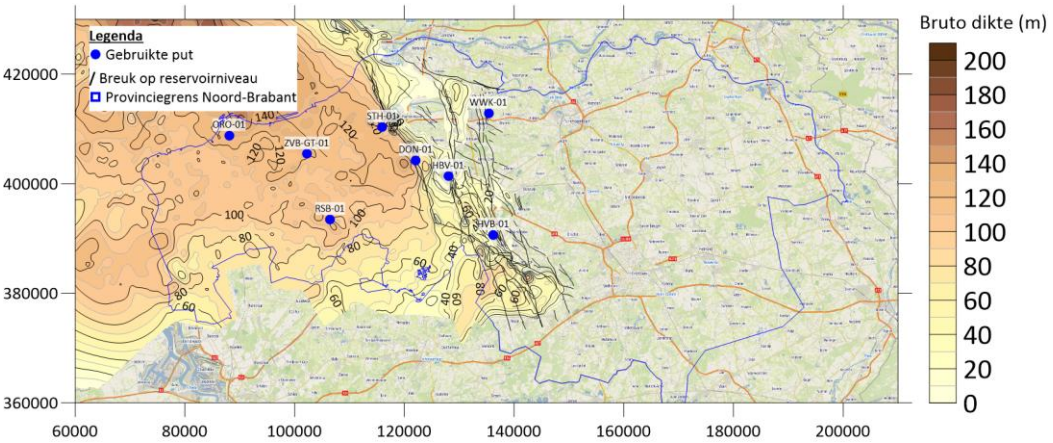
Diepte (mid reservoir)



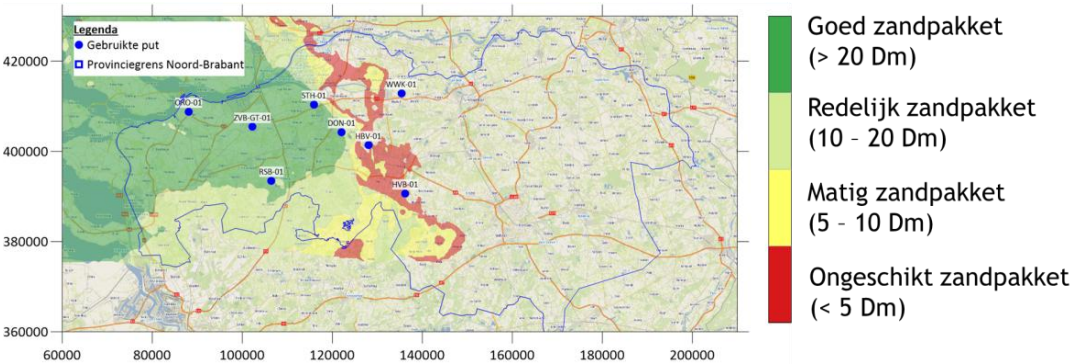
Temperatuur (mid reservoir)



Bruto dikte

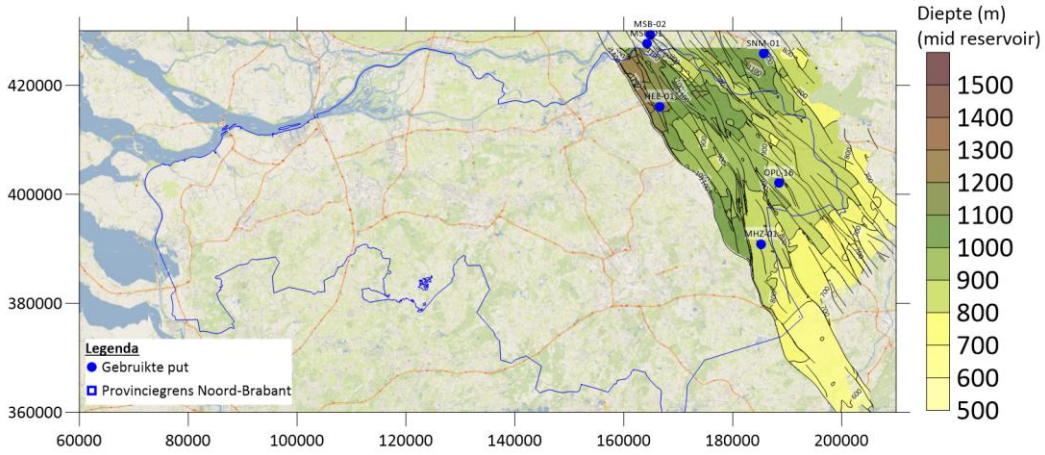


Reservoirkwaliteit

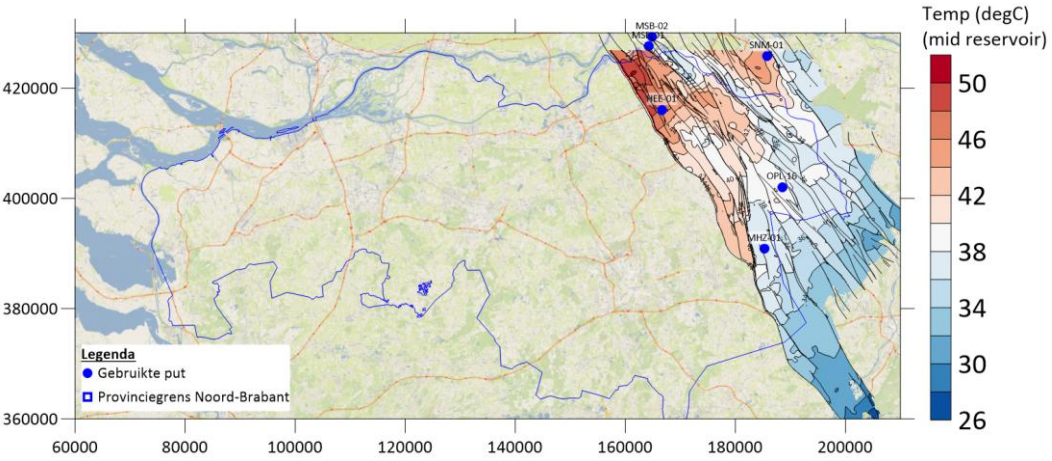


3.3 FORMATIE VAALS EN OPLOO

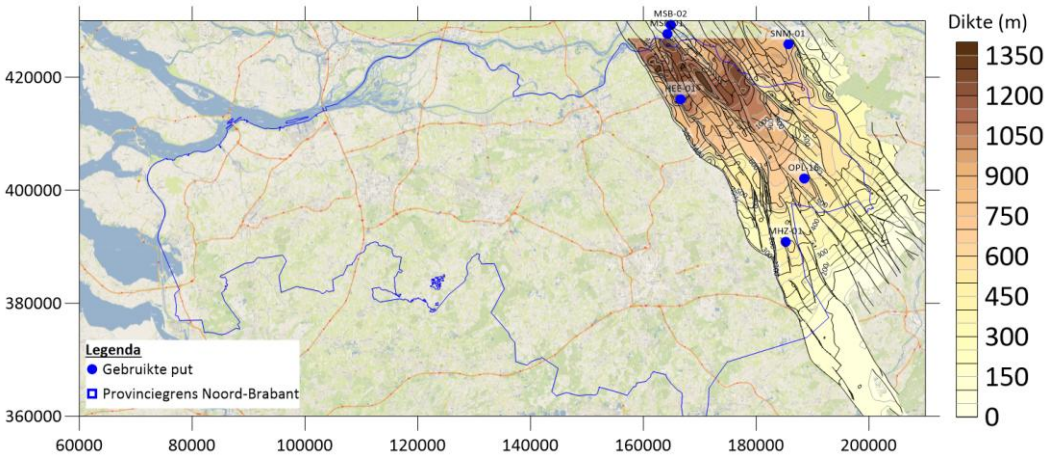
Diepte (mid reservoir)



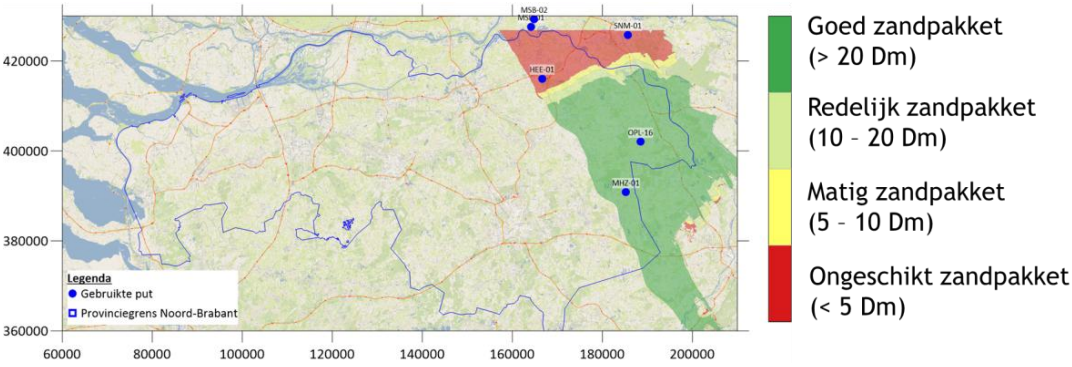
Temperatuur (mid reservoir)



Bruto dikte

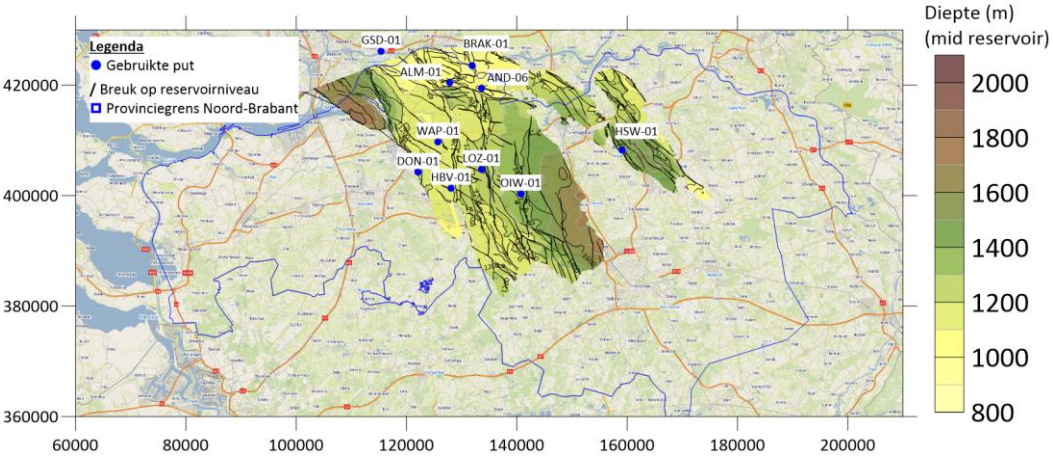


Reservoirkwaliteit

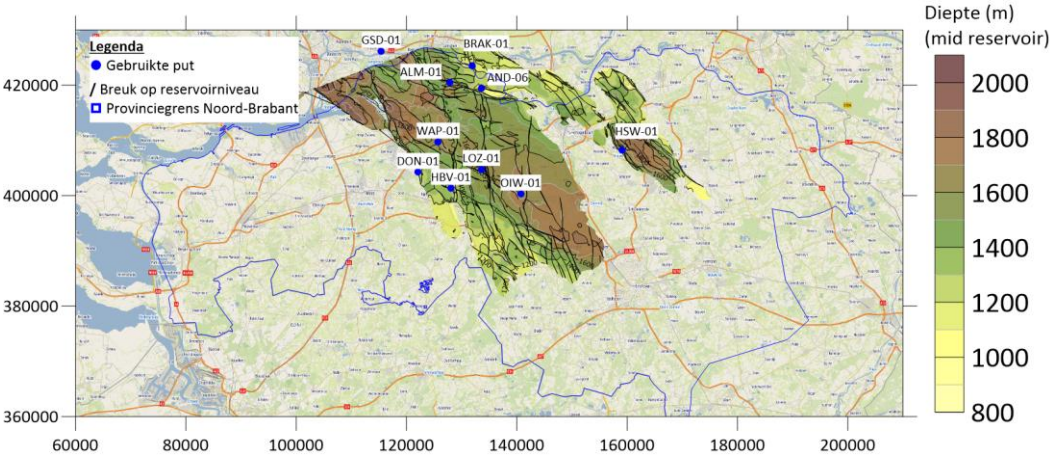


3.4 FORMATIE VAN NIEUWERKERK

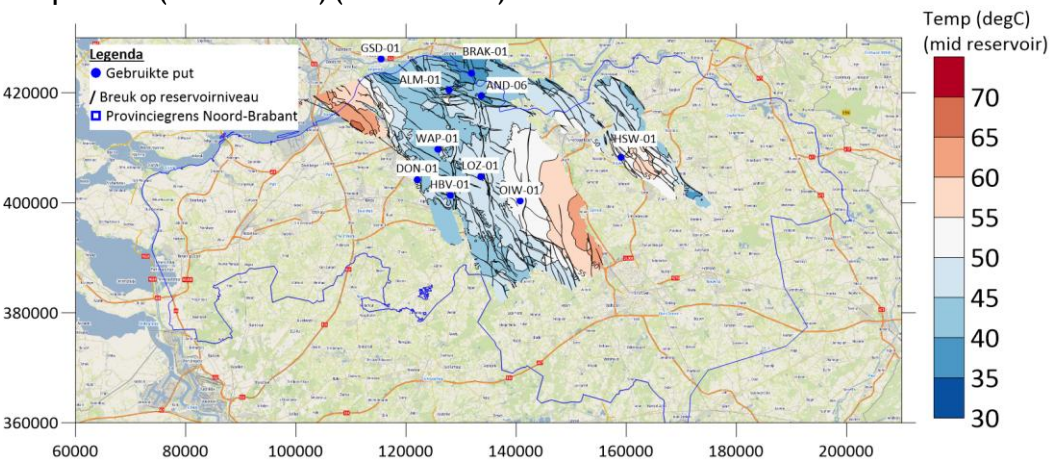
Diepte (mid reservoir) (bovenste 50%)



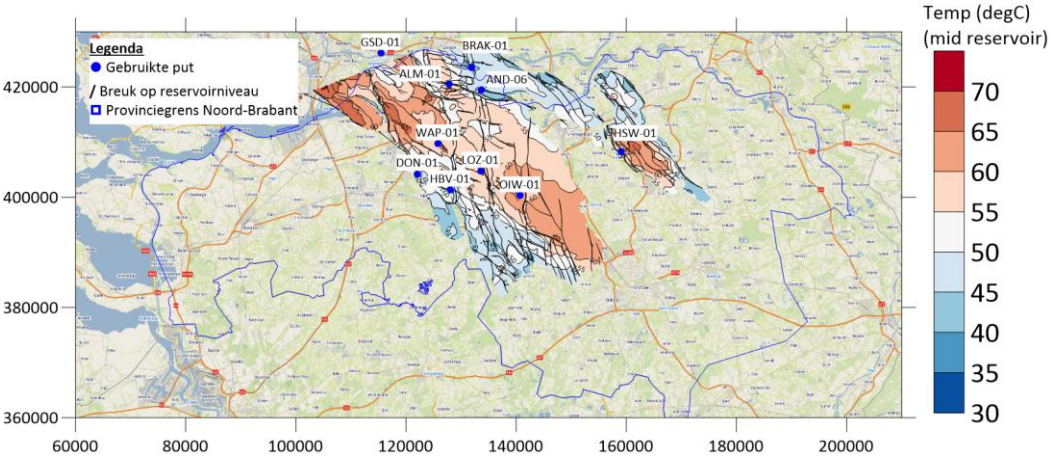
Diepte (mid reservoir) (onderste 50%)



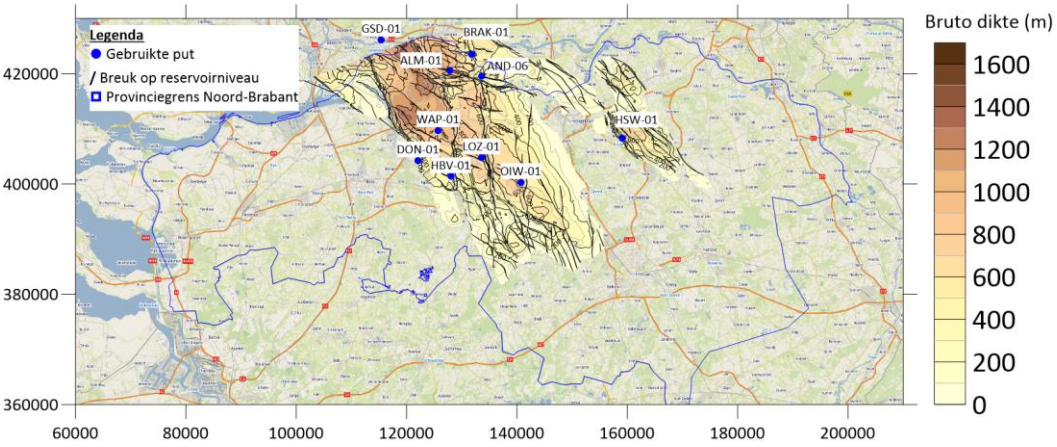
Temperatuur (mid reservoir) (bovenste 50%)



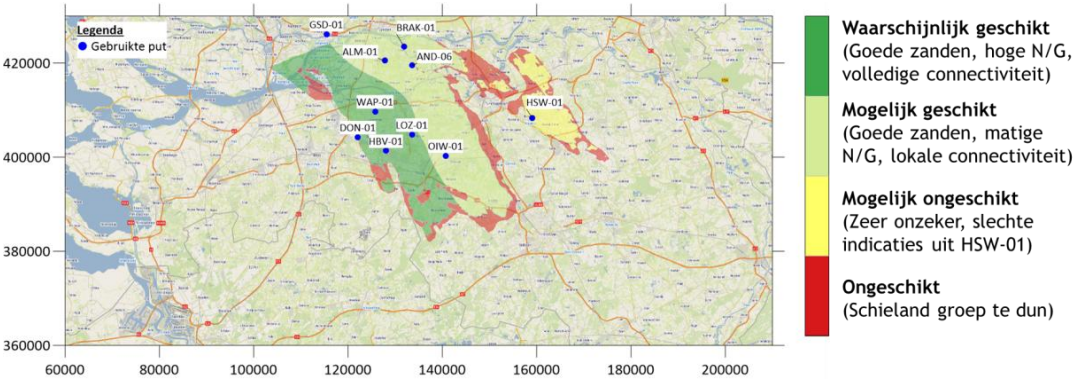
Temperatuur (mid reservoir) (onderste 50%)



Bruto dikte

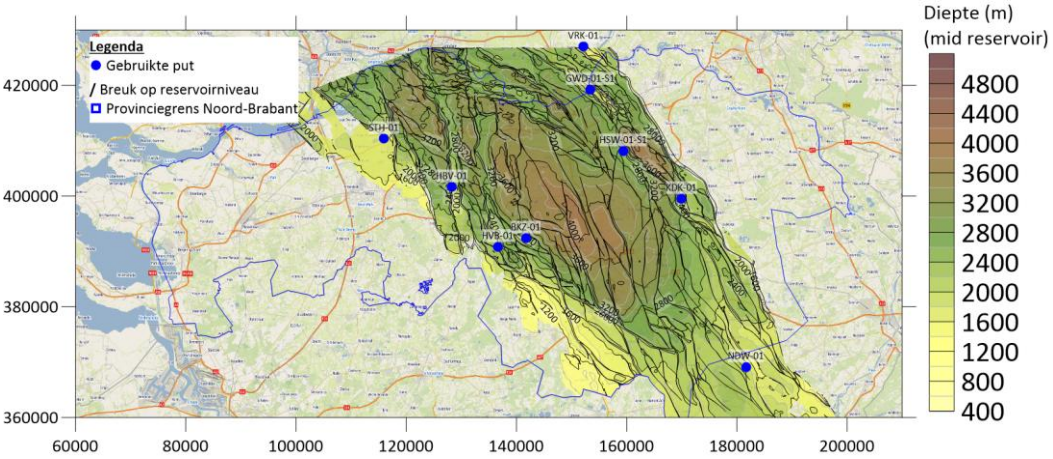


Reservoirkwaliteit

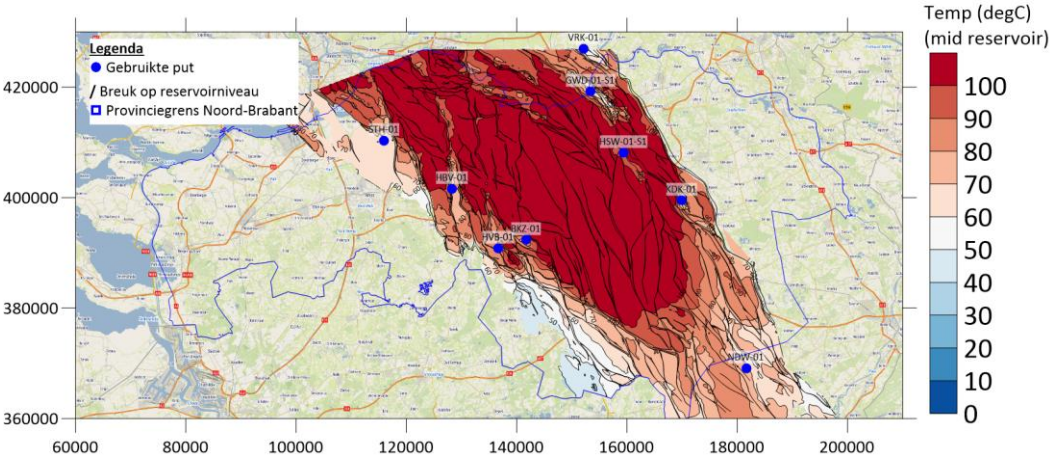


3.5 RÖT RANDZANDSTEEN LAAGPAKKET

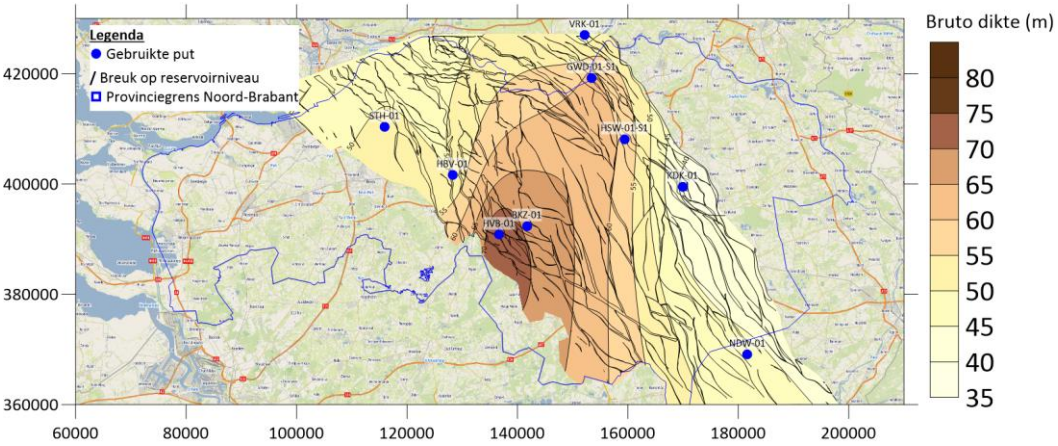
Diepte (mid reservoir)



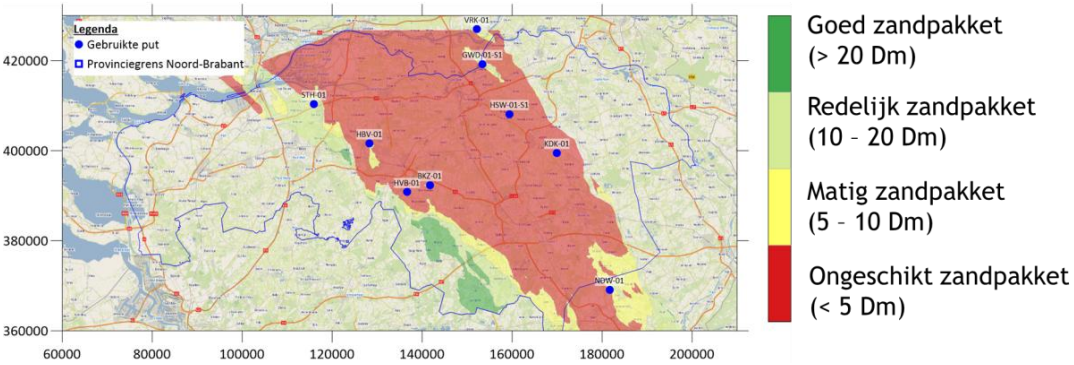
Temperatuur (mid reservoir)



Bruto dikte

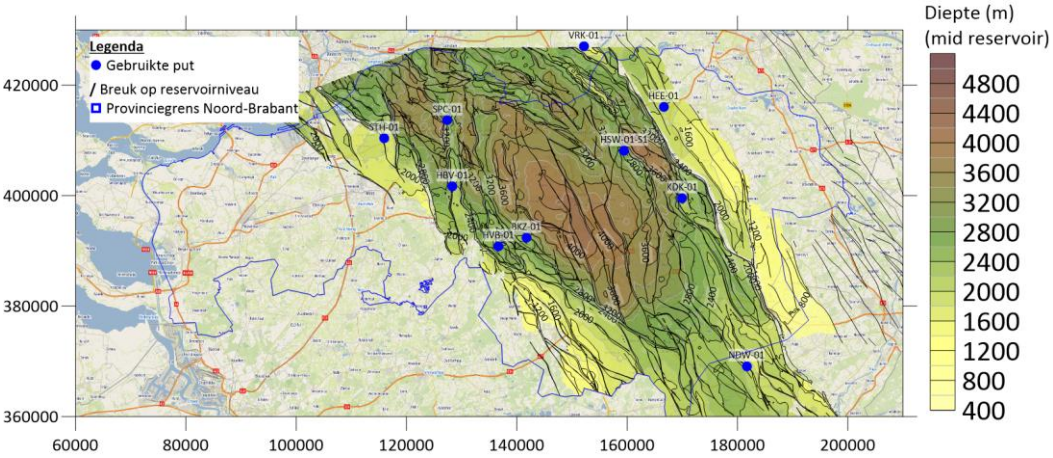


Reservoirkwaliteit

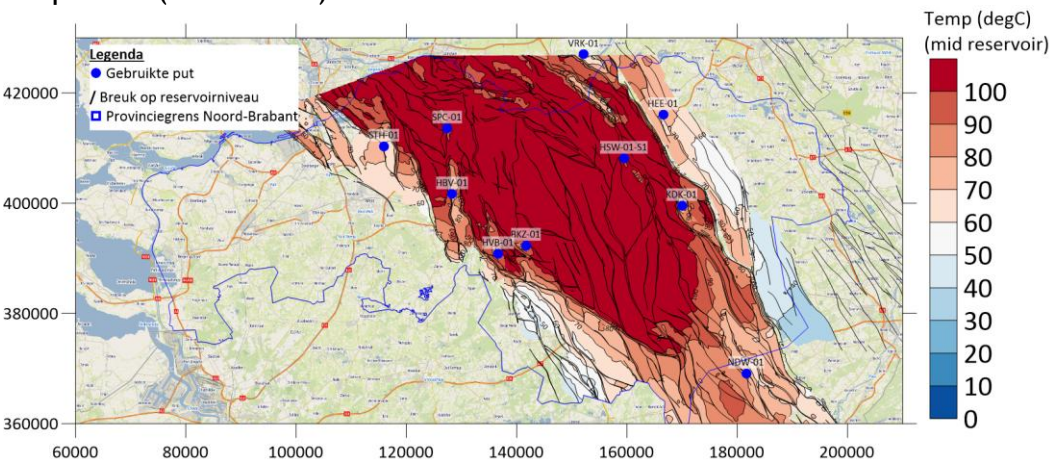


3.6 HOOFD-BONTZANDSTEEN SUBGROEP

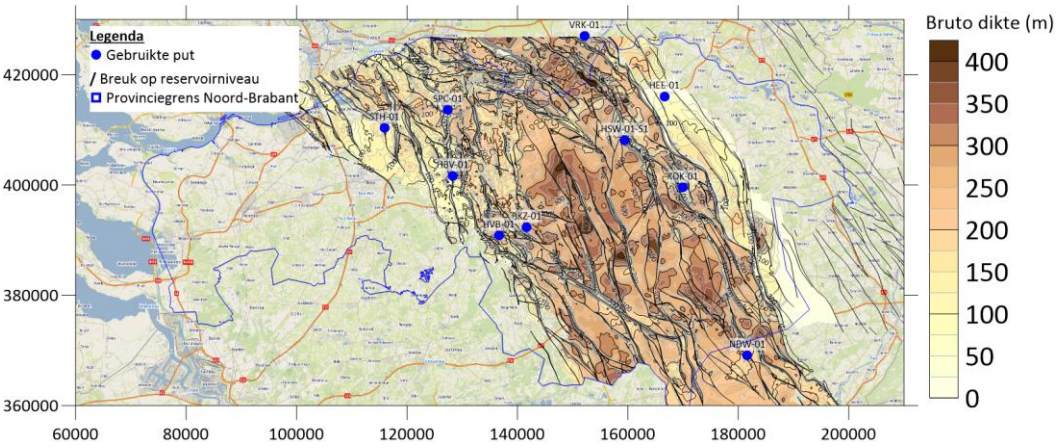
Diepte (mid reservoir)



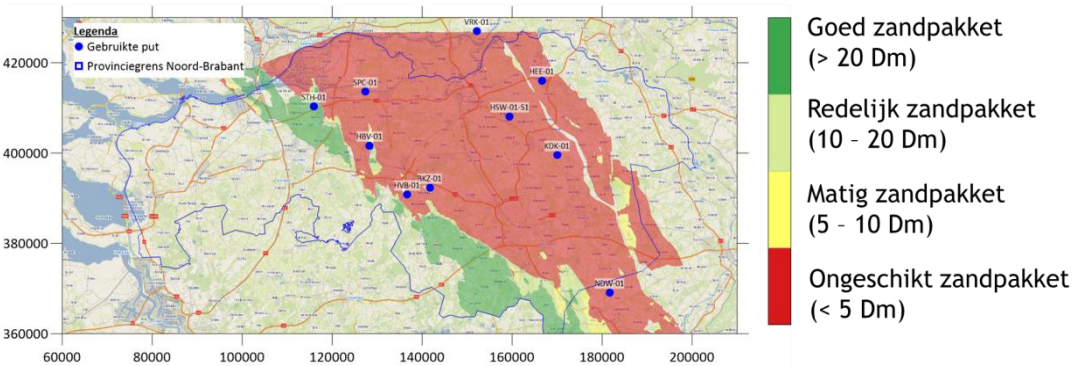
Temperatuur (mid reservoir)



Bruto dikte

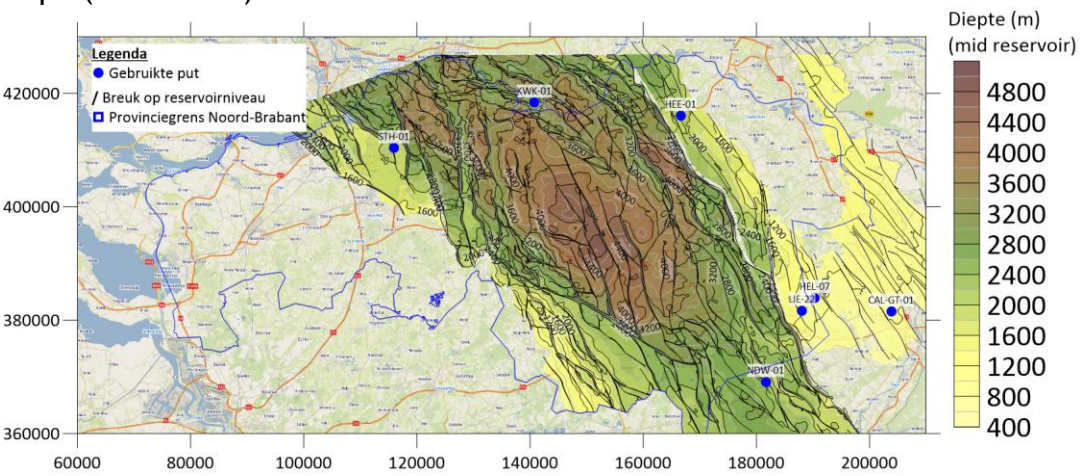


Reservoirkwaliteit

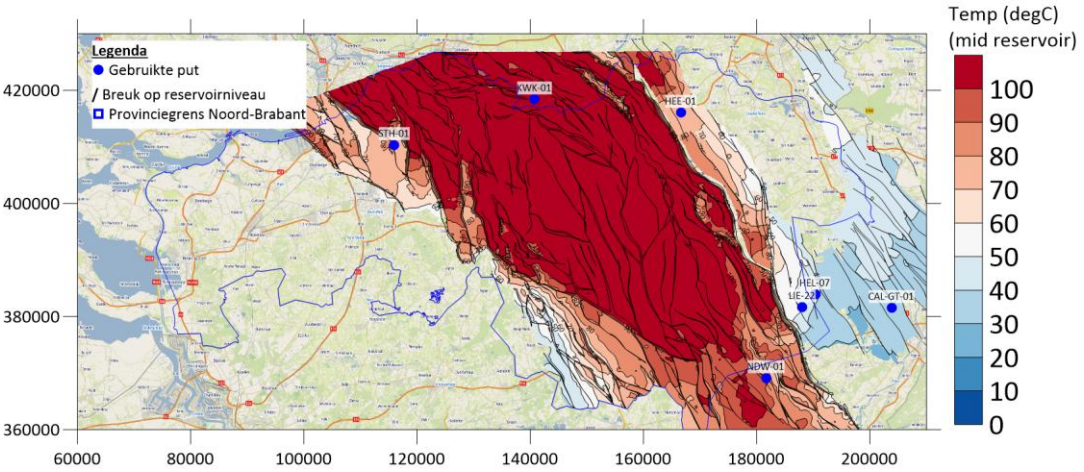


3.7 NEDERWEERT ZANDSTEEN FORMATIE

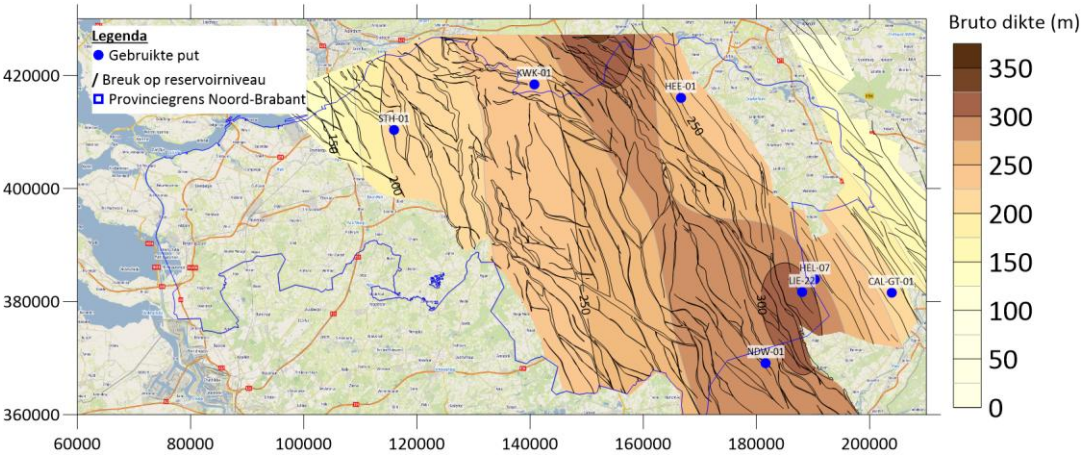
Diepte (mid reservoir)



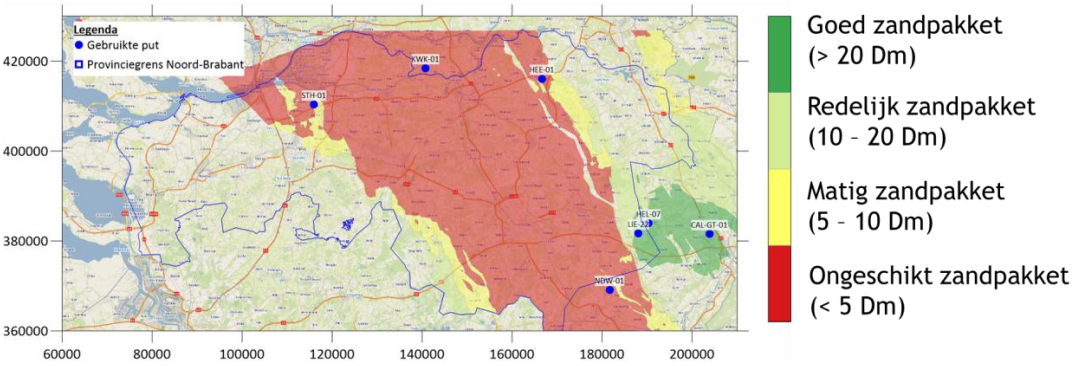
Temperatuur (mid reservoir)



Bruto dikte

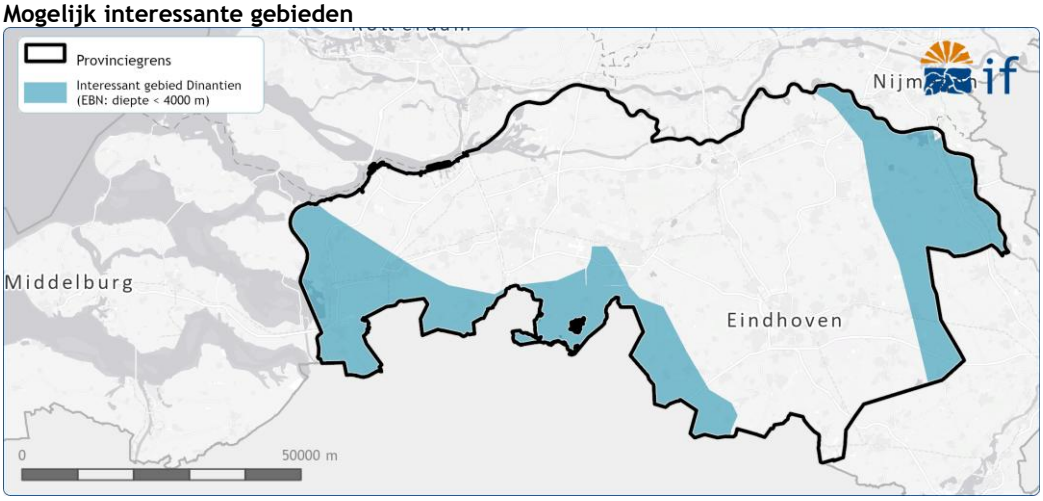


Reservoirkwaliteit



3.8 DINANTIEN

Mogelijk interessante gebieden



Bijlage 4 Formatie van Breda

In deze bijlage beschrijven we beknopt de belangrijkste stappen, uitgevoerde analyses en interpretaties van de Formatie van Breda. Ook zijn in deze bijlage relevante resultaten en tussenkaarten te vinden. Deze bijlage kan op zichzelf worden gelezen maar dient hoofdzakelijk als technische ondersteuning van de hoofdrapportage.

4.1 GEOLOGISCHE BESCHRIJVING FORMATIE VAN BREDA

De hieronder beschreven regionale geologie is overgenomen uit het artikel “Miocene sequences and depocentres in the Roer Valley Rift System” uit 2024[10].

De Breda Formatie bestaat uit zeer tot matig fijne, glauconitische zanden die afwisselend silt of klei bevatten en kleilagen die gedurende het Mioceen in de Roerdalslenk zijn afgezet. De dikte van de Formatie is sterk afhankelijk van de tektonische daling in het gebied: in het zuiden van de Roerdalslenk kan de Breda Formatie tot wel 800 m dik zijn, terwijl deze Formatie richting de paleo-hogen ten westen of ten oosten van de Roerdalslenk (Peelhorst en Brabant-Massief) veel dunner is of zelfs ontbreekt.

De Breda Formatie kan worden opgedeeld in twee delen:

- Groote Heide Formatie (onderste deel)
- Diessen Formatie (bovenste deel)

Groote Heide Formatie

De Groote Heide Formatie is afgezet gedurende het Midden-Mioceen en vormt het onderste deel van de Breda Formatie. De dikte van de Groote Heide Formatie varieert sterk van 0 tot 400 m dikte door verschillen in tektonische daling. De Formatie is aanwezig over de hele Roerdalslenk en varieert hier in dikte van circa 150 m in het noordwesten van de Roerdalslenk naar 400 m in het zuidoosten. Op de Peelhorst en het Brabant-Massief is de Groote Heide Formatie meestal dunner dan 100 meter en in sommige gebieden helemaal afwezig (zie Figuur 5.5.d). De samenstelling bestaat voornamelijk uit glauconietrijk zand, variërend van zeer fijn tot zeer grof, afgewisseld met lagen klei en silt.

De sedimenten van de Groote Heiden zijn afgezet in een ondiepe zee en in een kustgebied. Omdat de omstandigheden steeds wat veranderden, vind je in deze Formatie zowel heel fijn zand als heel grof zand. De opeenvolging van grover en fijner zand in de lagen laat zien dat er meerdere transgressies en regressies hebben plaatsgevonden.

In het zuiden van de Roerdalslenk kan de Groote Heide Formatie worden opgesplitst in meerdere laagpakketten, terwijl in het noorden maar één laagpakket voorkomt. Dit komt doordat het afzettingsmilieu in het noorden constanter was in vergelijking met het zuiden. In het noorden zijn de sedimenten afgezet in een ondiepe zee. Ze bestaan uit glauconietrijk zand, dat kan variëren van

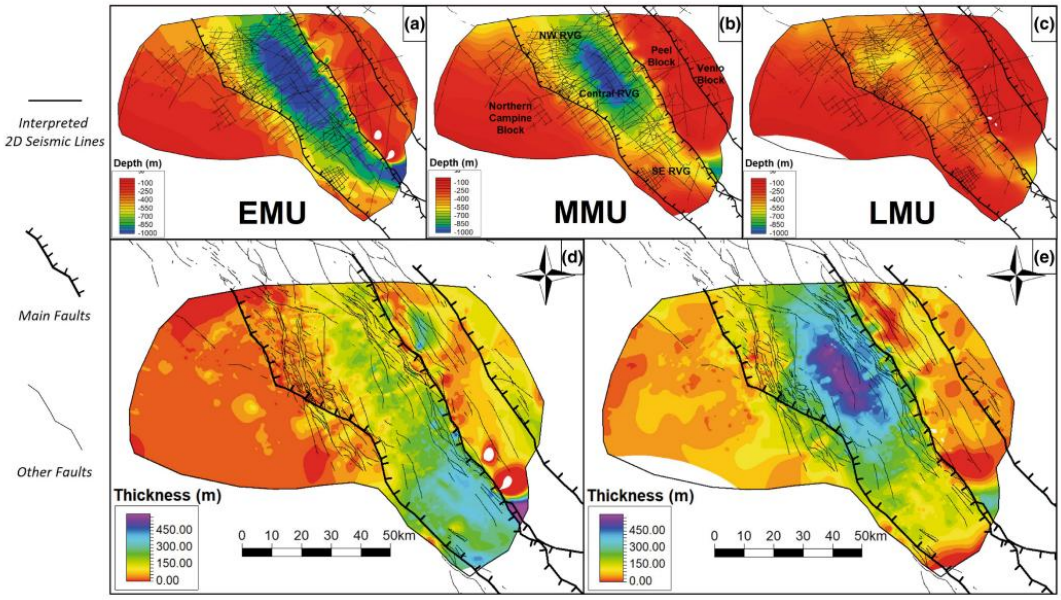
[10] Siebels, A., ten Veen, J., Munsterman, D., Deckers, J., Kasse, C., & van Balen, R. (2024). Miocene sequences and depocentres in the Roer Valley Rift System. Basin Research, 36(4), 1–33. https://doi.org/10.1111/bre.12886.

fijn tot grof, soms met wat silt of klei. Naar het zuiden toe vind je ook sedimenten die langs de kust zijn afgezet. Daardoor is daar meer variatie in het type sediment.

Diessen Formatie

De Diessen Formatie is afgezet in het Laat-Mioceen en ligt bovenop de Groote Heide Formatie. Tussen deze twee Formaties heeft erosie plaatsgevonden en deze overgang wordt aangeduid met de Midden-Mioceen Nonconformiteit. De dikte van de Diessen Formatie kan tot 500 m zijn in het noorden van de Roerdalslenk en dunt richting het zuidoosten uit (zie Figuur 5.5.e). De overgang van de Groote Heiden Formatie naar de Diessen Formatie wordt gekenmerkt door de lagere hoeveelheden glauconiet in de Diessen Formatie.

De Diessen Formatie kan worden onderverdeeld in vier verschillende laagpakketten, Diessen-A, Diessen-B, Diessen-C en Diessen-D. Deze laagpakketten geven variaties weer in het afzettingsmilieu van ondiepe zee tot estuaria. Deze wisselende omstandigheden hebben geleid tot verschillen in korrelgrootte van het zand en in het kleigehalte. Niet alle laagpakketten worden over de hele Roerdalslenk gevonden. Alleen langs de Veldhovenbreuk, op de overgang tussen het Brabant-Massief en de Roerdalslenk, is het ondiepste laagpakket, Diessen-D aangetroffen. Deze laag bevat meer klei, wat waarschijnlijk het gevolg is van een transgressie.

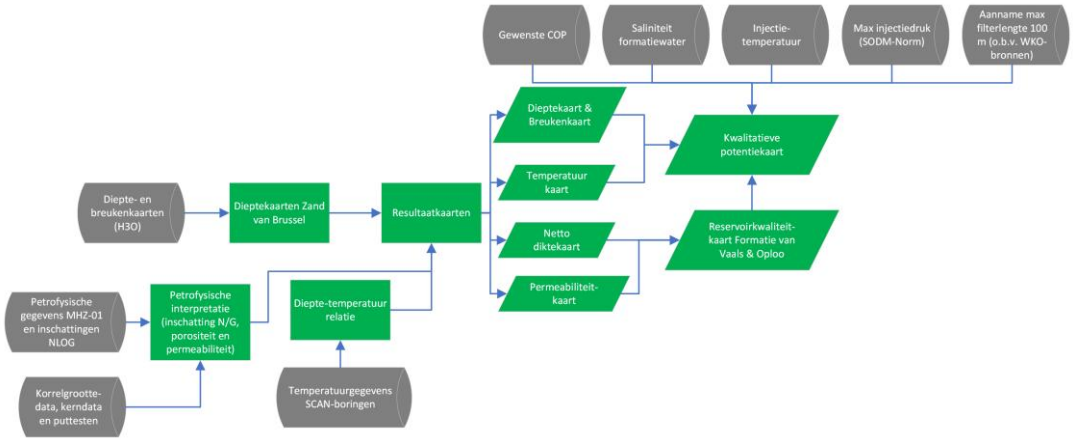


Figuur 5.5 | Diepte van het Vroeg-Mioceen (a), Midden-Mioceen (b) en Laat-Mioceen Nonconformiteit (c) en de dikte van De Groote Heide Formatie (d) en de Diessen Formatie (e) naar (Siebels et al., 2024).

4.2 GEHANTEERDE WERKWIJZE

Voor het maken van de kwalitatieve kaarten van de Formatie van Breda zijn de volgende stappen gehanteerd:

1 Samenvoegen van de diepte- en breukenkaarten van de Formatie van Breda uit verschillende H3O projecten en het DGM-model.
2 Vaststellen interpretatiegebied op basis van H3O dieptekaart Basis Formatie van Breda. Hierin is aangenomen dat de basis dieper moet liggen dan 500 m.
3 Inventarisatie van inputgegevens voor de petrofysische interpretatie, denk hierbij aan:
    - Gemiddelde korrelgroottes (d50) van ondiepe/diepe boringen (Dinoloket en NLOG).
    - Petrofysische logdata en temperatuurlog data voor verschillende putten binnen het interpretatiegebied (e.g. SCAN-Boring SVG-01).
4 Petrofysische interpretatie van putten met voldoende logs binnen het interpretatiegebied.
    - De volgende putten zijn petrofysisch geïnterpreteerd: WAA-01, KDK-01, SMG-01, HVB-01, BKZ-01, AST-GT-02.
    - Voor het omrekenen van de porositeit naar permeabiliteit zijn de d50 korrelgroottes in combinatie met het Van Baaren 1979 model gebuikt (Veldkamp et al., 2022).
5 Opstellen van verschillende temperatuur-diepte relaties met behulp van temperatuurlog data (logs zijn gecorrigeerd met Schumacher & Moeck, 2020). Vanwege influx van zoetwater kan de temperatuurgradiënt in de Formatie van Breda sterk variëren binnen het interpretatiegebied. Daarom zijn er aan de hand van meerdere datapunten verschillende relaties opgesteld, welke vervolgens zijn geïnterpoleerd.
6 Maken van de kwantitatieve resultaatkaarten zoals: diepte mid-reservoir, temperatuur mid-reservoir, bruto dikte, netto/bruto (N/G) verhouding en permeabiliteit.
7 Maken van de reservoirkwaliteitskaart op basis van de permeabiliteit- en N/G-kaart.
8 Maken van de kwalitatieve potentiekaart op basis van de kwantitatieve kaarten, reservoirkwaliteitskaart en operationele uitgangspunten en een inhouse python model.

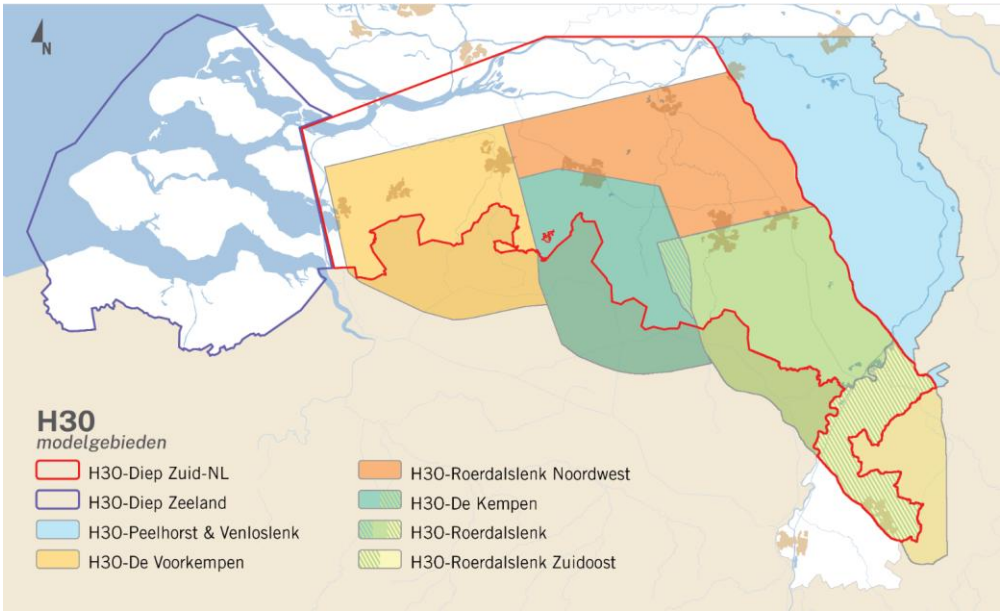


Figuur 5.6 | Gehanteerde werkwijze voor de Formatie van Breda.

4.3 INPUT GEGEVENS

H3O kaarten en DGM modellen
Om de Formatie van Breda in de provincie Noord-Brabant volledig in kaart te brengen zijn kaarten gebruikt uit verschillende H3O studies en uit het DGM model gebruikt, namelijk:

- H3O-De Voorkempen
- H3O-Peelhorst en Venloslenk
- H3O-Roerdalslenk Noordwest
- H3O-De Kempen
- H3O-Roerdalslenk
- DGM V2.2.1



Figuur 5.7 | Overzicht van de H3O Gebieden

Vanwege verschillen in de kartering van de Top en Basis van de Formatie van Breda voor de verschillende H3O modellen onderling en de H3O modellen en het DGM-model zijn er significante diepteverschillen aanwezig in de uiteindelijke resultaat kaarten (e.g. tussen H3O Roerdalslenk en H3O Roerdalslenk Noordwest meer dan 100 m voor de Top en de Basis Breda). Het viel buiten de scope van deze studie om deze artefacten in de interpretatie te verhelpen en daarom zijn de verschillen tussen de verschillende modellen doorgesijpeld naar de uiteindelijke potentiekaarten van de Formatie van Breda.

Naast de dieptekaarten zijn ook de breukenkaarten aan de basis van de Formatie van Breda uit de verschillende H3O modellen en het DGM-model samengevoegd en gebruikt in de uiteindelijke resultaatkaarten.

Petrofysische gegevens

Om de reservoir eigenschappen van de Formatie van Breda in kaart de brengen zijn er een aantal regionale putten met voldoende data geïnterpreteerd. De gebruikte putten en gehanteerde methodes staan uiteengezet in Tabel 5.9.

Tabel 5.9 | Petrofysische gegevens gebruikt voor de interpretatie van de Formatie van Breda.

Putnaam	Opmerking	Methode Porosity	Methode Vclay	Compaction factor	Gebruikte kleiporositeit	Methode Perm	Korrelgrootte (D50) (um)
WAA-01	Erg hoge DT in Formatie van Breda. Daarom Compactie factor van 2.0 gebruikt	DT	GR	2.0	DT (0.375 obv hoge compactie factor)	van Baaren	100 (geologische beschrijving 1972)
KDK-01	RHOB porosity komt erg hoog uit. Daarom DT gebruikt	DT	GR	1.8	DT (0.45)	van Baaren	154 (interpolatie IF 2025)
SMG-01	geen	DT	GR	1.88	DT (0.45)	van Baaren	149 (interpolatie IF 2025)
SVG-01	Andere compaction factor gebruikt dan de DT log liet zien in een clay	NPHI RHOB	GR	-	NPHI (0.4)	van Baaren	213 (metingen EBN)
AST-GT-02	Logs zijn maar beperkt beschikbaar (550 - 700 MD).	RHOB	GR	-	NPHI (0.45)	van Baaren	153 (interpolatie IF 2025)
BKZ-01	Erg hoge DT in Formatie van Breda. Daarom Compactie factor van 2.0 gebruikt	DT	GR	2.0	op basis van DT clay en hoge compactie factor (0.41)	van Baaren	133 (interpolatie IF 2025)
HVB-01	NPHI is erg grillig. Daarom niet gebruikt	RHOB	GR	-	DT en NPHI (0.45)	van Baaren	126 (interpolatie IF 2025)

Korrelgroottemetingen

Voor het omrekenen van de porositeit naar permeabiliteit is het Van Baaren (1979) model gebruikt (J.G. Veldkamp et al., 2022). Belangrijke input voor dit model zijn d50 (gemiddelde) korrelgroottes. In en rond de provincie Noord-Brabant zijn er in ondiepe boringen redelijk veel korrelgroottes geïnterpreteerd voor de bovenste 200 meter van de Formatie van Breda (Tabel 5.10) (beschikbaar via Dinoloket). Daarnaast zijn er ook metingen beschikbaar van de WAA-01 put en SVG-01 put. De korrelgroottemetingen zijn geïnterpoleerd met behulp van het Kriging Algoritme in Surfer om zo ook inschattingen te krijgen voor de petrofysische geïnterpreteerde putten (zie laatste kolom van Tabel 5.9).

Tabel 5.10 | Korrelgrootte metingen van de Formatie van Breda in en rond de provincie Noord-Brabant.

Putnaam	X-coordinaat	Y-coordinaat	Gemiddelde korrelgrootte zandige eenheden (d50 (µm))	Diepte top (m)	Diepte basis (m)
B45C0190	140950	410813	143	375	522

B44E1121	129364	413976	108	396	516
B44E0146	122712	415122	88	348	404
B45G0241	167472	408494	153	330	385
WAA-01	134502	418962	100	400	500
B46C0478	182954	409494	101	17	150
B50F0157	138446	389050	123	247	438
B44B0160	111960	414500	95	353	400
B50H0373	131477	387294	138	150	290
B57A0035	148428	366032	203	120	344
B57E0082	168868	366751	140	292	400
B58A0165	180375	364863	165	313	402
B52C0190	184154	378490	149	320	372
B57E0076	169685	374558	176	342	390
B57B0151	156320	370435	204	192	420
B51E0067	161872	388864	167	430	485
B51H0125	171968	384218	165	350	385
B51F0304	178394	388777	128	341	360
B51F0275	174514	394694	155	323	379
B45G0223	168572	402889	151	390	460
SVG-01	165138	390606	213	520	604

Temperatuurmetingen
Vanwege een significante zoetwater influx vanuit het ZO kan de temperatuurgradiënt in de Formatie van Breda sterk verschillen. Daarom hebben we ervoor gekozen om verschillende gradiënten te gebruiken welke komen uit de temperatuurlogs van SVG-01, VEH-01, AND-06 en AST-01. Voor alle putten is de originele log data gecorrigeerd voor boorspoeling effecten met behulp van (Schumacher & Moeck, 2020).

4.4 PETROFYSISCHE INTERPRETATIE

Porositeit vs. permeabiliteit: Van Baaren 1979 Model
Om de porositeit naar permeabiliteit om te rekenen is het Van Baaren 1979 model gebruikt:

$$k = 10\, D_{50}^{2} C^{-3.64} \varphi^{m+3.64}$$

Hierbij is:

k permeabiliteit [mD]
D_{50} dominante (gemiddelde) korrelgrootte [µm]
C sorting factor [-] (vastgezet op 0.7 o.b.v. Smit, 2022)
φ porositeit [-] uit petrofysische interpretatie
m cementation factor [-] (vastgezet op 1.4 o.b.v. (Smit, 2022))

Voor alle putten is één gemiddelde d50 waarde gebruikt (Tabel 5.9).

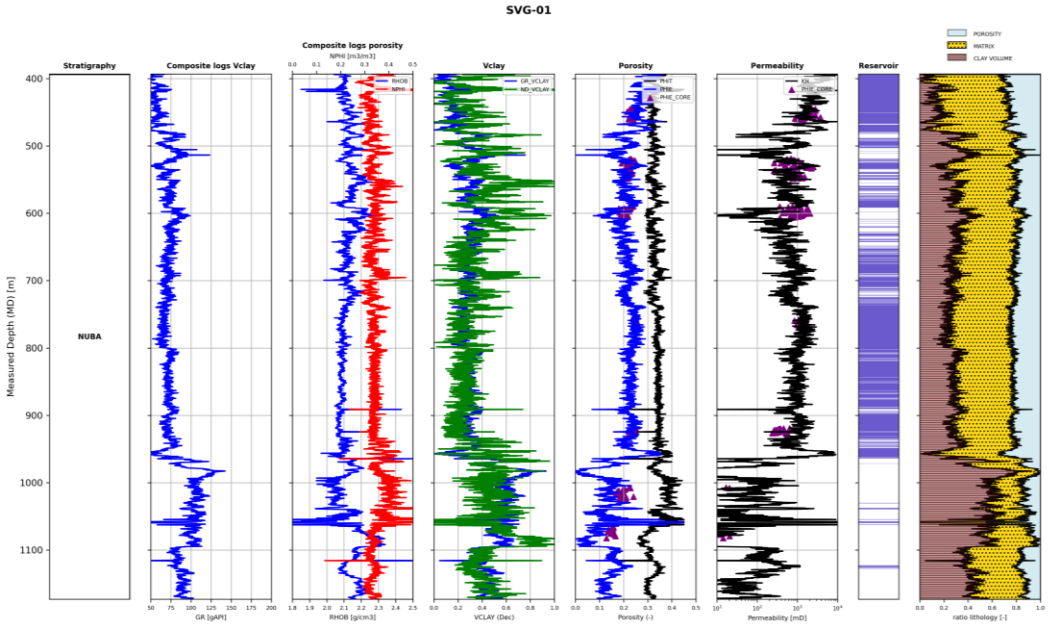
Resultaten

De resultaten van de petrofysische interpretatie staan samengevat in Tabel 5.11. De interpretaties en resultaten laten duidelijk zien dat er een dik zandpakket zit bovenin de Formatie van Breda (afzettingen van Diessen). Naarmate je dieper komt wordt de Formatie van Breda veel kleiiger (afzettingen van Grootte Heide). Deze trend van zand naar klei is duidelijk zichtbaar in de interpretatie van bijvoorbeeld de SCAN-boring SVG-01. In deze put is er een zandpakket van ongeveer 500 m aanwezig waarbinnen permeabiliteit schommelt tussen de 500 en 2500 mD. Vanaf ongeveer 970 meter wordt de Formatie van Breda veel kleiiger (afzettingen van Grootte Heide) en nemen de doorlatendheden significant af. Deze trend is in bijna alle geïnterpreteerde putten zichtbaar. Wel neemt het kleigehalte significant toe (en daarmee de N/G af) richting het noordwesten (e.g. WAA-01) (Tabel 5.11).

Tabel 5.11 | Opgeschaalde resultaten van de petrofysische interpretatie van de Formatie van Breda.

Put	Top (TVD)	Basis (TVD)	Bruto dikte (m)	Netto dikte (m)	N/G	Effectieve porositeit (-) Net reservoir	Perm (mD) (GM) Net reservoir	X RD	Y RD
WAA-01	401	714	313	88.5	0.28	0.27	480	134502	418963
KDK-01	380	814.6	434.6	314.4	0.72	0.27	1144	169625	399192
SMG-01	514	1172	658	377.2	0.57	0.25	811	153912	406533
SVG-01*	393.9	1173.3	779.4	440.2	0.56	0.24	1278	165138	390606
AST-GT-02**	553.1	707	153.9	100.7	0.65	0.26	958	182010	376841
BKZ-01	320.1	701.9	381.8	164.7	0.43	0.26	720	141673	392452
HVB-01	274.5	514	239.5	140.8	0.59	0.28	921	136224	390655

* Puttest resultaten SVG-01: 670 mD (500 - 600 m). Petrofysiche interpretatie: 710 mD (500 – 600 m)
** AST-GT-02 bevat een onvolledige dataset. Daarom niet meegenomen in de opschaling en interpolatie.



Figuur 5.8 | Resultaten van de petrofysische interpretatie van de Formatie van Breda in de SCAN-Boring SVG-01.

Over het algemeen laat de petrofysische interpretatie zien dat het bovenste deel van de Formatie van Breda bestaat uit redelijk (±500 mD) tot goed doorlatend zand (±1000 mD). Ook de resultaten uit de puttesten van SVG-01 laten zien dat water binnen de zandige delen van de Formatie van Breda goed stroomt. Dat gezegd hebbende, moet er ook worden vermeld dat de resultaten erg onzeker blijven omdat deze, met uitzondering van de SVG-01 puttest resultaten, veelal zijn gebaseerd op indirecte metingen en op modellen. Nieuwe data uit AMS-01 en uit SVG-01 kunnen mogelijk helpen bij het verlagen van de onzekerheden.

4.5 OPSCHALING PETROFYSISCHE EIGENSCHAPPEN

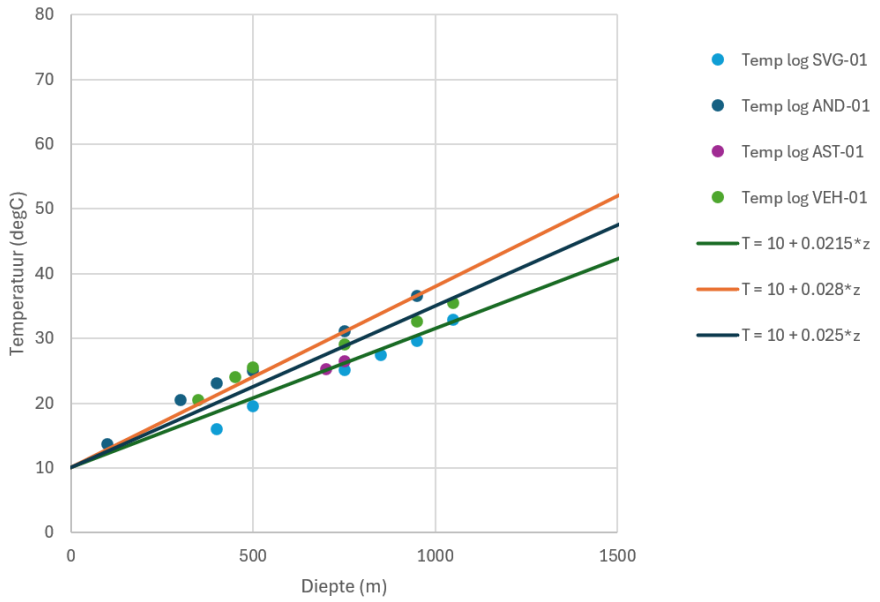
De reservoireigenschappen (N/G & permeabiliteit) van de Formatie van Breda zijn opgeschaald op kaart door middel van directe interpolatie met behulp van het Kriging algoritme in Surfer.

4.6 TEMPERATUUR VS. DIEPTE

Op verschillende plekken binnen de provincie Noord-Brabant stroomt (ondieper) zoet water de Formatie van Breda in. Vanwege deze influx van zoet water kan de temperatuurgradiënt in de Formatie van Breda sterk variëren. Daarom zijn er aan de hand van meerdere datapunten verschillende relaties opgesteld, welke vervolgens zijn geïnterpoleerd voor het gebied waarbij de basis van de Formatie van Breda dieper dan 500 m ligt.

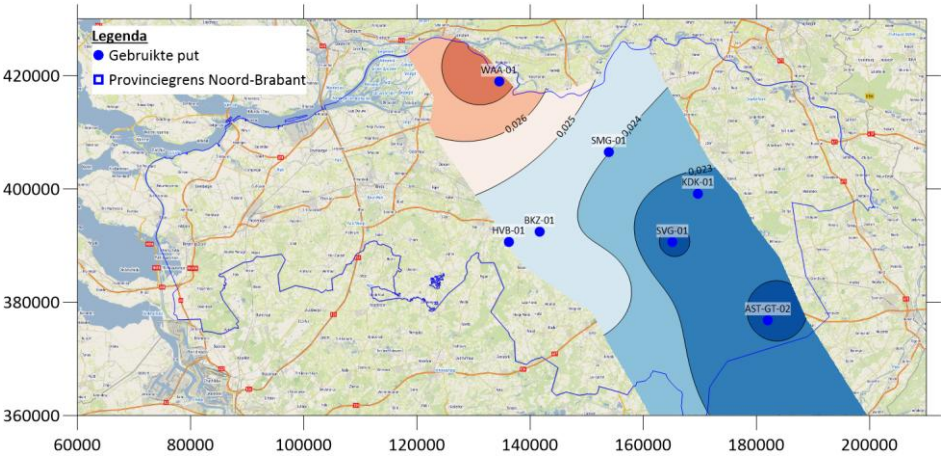
Op basis van de gecorrigeerde temperatuurlog data in de putten AND-01, SVG-01, AST-01 en VEH-01 zijn de volgende relaties opgesteld (Figuur 5.9):

- AND-01: $T\ (°C) = 10\ (°C) + 0{,}0280\ (°C/m) * \text{diepte}\ (m)$
- SVG-01: $T\ (°C) = 10\ (°C) + 0{,}0215\ (°C/m) * \text{diepte}\ (m)$
- AST-01: $T\ (°C) = 10\ (°C) + 0{,}0215\ (°C/m) * \text{diepte}\ (m)$
- VEH-01: $T\ (°C) = 10\ (°C) + 0{,}0250\ (°C/m) * \text{diepte}\ (m)$



Figuur 5.9 | Temperatuur-diepterelaties opgesteld op basis van temperatuurlogdata van SVG-01, AND-01, AST-01 en VEH-01.

De verschillende gradiënten zijn geïnterpoleerd met behulp van het Kriging algoritme in Surfer. De kaart laat zien dat er in het zuiden van het geïnterpreteerde gebied een lagere gradiënt aanwezig is (0,0215 degC/m) (Figuur *5.10*). In het noordwesten is de gradiënt een stuk hoger (0,028 degC/m).



Figuur 5.10 | *Geïnterpoleerde temperatuurgradiënt voor de Formatie van Breda.*

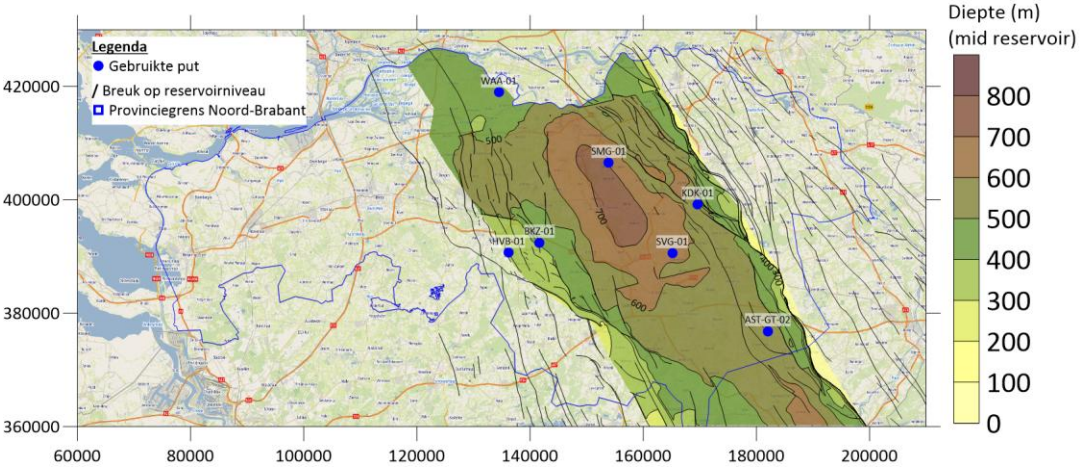
4.7 RESULTAATKAARTEN

Op basis van de input data en interpretaties zijn de volgende kwantitatieve resultaatkaarten gemaakt:

- **Diepte (mid-reservoir)**: Dit is de geschatte diepte van het midden van de zandige delen van de Formatie van Breda (Afzettingen van Diessen). Om deze kaart te maken zijn de H3O en DGM-kaarten gecombineerd met dieptemetingen uit putten.
- **Bruto dikte**: Dit is de geschatte dikte van de Formatie van Breda. Om deze kaart te maken zijn de gecombineerde Top en Basis Formatie van Breda gebruikt.
- **Temperatuur (mid-reservoir)**: Dit is de geschatte gemiddelde temperatuur van de zandige delen van de Formatie van Breda. Voor deze kaart zijn de mid-reservoir dieptekaart en de geïnterpoleerde temperatuurgradiëntkaart gebruikt.
- **Reservoireigenschappen**: Voor de Formatie van de Breda zijn er ook kaarten gemaakt van de netto/bruto verhouding (N/G) en de permeabiliteit. Deze kaarten zijn gemaakt door de resultaten van de petrofysische interpretatie direct te interpoleren (m.b.v. kriging).

Diepte (mid-reservoir)

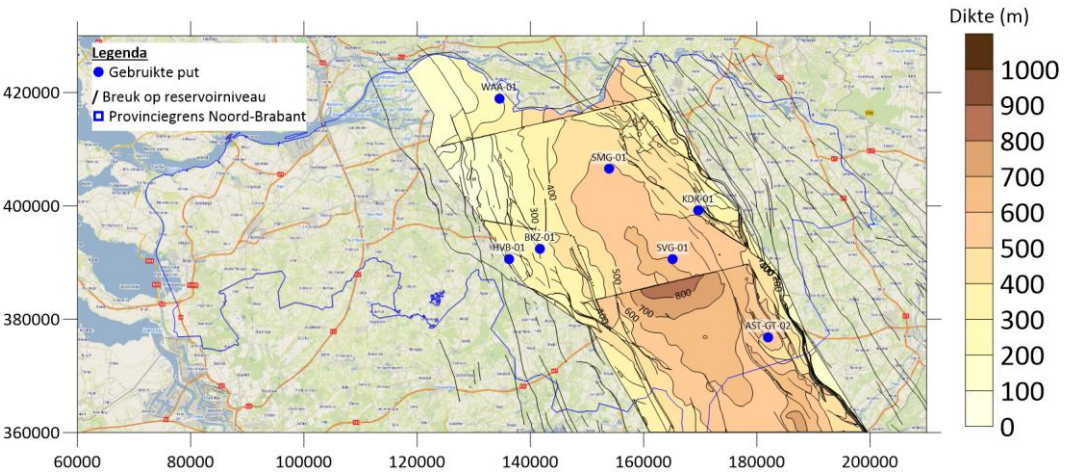
De Formatie van Breda is in de gehele provincie Noord-Brabant afgezet. Op het Peel-Maasbommel Complex en op het Oosterhout Platform en Zeeland Hoog ligt de Formatie van Breda erg ondiep (<500) en valt daarmee af voor een toepassing van geothermie. Vanwege bodemdaling in de Roerdalslenk tijdens afzetting van de formatie ligt de basis daar dieper dan 500 m, waarbij de diepte toeneemt richting de kern van de slenk.



Figuur 5.11 | *Dieptekaart (mid-reservoir) van de Formatie van Breda. Voor gebieden die nu geen diepte laten zien ligt de basis van de Formatie van Breda ondieper dan 500 m. De kaart laat ook een tweetal oost-west georiënteerde artefacten zien. Eén is zichtbaar net ten zuiden van de put SVG-01 en de andere net ten zuiden van de put WAA-01. Deze artefacten worden veroorzaakt doordat verschillende modelgebieden uit het H3O-programma onderling en met het DGM-model niet naadloos op elkaar aansluiten. Aangezien de H3O modellen in deze studie als basis worden genomen voor diepte en dikte werken deze artefacten door tot in de kwalitatieve potentiekaarten.*

Bruto dikte

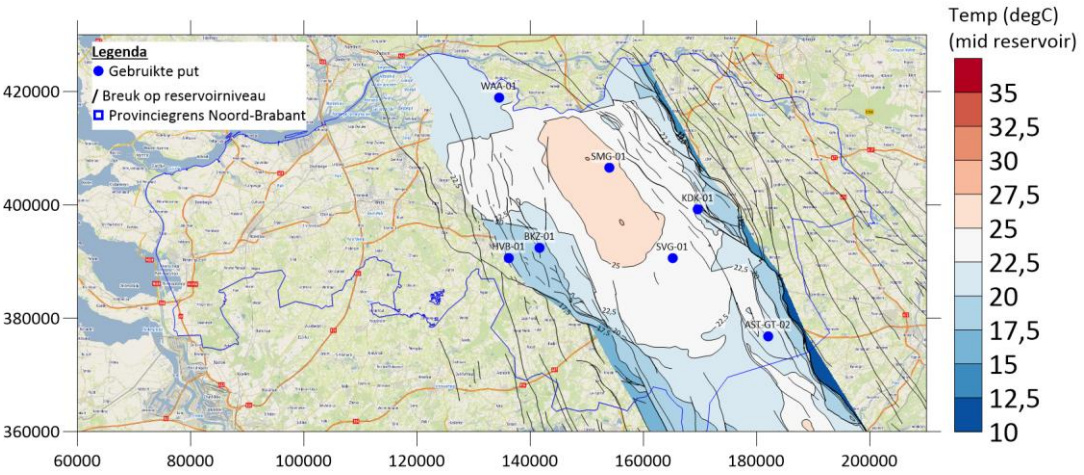
Bodemdaling heeft ook de dikte trend beïnvloed en daarom bevinden de grootste diktes zich in de kern van de Roerdalslenk. In het midden van het bekken kunnen bruto diktes oplopen tot meer dan 800 m.



Figuur 5.12 | *Bruto diktekaart van de* Formatie van Breda op basis van DGM V2.2.1 en de verschillende H3O modellen. *De kaart laat ook een tweetal duidelijk zichtbare oost-west georiënteerde artefacten zien. Eén is zichtbaar net ten zuiden van de put SVG-01 en de andere net ten zuiden van de put WAA-01. Deze artefacten worden veroorzaakt doordat verschillende modelgebieden uit het H3O-programma onderling en met het DGM-model niet naadloos op elkaar aansluiten. Aangezien de H3O modellen in deze studie als basis worden genomen voor diepte en dikte werken deze artefacten door tot in de kwalitatieve potentiekaarten.*

Temperatuur (mid-reservoir)

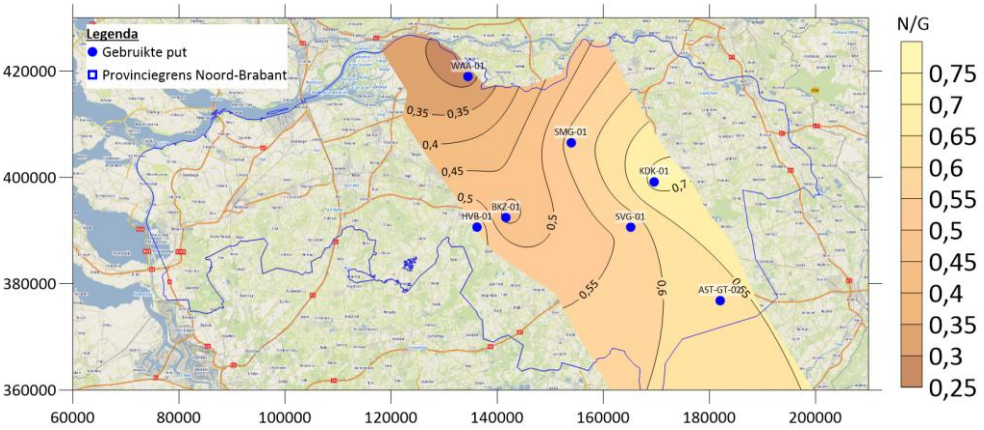
De temperatuur volgt eenzelfde patroon als de diepte en neemt daarom toe richting de kern van de Roerdalslenk. De hoogste temperaturen van 25 – 30 graden Celcius komen voor in het gebied tussen Sint-Michielsgestel, Boxtel, Sint-Oedenrode en Schijndel.



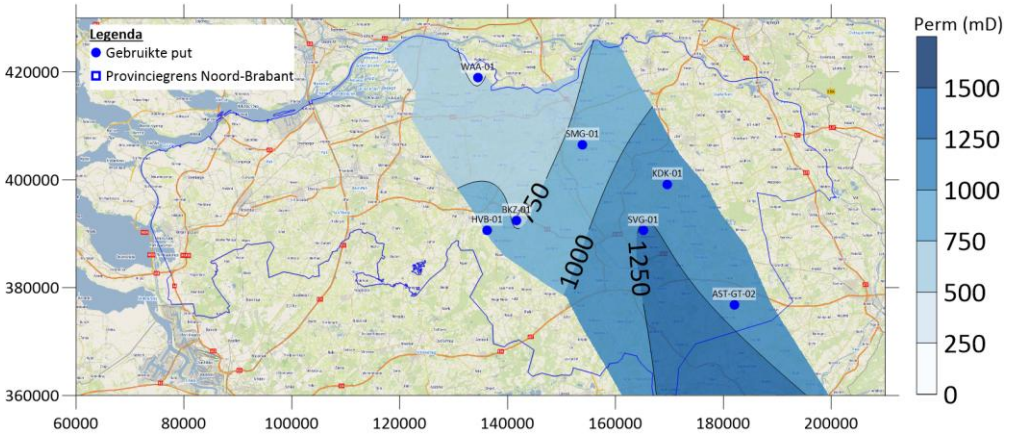
*Figuur 5.13 | Geschatte gemiddelde t*emperatuur van het zandige deel binnen de Formatie van Breda (°C).

Reservoir eigenschappen

Op de Netto/Bruto verhoudingskaart is duidelijk de zien dat de hoeveelheid zand binnen de Formatie van Breda in noordwestelijke richting sterk afneemt van ongeveer 60% bij SVG-01 tot minder dan 30% bij WAA-01. Ook de permeabiliteit van het aanwezige zand neemt in noordwestelijke richting af. Deze is in het zuiden vaak boven de 1000 mD terwijl deze bij WAA-01 rond de 500 mD ligt. Deze conclusies liggen in lijn met de geologische setting van de Formatie van Breda, welke wordt gekenmerkt door een noordwaarts uitbouwende delta die langzaam overgaat in een dieper marine omgeving.



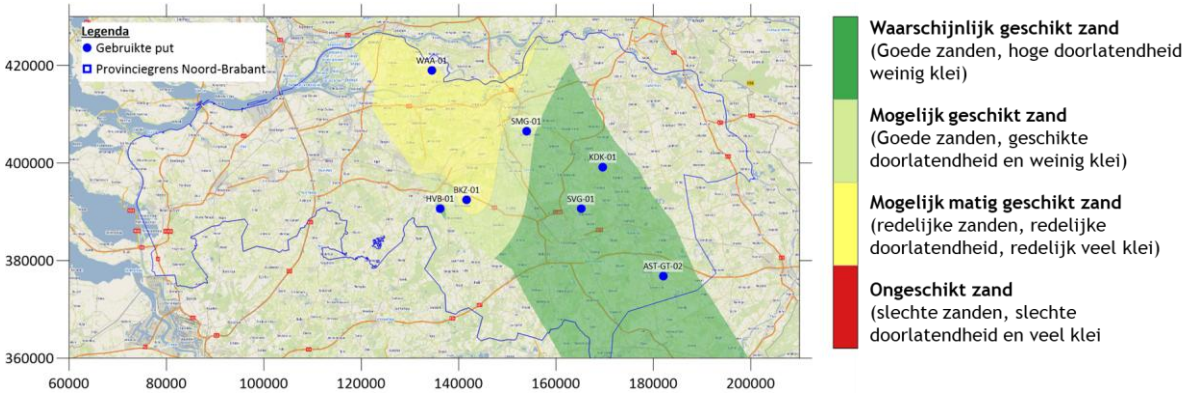
Figuur 5.14 | Netto/Bruto verhouding van de Formatie van Breda.



Figuur 5.15 | *Opgeschaalde permeabiliteit van de netto zandige delen binnen de Formatie van Breda.*

4.8 RESERVOIRKWALITEIT

De reservoirkwaliteit van de Formatie van Breda wordt grotendeels bepaald door een combinatie van de mate waarin zandige lagen aanwezig zijn en de korrelgrootte van deze zandige lagen. Wanneer er meer zand en minder klei aanwezig is, is er potentieel meer geschikt reservoir en daarmee de reservoirkwaliteit beter. Daarnaast heeft ook de korrelgrootte een belangrijke invloed op de reservoirkwaliteit. Hoe groter de korrels, hoe groter de doorlatendheid en visa versa. Op basis van alle putdata is er een trend zichtbaar van afnemende zandlagen en een toename van het kleigehalte richting het noorden. Dit gaat hand in hand met een afname van de korrelgrootte richting het noorden. Deze trend vertaalt zich in naar een reservoirkwaliteitskaart waarbij het beste reservoir te vinden is ten zuiden van de lijn Oss, Sint-Michielsgestel en Hilvarenbeek.



Figuur 5.16 | Kwalitatieve reservoirkwaliteit van de Formatie van Breda. Voor deze kaart zijn de N/G en permeabiliteitskaart gecombineerd.

4.9 UITGANGSPUNTEN POTENTIE BEREKENINGEN

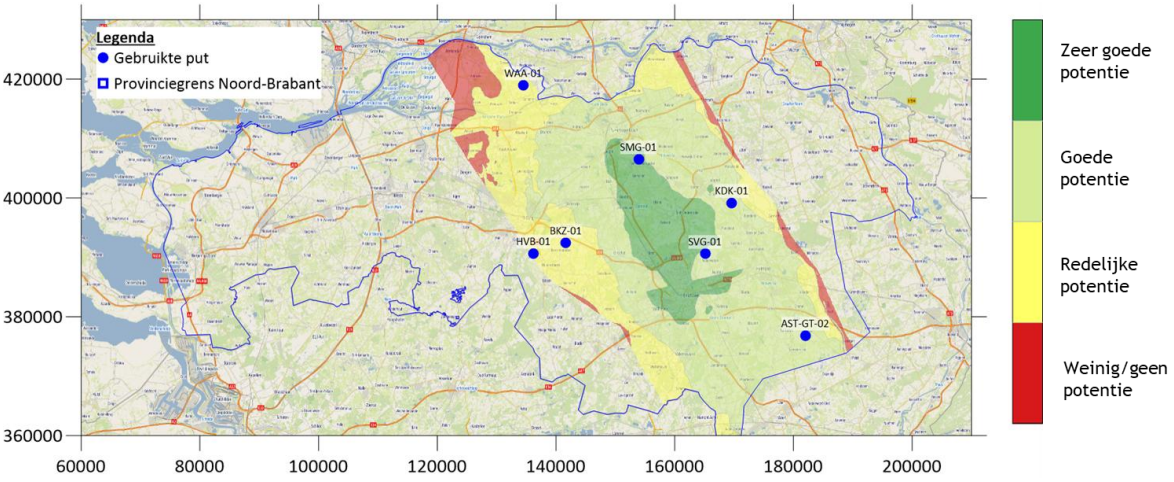
Voor de potentieberekeningen zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd. Deze uitgangspunten kunnen worden geoptimaliseerd voor locatie-specifieke studies of projecten.

Tabel 5.12 | Uitgangspunten voor de potentieberekeningen.

Parameter	Eenheid	Grid/waarde	Bron
Diepte	[m]	Grid	Mid reservoir dieptekaart
Dikte	[m]	Grid (max 100 m)	Netto zanddikte. Er is een max van 100 m gezet. Deze max komt uit ervaringen van maximaal gebruikte filterlengtes bij WKO, MTO en HTO boringen
Temperatuur	[°C]	Grid	O.b.v. dieptekaart en een regionale temperatuurgradiënt
Doorlatendheid	[mD]	Grid	Interpolatie van resultaten uit de petrofysische interpretatie
Saliniteit	[g/l]	10	Metingen SVG-01
Putafstand	[m]	1100	Standaard afstand
COP	[-]	15	COP = Coëfficiënt of Performance, 15 is een standaardwaarde voor een geothermiesysteem
Injectietemperatuur	[°C]	10	Standaard voor geothermiesystemen met een relatief lage temperatuur (<30°C)
Pomprendement	[-]	0,7	Standaard waarde
Skin	[-]	0	Er wordt geen skin aangenomen
Maximale injectiedruk	[bar/m]	0,135	SODM-norm. Deze norm is het eerste uitgangspunt. Hier kan van worden afgeweken mits je kan aantonen dat dit veilig kan.

4.10 POTENTIE

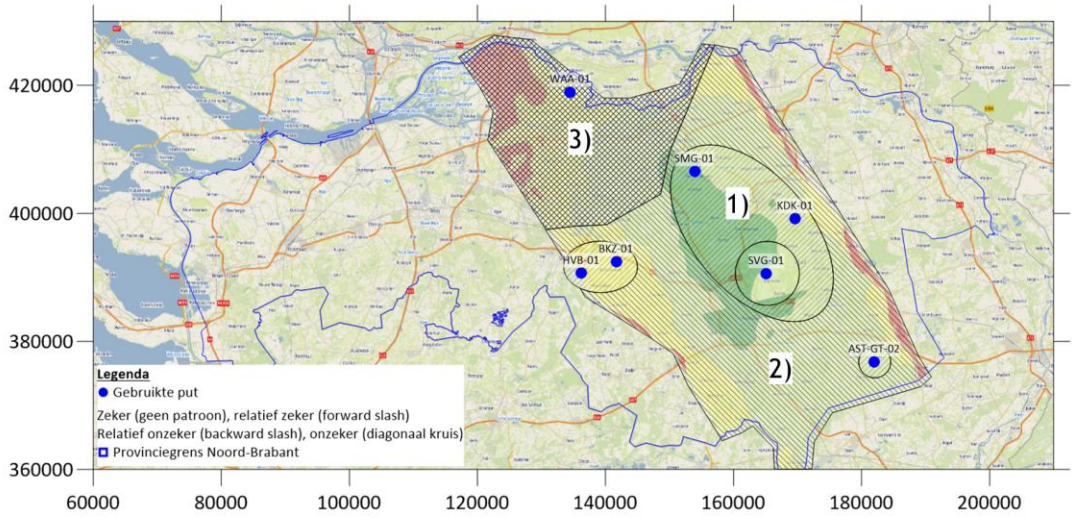
De potentie voor ondiepe geothermie van de Formatie van Breda is in het onderstaande figuur te zien. Voor het maken van dit figuur zijn de kwantitatieve resultaatkaarten gecombineerd met de kwalitatieve reservoirkaart en de operationele uitgangspunten. Op de potentiekaart is te zien dat de Formatie van Breda met name in het centrale deel van het Roerdalslenk zeer goede tot goede potentie heeft voor ondiepe geothermie. Aan de randen en in het noorden is er redelijke potentie.



Figuur 5.17 | Kwalitatieve potentiekaart van de Formatie van Breda. De artefacten komende uit de H3O en DGM modellen zijn ook duidelijk zichtbaar op deze kaart (nabij WAA-01 en SVG-01).

4.11 ONZEKERHEDEN

Voor de Formatie van Breda bestaan er aanzienlijke onzekerheden. Deze variëren van gebied tot gebied en staan in het onderstaande figuur en in de onderstaande tabel uiteengezet.



Figuur 5.18 | Onzekerheidskaart van de Formatie van Breda als overlay op de geothermische potentiekaart.

Tabel 5.13 | Inschatting en onderbouwing van de onzekerheid voor de Formatie van Breda in de verschillende gebieden. Zie hoofdstuk 4.6 voor meer informatie over het inschatten van de onzekerheid.

	Gebied 1	Gebied 2	Gebied 3
Gebiedsomschrijving	Gebieden direct rondom de putten SVG-01, SMG-01, HVB-01, BKZ-01, AST-GT-01 en KDK-01	Gebied ten zuiden van 's-Hertogenbosch waar relatief veel zand aanwezig is.	Het noordwestelijk gebied van de RVG waarin de hoeveel zand snel afneemt (e.g. WAA-01)
1) Gebruikte data	Relatief veel putgegevens aanwezig. Zeker rondom SVG-01 is er veel informatie waarmee de reservoirkwaliteit kan worden ingeschat. Andere putten geven vaak indirect bewijs waardoor er enige onzekerheid bestaat.	In dit gebied is er geen directe data gebruikt wat de resultaten in dit gebied relatief onzeker maken. Wel laten de putten rondom dit gebied een constant beeld zien, al dan niet met indirect bewijs.	In dit gebied is er minder goede data aanwezig dan in gebied 1. Ook geeft de data enkel indirect bewijs voor de aanwezigheid van doorlatend zand
2) Geologische complexiteit	Relatief homogeen pakket. Duidelijke indicaties dat er veel (500 m) fijn tot matig fijn zand aanwezig is in dit gebied (afzettingen van Diessen). Onderin veelal ondoorlatende kleilagen (Afzettingen van Groote Heide). De voorspelbaarheid is daarmee rederijk tot goed.	Relatief homogeen pakket. Duidelijke indicaties dat er veel (500 m) fijn tot matig fijn zand aanwezig is in dit gebied (afzettingen van Diessen). Onderin veelal ondoorlatende kleilagen (Afzettingen van Groote Heide). De voorspelbaarheid is daarmee rederijk tot goed.	Putten in dit gebied laten een duidelijk ander beeld zien. Er zit meer klei in het systeem waardoor netto zand diktes beperkt blijven tot ongeveer 100 m. Ook zijn korrelgroottes zeer tot uiterst fijn. Vanwege de beperkte data is de voorspelbaarheid beperkt.
3) Correlaties en modellen	De putten in dit gebied laten een redelijk constant beeld zien. Directe interpolatie lijkt daarmee een goede methode. Wanneer de afstand tot putten groter wordt neemt de onzekerheid van de interpolatie toe.	De putten rondom dit gebied laten een redelijk constant beeld zien. Directe interpolatie lijkt daarmee een goede methode. Wel blijft er hierdoor een onzekerheid bestaan. Zeker wanneer de afstand tot putten groter wordt.	Dit gebied laat een duidelijk ander beeld zien dan gebieden 1 en 2. Het is onduidelijk of interpolatie naar dit gebied mogelijk is. Hierdoor is de interpolatie zeer onzeker.
Uiteindelijke zekerheid	**Relatief zeker, zeker (rondom SVG-01)**	**Relatief onzeker**	**Onzeker**

Bijlage 5 Zand van Brussel Laagpakket

In deze bijlage beschrijven we beknopt de belangrijkste stappen, uitgevoerde analyses en interpretaties van het Zand van Brussel Laagpakket. Ook zijn in deze bijlage relevante resultaten en tussenkaarten te vinden. Deze bijlage kan op zichzelf worden gelezen maar dient hoofdzakelijk als technische ondersteuning van de hoofdrapportage.

5.1 GEOLOGISCHE BESCHRIJVING ZAND VAN BRUSSEL LAAGPAKKET

De hieronder beschreven regionale geologie is overgenomen uit het WarmingUP rapport “Mapping of the Brussel Sand Member in the Netherlands” uit 2020[11].

Het Zand van Brussel Laagpakket is onderdeel van de Dongen Formatie en is afgezet in het vroege Midden-Eoceen. De dikte van het Zand van Brussel Laagpakket neemt af richting een WNW – ESE georiënteerde zone in Nederland die tijdens afzetting hoger lag en waar later ook erosie heeft plaatsgevonden. In Noord-Brabant bereikt het laagpakket in het westen een maximale dikte van circa 180 m, terwijl het in het oosten ontbreekt. De dikte van het Zand van Brussel Laagpakket is sterk beïnvloed door opheffing als gevolg van de Pyreneese en Savische tektonische fasen, waardoor delen van het laagpakket zijn geërodeerd. Het Zand van Brussel Laagpakket bestaat uit glauconitisch zeer fijn zand, met in het bovenste deel meerdere harde, kalkrijke zandsteenlagen. Richting de basis neemt het kleigehalte toe, terwijl het aandeel glauconiet en kalk afneemt.

In het Vroeg-Paleogeen lag Nederland in een ondiep marien milieu. Door eustatische zeespiegelveranderingen, gecombineerd met regionale dalingen en opheffingen van de aardkorst, ontstond een afwisseling van ondiepe tot open mariene afzettingen in het huidige landgebied van Nederland. Gedurende het grootste deel van het Vroeg-Eoceen werden mariene silt- en kleisteenlagen afgezet. In Nederland en België staan deze bekend als de Ieperklei, en in het Verenigd Koninkrijk als de London Clay (Gibbard & Lewin, 2016). Door de plotselinge noordwaartse uitbreiding van ondiep-mariene en deltaïsche zandcomplexen nam de hoeveelheid zandafzettingen in Nederland toe. Deze zandafzettingen bestaan uit zeer fijnkorrelige zanden en zijn afgezet op de kleiige lagen van het Laagpakket van Ieper (Veldkamp et al, 2022).

Lateraal ten noorden van Nederland gaat het Zand van Brussel Laagpakket over in het Mergel van Brussel Laagpakket. Dit laagpakket bestaat uit grijze, siltige, kalkhoudende klei tot mergel, gevormd in een dieper marien milieu verder van de paleokustlijn. Het Mergel van Brussel Laagpakket is afgezet ten noorden van Groningen en Friesland.

[11] De Haan, H., ten Veen, J., Houben, S., & Kruisselbrink. A. (2020). Mapping of the Brussels Sand Member in the Netherlands. WarmingUP.

In de WarminUP rapporten over het Zand van Brussel Laagpakket wordt deze verder opgedeeld in drie aparte sequenties, namelijk:

- Sequentie 1 (S1): De meest diepe sequentie binnen het Zand van Brussel Laagpakket. Deze sequentie bestaat uit zeer fijn glauconiet zand met mica en andere kleimineralen. Reservoireigenschappen in deze sequentie zijn vaak matig tot slecht (Geel & Foeken, 2021).
- Sequentie 2 (S2): Bevindt zich in het midden van het Zand van Brussel Laagpakket en bestaat voornamelijk uit kleiig zeer fijn zand. Reservoireigenschappen in deze sequentie zijn vaak matig tot slecht (Geel & Foeken, 2021).
- Sequentie 3 (S3): De S3 sequentie ligt het meest ondiep en bevat ook vaak meest dikke en doorlatende zanddeel van het Zand van Brussel Laagpakket (Geel & Foeken, 2021).

5.2 GEHANTEERDE WERKWIJZE

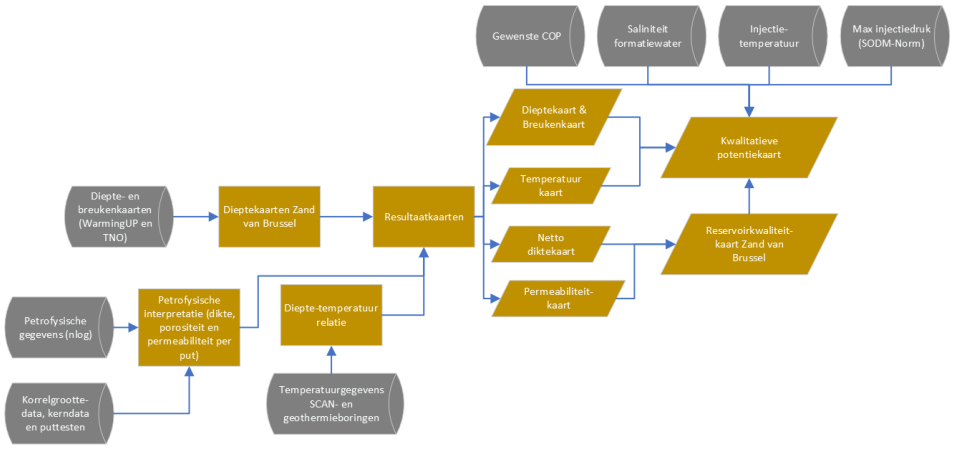
Voor het maken van de reservoirkwaliteitskaart en kwalitatieve potentiekaart van het Zand van Brussel zijn de volgende stappen gehanteerd:

1 Inladen dieptekaart van het Zand van Brussel Laagpakket uit het WarmingUP project en inladen breukenkaart (Basis Noordzee Groep) uit de Hike Fault Database
2 Inventarisatie van inputgegevens voor de petrofysische interpretatie, denk hierbij aan:
    - Kerndata voor verschillende putten binnen en rond het interpretatiegebied.
    - Petrofysische logdata en temperatuurmetingen voor meerdere putten binnen het interpretatiegebied

Petrofysische interpretatie van putten met voldoende logs binnen het interpretatiegebied.

- Petrofysisch geïnterpreteerde putten: ORO-01, ZVB-GT-01, RSB-01, KTG-01, RDK-01, HVS-01, HVB-01, WWK-01 en DON-01.
- Voor het omrekenen van de porositeit naar permeabiliteit zijn de d50 korrelgroottes in combinatie met het Van Baaren 1979 model gebuikt (Veldkamp et al., 2022).

3 Opstellen van temperatuur-diepte relatie met behulp van temperatuurmetingen.
4 Maken van de kwantitatieve resultaatkaarten zoals: diepte mid-reservoir, temperatuur mid-reservoir, bruto dikte, netto/bruto (N/G) verhouding, permeabiliteit en transmissiviteit.
5 Maken van de reservoirkwaliteitskaart op basis van de reservoir transmissiviteit.
6 Maken van de kwalitatieve potentiekaart op basis van de kwantitatieve kaarten, kwalitatieve reservoirkwaliteitskaart, operationele uitgangspunten en een in-house python model.



Figuur 5.19 | *Gehanteerde werkwijze voor het Zand van Brussel Laagpakket.*

5.3 INPUT GEGEVENS

WarmingUP kaarten en Hike Fault database
Om het Zand van Brussel Laagpakket in de provincie Noord-Brabant volledig in kaart te brengen zijn kaarten gebruikt uit het WarmingUP Programma (de Haan et al., 2020). Voor de breuken op reservoirniveau zijn de breuken aan de Basis Noordzee Groep uit de hike fault database gebruikt (https://geoera.eu/projects/hike10/faultdatabase/).

Petrofysische gegevens en andere reservoir data
Om de reservoireigenschappen van het Zand van Brussel Laagpakket in kaart de brengen zijn er een aantal regionale putten met voldoende data geïnterpreteerd. De gebruikte putten en gehanteerde methodes staan uiteengezet in de onderstaande tabel.

Tabel 5.14 | Petrofysische gegevens gebruikt voor de interpretatie van het Zand van Brussel Laagpakket.

Putnaam	Opmerking	Methode Porosity	Methode Vclay	Compaction factor	Clay porosity	Methode Perm	Grainsize (D50) (um)
ORO-01	-	NPHI-RHOB	GR	-	Mix tussen RHOB en DT (0.38)	van Baaren	Diepte model ORO-01 (80 - 140) (metingen NLOG)
ZVB-GT-01	-	RHOB	GR	-	RHOB (0.45)	van Baaren	149 (metingen NLOG)
RSB-01	-	DT	GR	1.7	DT (0.48)	van Baaren	111 (interpolatie (J.G. Veldkamp et al., 2022))
STH-01	Breakouts op caliper. DT gebruikt ipv RHOB	DT	GR	1.6	Mix tussen RHOB en DT (0.45)	van Baaren	111 interpolatie (J.G. Veldkamp et al., 2022)
KTG-01	-	RHOB	GR	-	DT (0.48)	van Baaren	101 (interpolatie (J.G. Veldkamp et al., 2022))
RDK-01	-	RHOB	GR	-	RHOB (0.38)	van Baaren	87 (interpolatie (J.G. Veldkamp et al., 2022))
HVS-01	-	DT	GR	1.75	DT (0.49)	van Baaren	82 (interpolatie (J.G. Veldkamp et al., 2022))
HVB-01	-	RHOB	GR	-	RHOB (0.34)	van Baaren	105 (interpolatie (J.G. Veldkamp et al., 2022))
HBV-01		DT	GR	1.6	DT (0.47)	van Baaren	111 (interpolatie (J.G. Veldkamp et al., 2022))
WWK-01	-	DT	GR	1.5	DT (0.45)	van Baaren	105 (interpolatie (J.G. Veldkamp et al., 2022))
DON-01	Erg onzeker op basis van SN logs	Archie classic (SN)	SP	-	Andere putten (0.45)	van Baaren	120 (interpolatie (J.G. Veldkamp et al., 2022))

Korrelgroottemetingen en kerndata

Voor het omrekenen van de porositeit naar permeabiliteit is het Van Baaren 1979 model gebruikt (Veldkamp et al., 2022). Belangrijke input voor dit model zijn d50 (gemiddelde) korrelgroottes. In Nederland zijn er op verschillende plekken korrelgroottes geïnterpreteerd voor het Zand van Brussel Laagpakket (Tabel 5.15) (Veldkamp et al., 2022). Daarnaast zijn er ook metingen beschikbaar van de ORO-01 put en de ZVB-GT-01 put. De korrelgroottemetingen zijn geïnterpoleerd met behulp van het Kriging Algoritme in Surfer om zo ook inschattingen te krijgen voor de petrofysische geïnterpreteerde putten (zie laatste kolom van Tabel 5.14).

Tabel 5.15 | Korrelgrootte metingen van het Zand van Brussel Laagpakket in Nederland.

Putnaam	X RD	Y RD	d50 (µm)
AHO-E-55	92014	436468	76
BRT-01	94682	428862	74
DON-01	122104	404250	120
GAG-01	75888	441184	78
HEL-01	94051	426796	85
HVS-01	71216	430535	82
JLD-01	111905	545331	88
KKP-GT-01	193090	510438	154
KTG-01	47498	399317	101
NAG-01	178792	514631	83
NNE-02	225650	519975	81
NOR-06	223026	569837	72
OFL-01	171934	492234	67
OIS-01	142459	581292	70
OVE-01	61735	421310	109
RDK-01	90875	425003	87
RSB-01	106485	393476	111
RZB-01	75507	434119	82
WDR-01	79140	384600	101
ZVB-GT-01	102251	405433	149
ORO-01	88073	408790	80-140

Voor de SCAN-Boring ORO-01 en DON-01 put is er ook kerndata beschikbaar. Deze kerndata is samen met de puttest gegevens gebruikt voor de validatie van de geïnterpreteerde resultaten. Voorafgaand aan de validatie is de kerndata wel gecorrigeerd naar een brine permeabiliteit met behulp van de Juhasz correctie[12].

[12] Juhasz, I., 1986. Conversion of routine air-permeability data into stress brine-permeability data. *Society of Professional Well Log Analysts, Aberdeen Chapter, 10th European Formation Evaluation Symposium Transactions, paper Y*, 1-15.

Temperatuurmetingen
In de ORO-01 en ZVB-GT-01 putten zijn temperatuurmetingen voor het Zand van Brussel Laagpakket uitgevoerd. Deze metingen zijn gebruikt voor het opstellen van een regionale temperatuur-diepte relatie.

5.4 PETROFYSISCHE INTERPRETATIE

Porositeit vs permeabiliteit: Van Baaren 1979 Model
Om de porositeit naar permeabiliteit om te rekenen is het Van Baaren 1979 model gebruikt:

$$k = 10\, D_{50}^{2} C^{-3.64} \varphi^{m+3.64}$$

Hierbij is:

k permeabiliteit [mD]
D_{50} dominante (gemiddelde) korrelgrootte [µm]
C sorting factor [-] (vastgezet op 0.75 o.b.v. Veldkamp e.a. 2022)
φ porositeit [-] uit petrofysische interpretatie
m cementation factor [-] (vastgezet op 1.45 o.b.v. Veldkamp e.a. 2022)

Resultaten
De resultaten van de petrofysische interpretatie zijn samengevat in Tabel 5.16. Allereerst laten de putten ORO-01 en ZVB-GT-01 duidelijk de opbouw van het Zand van Brussel Laagpakket zien (Figuur 5.21). De goede S3 zandlaag is in beide putten aanwezig (zie de Haan et al., 2020 Geel & Foeken, 2021 voor de exacte opbouw van het Zand van Brussel Laagpakket). Doorlatendheden voor deze laag zijn ongeveer 1000 mD. De S3 zandlaag is ook in veel andere putten aanwezig (e.g. RSB-01, STH-01, KTG-01, HVS-01, RDK-01, DON-01). Richting het noorden en noordoosten is deze laag veelal (deels) geërodeerd (WWK-01, HVB-01, HBV-01). Over het algemeen komen gemiddelde doorlatenheden uit tussen de 200 – 750 mD. Netto diktes zijn sterk afhankelijk van de aanwezigheid van S3 zanden en variëren respectievelijk tussen de 3 en 103 meter. Tot slot zijn in veel van de geïnterpreteerde putten ondoorlatende gecementeerde banken zichtbaar (e.g. Figuur 5.21). Het is algemeen bekend dat deze banken een sterke invloed hebben op de verticale permeabiliteit van het Zand van Brussel Laagpakket.

Tabel 5.16 | Opgeschaalde resultaten van de petrofysische interpretatie van het Zand van Brussel Laagpakket.

Put	Top (TVD)	Basis (TVD)	Bruto dikte (m)	Netto dikte (m)	N/G	Effectieve porositeit (-) Net reservoir	Perm (mD) (GM) Net reservoir	X RD	Y RD
ORO-01*	634.5	803.9	169.4	104.3	0.62	0.25	275	88074	408791
ZVB-GT-01**	644	742	98	60.9	0.62	0.26	665	102251	405432
RSB-01	526	654	128	82.3	0.64	0.25	314	106486	393476
STH-01	647	755	108	65.8	0.61	0.25	323	115960	410350
KTG-01	345	405	60	50.3	0.84	0.28	486	47490	399318
RDK-01	611.6	716	104.4	90.4	0.87	0.26	237	90904	424943
HVS-01	649	758	109	85.1	0.78	0.27	252	71216	430535
HVB-01	796.7	822.4	25.7	3.3	0.13	0.25	274	136230	390658

HBV-01	712	753	41	36.9	0.9	0.27	472	128037	401359
WWK-01	906.8	919.5	12.7	9.3	0.73	0.31	756	135360	412845
DON-01	735	844	109	58.8	0.54	0.27	482	122101	404250

* Puttest resultaten ORO-01: 250 - 300 mD. Petrofysiche interpretatie: 275 mD

** Puttest resultaten ZVB-GT-01: 650 – 700 mD. Petrofysiche interpretatie: 665 mD. Deze put heeft niet het volledige Zand van Brussel Laagpakket getest of aangeboord. Daarom zijn deze resultaten niet meegenomen in de opschaling.

5.5 OPSCHALING PETROFYSISCHE EIGENSCHAPPEN

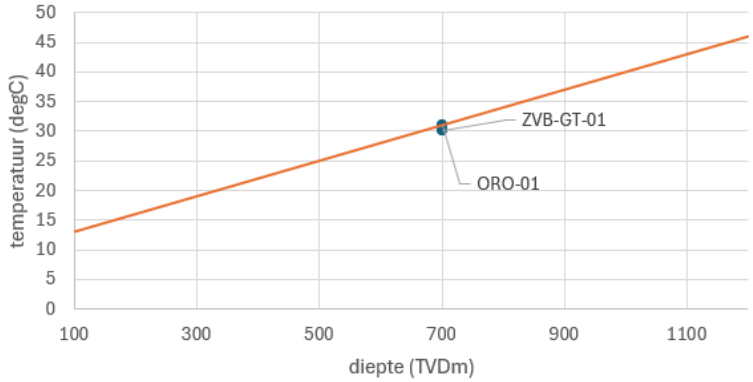
De doorlatendheid (permeabiliteit) van het Zand van Brussel Laagpakket is opgeschaald op kaart door middel van directe interpolatie met behulp van het Kriging algoritme in Surfer. De Netto/bruto verhouding (N/G) is ook direct geïnterpoleerd, maar bij deze interpolatie is er geambieerd om de erosiegrens mee te nemen door te interpoleren met in acht neming van de noordelijke en noordoostelijke randbreuken (Inverse Distance Weighted algoritme met breuken in Surfer).

5.6 TEMPERATUUR VS. DIEPTE

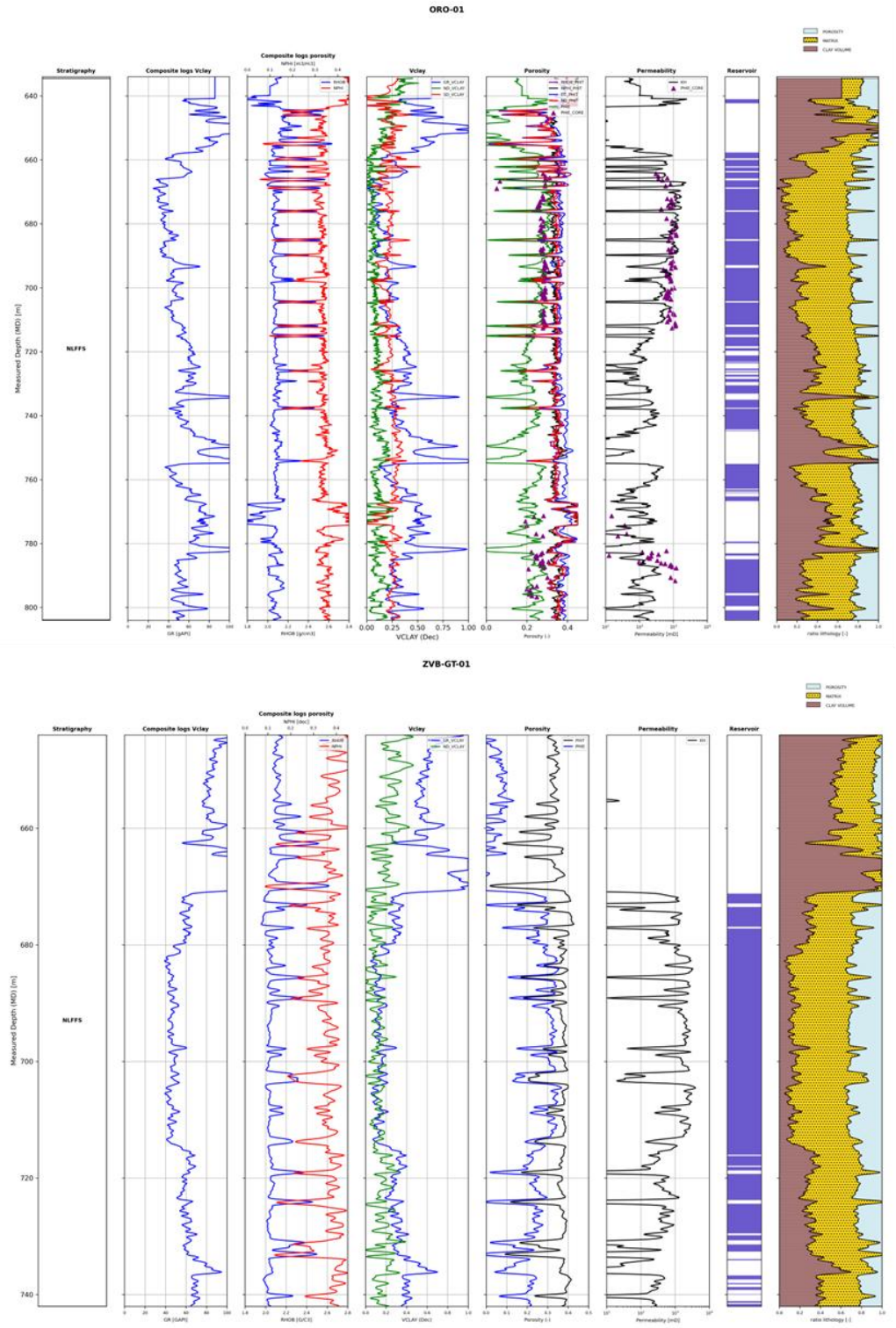
Op basis van de temperatuurmetingen in ORO-01 en ZVB-GT-01 is de volgende regionale temperatuur-diepte relatie opgesteld:

$$T\ (℃) = 10\ (℃) + 0{,}03\ (℃/\mathrm{m}) * \text{diepte}\ (\mathrm{m})$$

Deze relatie is direct gebruikt voor het omrekenen van de mid-reservoir dieptekaart naar een gemiddelde reservoir temperatuurkaart.



Figuur 5.20 | Temperatuur-diepte relatie opgesteld op basis van temperatuurmetingen in ORO-01 en ZVB-GT-01.



Figuur 5.21 | Resultaten van de petrofysische interpretatie van het Zand van Brussel Laagpakket in de SCAN-Boring ORO-01 (boven) en de geothermieboring ZVB-GT-01 (onder). Let op ZVB-GT-01 heeft niet het volledige Zand van Brussel Laagpakket aangeboord.

5.7 RESULTAATKAARTEN

Op basis van de input data en interpretaties zijn de volgende kwantitatieve resultaatkaarten gemaakt:

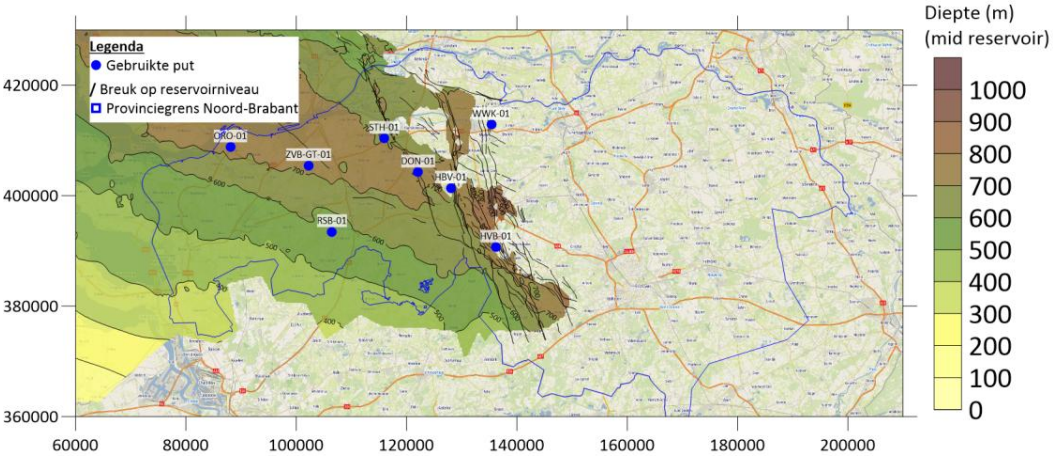
- **Diepte (mid-reservoir)**: Dit is de geschatte diepte van het midden reservoir. Om deze kaart te maken zijn de resultaten uit het WarmingUP project rechtstreeks gebruikt.
- **Bruto dikte**: Dit is de geschatte bruto dikte van het Zand van Brussel Laagpakket. Deze kaart komt uit het WarmingUp project.
- **Temperatuur (mid-reservoir)**: Dit is de geschatte gemiddelde temperatuur van het reservoir. Voor deze kaart zijn de mid-reservoir dieptekaart en de diepte vs. temperatuur relatie gebruikt.
- **Reservoireigenschappen**: Voor het Zand van Brussel zijn er ook kaarten gemaakt van de netto/bruto verhouding (N/G), de permeabiliteit en transmissiviteit. De N/G en permeabiliteit kaarten zijn gemaakt door de resultaten van de petrofysische interpretatie direct te interpoleren. De transmissiviteitskaart is een product van de bruto dikte, N/G en permeabiliteit.

Diepte (mid-reservoir)

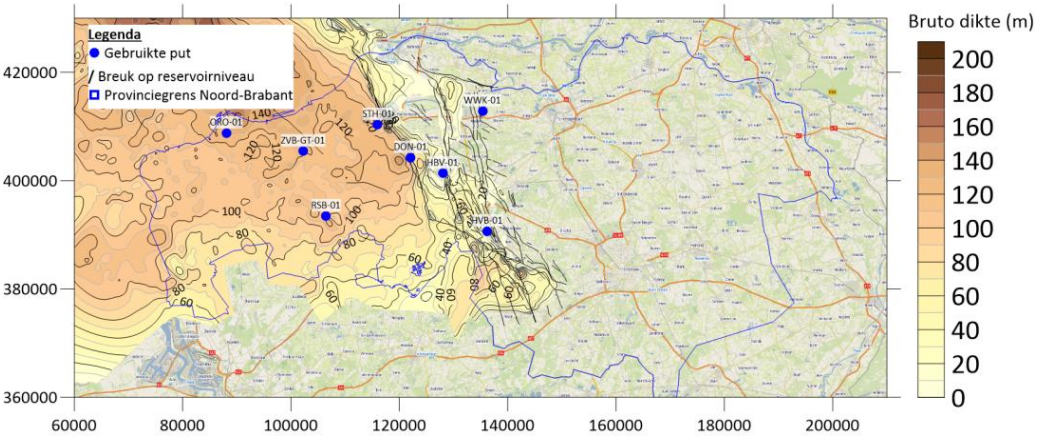
Het Zand van Brussel Laagpakket is hoofdzakelijk aanwezig in West-Brabant, waar de mid-reservoir diepte varieert tussen 150 en 900 meter. Richting het zuiden ligt het reservoir veelal te ondiep voor de toepassing van geothermie (< 500 meter). Op basis van de diepte lijkt het meest interessante gebied zich te bevinden rondom Oosterhout, Breda, Made, Moerdijk, Zevenbergen en Willemsstad (dieptes tussen de 600 – 800 meter).

Bruto dikte

De Bruto dikte van het Zand van Brussel Laagpakket varieert tussen de 0 en 150 meter. De grootste diktes worden gevonden in de gebieden waarbij geen erosie heeft plaatsgevonden, welke zich in zuidelijke, noordelijke en noordoostelijke richting bevinden. Op basis van de bruto dikte kaart lijkt wederom het gebied rondom Oosterhout, Breda, Made, Moerdijk, Zevenbergen en Willemsstad het meest interessant (diktes rond de 80 – 140 meter).



Figuur 5.22 | Dieptekaart (mid-reservoir) van het Zand van Brussel Laagpakket.



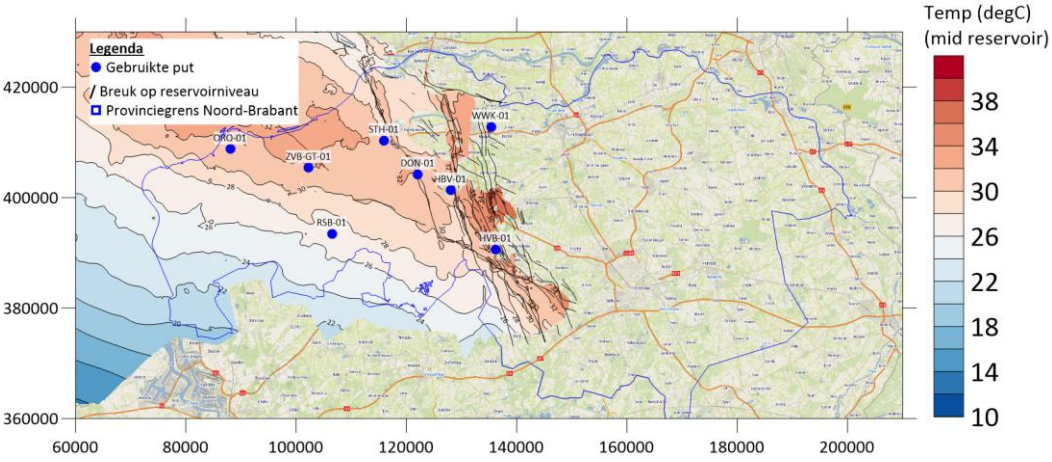
Figuur 5.23 | Bruto dikte van het Zand van Brussel Laagpakket.

Temperatuur (mid-reservoir)

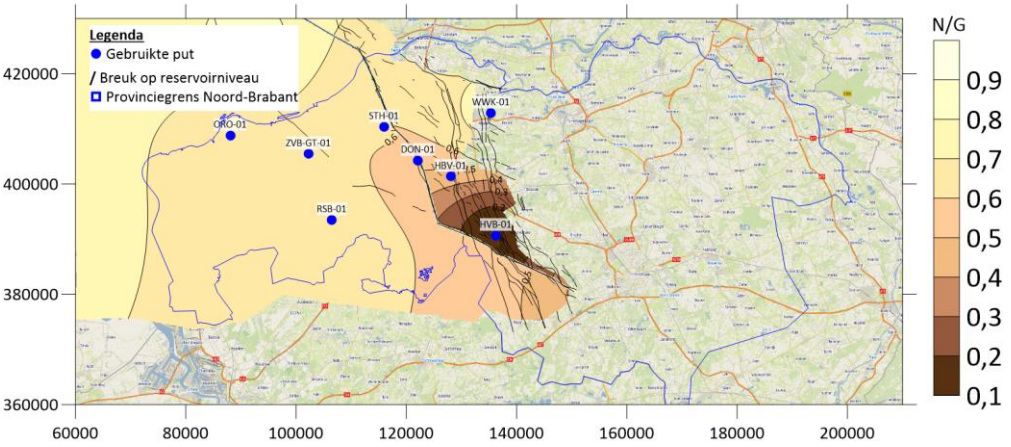
De temperatuur volgt eenzelfde patroon als de diepte en neemt daarom toe richting de kern van de putten ORO-01 en ZVB-GT-01. De hoogste temperaturen van rond de 30 graden Celsius zijn wederom te vinden in het gebied rondom Oosterhout, Breda, Made, Moerdijk, Zevenbergen en Willemsstad. Richting het zuiden zijn de temperaturen waarschijnlijk te laag voor de directe toepassing van geothermie.

Reservoir eigenschappen

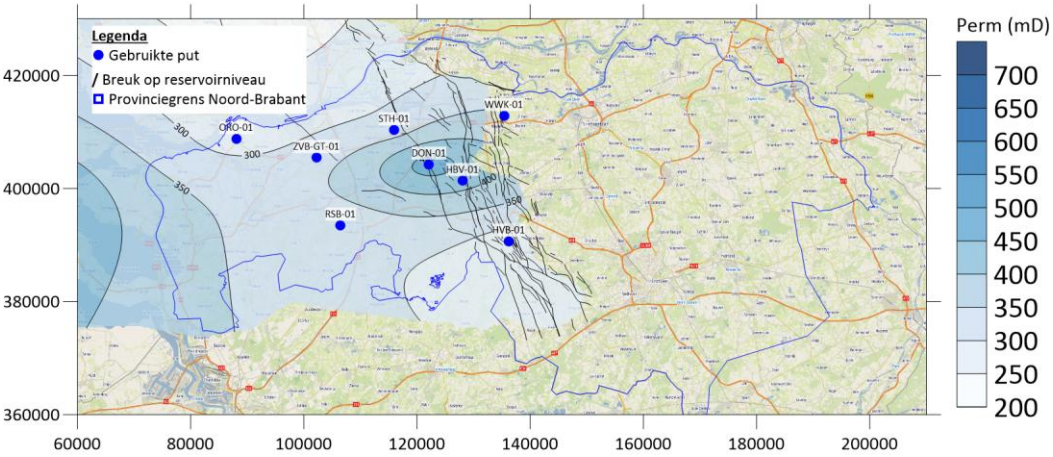
Afgezien van de gebieden waarbij significante erosie heeft plaatsgevonden, is de netto/bruto verhouding relatief constant (varieert tussen de 0.5 en 0.9). Dit zijn ook de gebieden waarbij de goede S3 zandlaag aanwezig is. De doorlatendheid is ook redelijk constant en varieert tussen de 250 en 450 mD (WWK-01 en ZVB-GT-01 zijn niet meegenomen). Hiermee zijn de doorlatendheden voldoende maar bijvoorbeeld minder hoog dan bijvoorbeeld is gezien bij de Formatie van Breda.



Figuur 5.24 | Temperatuurkaart (mid-reservoir) van het Zand van Brussel Laagpakket.

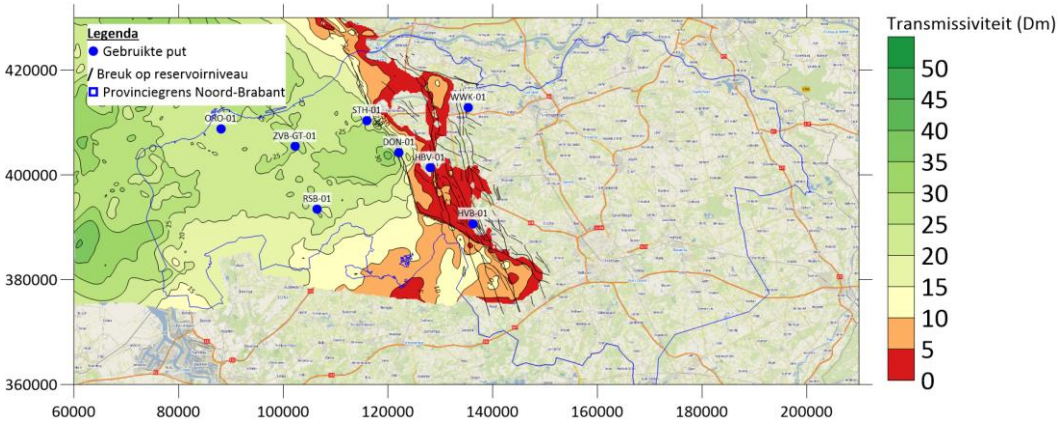


Figuur 5.25 | Netto/Bruto verhouding van het Zand van Brussel Laagpakket.



Figuur 5.26 | Gemiddelde doorlatendheid van het Zand van Brussel Laagpakket.

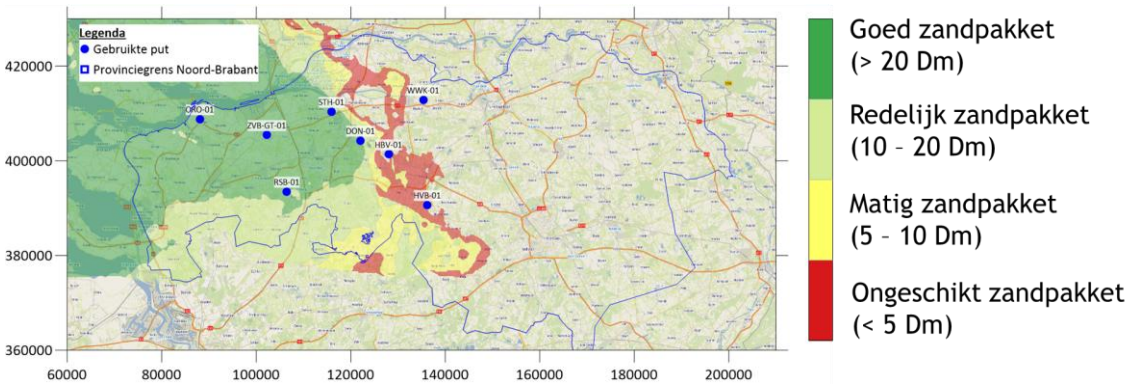
De transmissiviteit van het Zand van Brussel Laagpakket varieert tussen de 0 Dm in het oosten tot bijna 40 Dm richting het westen. Deze grote verschillen worden met name veroorzaakt door de grote verschillen in de netto zand dikte. Voor het interessante gebied rondom Oosterhout, Breda, Made, Moerdijk, Zevenbergen en Willemsstad is de transmissiviteit altijd boven de 20 Dm en daarmee waarschijnlijk voldoende geschikt voor de toepassing van geothermie.



Figuur 5.27 | De transmissiviteit van het Zand van Brussel Laagpakket.

5.8 RESERVOIRKWALITEIT

De reservoirkwaliteitskaart is afgeleid van de transmissiteitskaart. Deze kaart laat zien dat grote delen van West-Brabant redelijk tot goede zanden bevatten. Richting het oosten en noordoosten wordt het Zand van Brussel veelal matig tot ongeschikt. Dit komt hoofdzakelijk door significante afnames in de netto zand dikte.



Figuur 5.28 | Kwalitatieve reservoirkwaliteit van Zand van Brussel Laagpakket. Voor deze kaart is de transmissiviteitskaart gebruikt.

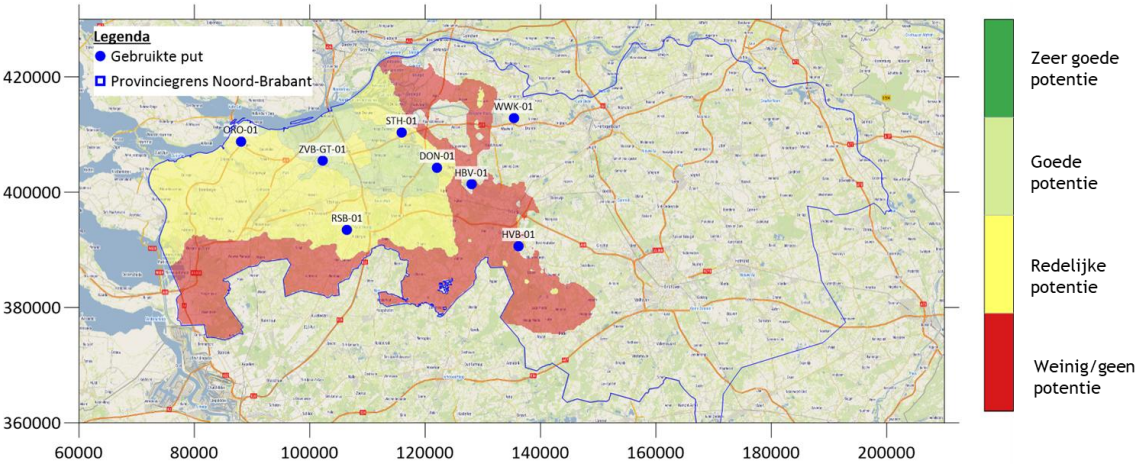
5.9 UITGANGSPUNTEN POTENTIE BEREKENINGEN

Voor de potentieberekeningen zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd. Deze uitgangspunten kunnen worden geoptimaliseerd voor locatie-specifieke studies of projecten.

Parameter	Eenheid	Grid/waarde	Bron
Dikte	[m]	Grid	O.b.v. Bruto dikte WarmingUP
Temperatuur	[°C]	Grid	O.b.v. dieptekaart en een regionale temperatuurgradiënt
Doorlatendheid	[mD]	Grid	O.b.v. interpolatie van putgegevens
N/G	[-]	grid	O.b.v. interpolatie van putgegevens
Saliniteit	[g/l]	30	Metingen ORO-01 en ZVB-GT-01
Putafstand	[m]	1100	Standaard afstand
COP	[-]	15	COP = Coëfficiënt of Performance, 15 is een standaardwaarde voor een geothermiesysteem
Injectietemperatuur	[°C]	10	Standaard voor geothermiesystemen met een relatief lage temperatuur (<30°C)
Pomprendement	[-]	0,7	Standaard waarde
Skin	[-]	0	Er wordt geen skin aangenomen
Maximale injectiedruk	[bar/m]	0,135	SODM-norm. Deze norm is het eerste uitgangspunt. Hier kan van worden afgeweken mits je kan aantonen dat dit veilig kan.

5.10 POTENTIEKAARTEN

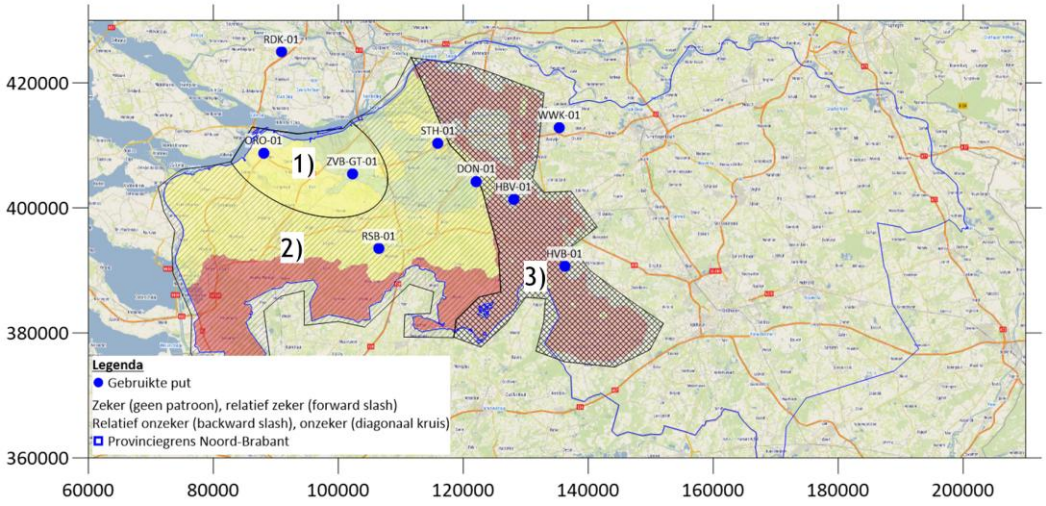
De potentie voor ondiepe geothermie van het Zand van Brussel Laagpakket is in Figuur 5.29 te zien. Voor het maken van dit figuur zijn de kwantitatieve resultaatkaarten gecombineerd met de kwalitatieve reservoirkwaliteitskaart en de operationele uitgangspunten. Op de potentiekaart is te zien dat het reservoir met name in het centrale deel van West-Brabant goede tot redelijke potentie heeft voor ondiepe geothermie. Aan de randen en in het noorden is er weinig/geen potentie. Voor het gebied met redelijke tot goede potentie kan er nog worden gekeken naar een optimalisatie van de operationele uitgangspunten zoals het verhogen maximale injectiedruk of verlagen van de injectietemperatuur om de potentie te verbeteren. Zolang dit technisch haalbaar is en valt binnen de juridische wet en regelgeving.



Figuur 5.29 | Potentiekaart van het Zand van Brussel Laagpakket.

5.11 ONZEKERHEDEN

Voor het Zand van Brussel bestaan er onzekerheden. Deze variëren van gebied tot gebied en staan in het onderstaande figuur en in de onderstaande tabel uiteengezet.



Figuur 5.30 | *Onzekerheidskaart van het Zand van Brussel Laagpakket als overlay op de geothermische potentiekaart.*

Tabel 5.17 | Inschatting en onderbouwing van de onzekerheid voor het Zand van Brussel Laagpakket in de verschillende gebieden. Zie hoofdstuk 4.6 voor meer informatie over het inschatten van de onzekerheid.

	Gebied 1	Gebied 2	Gebied 3
Gebiedsomschrijving	Gebieden direct rondom de putten ORO-01 en ZVB-GT-01	Grootste gedeelte van West-Brabant waarbinnen de S3 zanden veelal aanwezig zijn	Gebied rondom gebied 2 die wordt gekenmerkt door de afwezigheid van de S3 zanden, grote dikte verschillen en een sterke verbreuking.
1) Gebruikte data	De gebruikte data is goed (logs, kerndata en puttesten) en geeft daarmee een zeer goed beeld van de eigenschappen van het Zand van Brussel Laagpakket.	De gebruikte data in dit gebied is redelijk tot goed en geeft daarmee een redelijk goed beeld van de eigenschappen van het Zand van Brussel Laagpakket.	De gebruikte data in dit is redelijk tot goed.
2) Geologische complexiteit	In het volledige gebied is het S3 zand aanwezig. Wel zijn er over de gehele dikte dunne mergelbanken die de verticale anisotropie verhogen. Voorspeldbaarheid is daarmee relatief goed.	In het grote delen van gebied is het S3 zand aanwezig. Wel zijn er over de gehele dikte dunne mergelbanken die de verticale anisotropie verhogen. Op basis van de data is de voorspelbaarheid redelijk tot goed.	Dit gebied wordt gekenmerkt door een sterke verbreuking en relatief grote dikte verschillen. Soms is het Zand van Brussel Laagpakket zelfs volledig geërodeerd. Voorspelbaarheid is onzeker ondanks redelijk goede data.
3) Correlaties en modellen	De putten in dit gebied laten een redelijk constant beeld zien. Directe interpolatie lijkt daarmee een goede methode. Wel blijft er hierdoor een kleine onzekerheid bestaan. Zeker wanneer de afstand tot putten groter wordt.	De putten in dit gebied laten een redelijk constant beeld zien. Directe interpolatie lijkt daarmee een goede methode. Wel blijft er hierdoor een kleine onzekerheid bestaan. Zeker wanneer de afstand tot putten groter wordt.	De putten in dit gebied laten een sterk wisselend beeld zien. De gehanteerde interpolatie methode creëert daarmee een grote onzekerheid voor dit gebied. Zeker met enige afstand tot te putten.
Uiteindelijke zekerheid	**Zeker**	**Relatief zeker**	**Onzeker**

Bijlage 6 Formatie van Vaals en Oploo

In deze bijlage beschrijven we beknopt de belangrijkste stappen, uitgevoerde analyses en interpretaties van de formaties van Vaals en Oploo. Ook zijn in deze bijlage relevante resultaten en tussenkaarten te vinden. Deze bijlage kan op zichzelf worden gelezen maar dient hoofdzakelijk als technische ondersteuning van de hoofdrapportage.

6.1 GEOLOGISCHE BESCHRIJVING FORMATIE VAN VAALS EN OPLOO

Tijdens het Laat-Krijt was een groot deel van Noord-Europa bedekt met een ondiepe zee. In deze zee werden dikke kalkpakketten gevormd, die onderdeel uitmaken van de Krijtkalk Groep. Aanvankelijk vormde het London-Brabant Massief en het Rijnlands Leisteenplateau landmassa's die boven het zeeniveau uitstaken. In het vroege Laat-Krijt onderging de Roerdalslenk tektonische inversie, waardoor ook dit gebied hoger kwam te liggen, en hier de afzettingen uit het Laat-Krijt grotendeels ontbreken. Aan de randen van deze hoger gelegen gebieden, in het huidige Limburg en het Peel-Maasbommelcomplex, werden marginale, ondiep mariene afzettingen gevormd. De hoger gelegen gebieden vormden een bron van (siliciklastisch) sediment. In Limburg en het Peel Maasbommelcomplex komen hierdoor glauconiethoudende zanden en kleiige zandstenen voor. Naar het noorden en westen toe, gaan deze afzettingen geleidelijk over in fijnkorrelige kalkstenen en mergels die zijn afgezet in een relatief dieper marien milieu, zonder aanvoer van siliciklastisch materiaal.

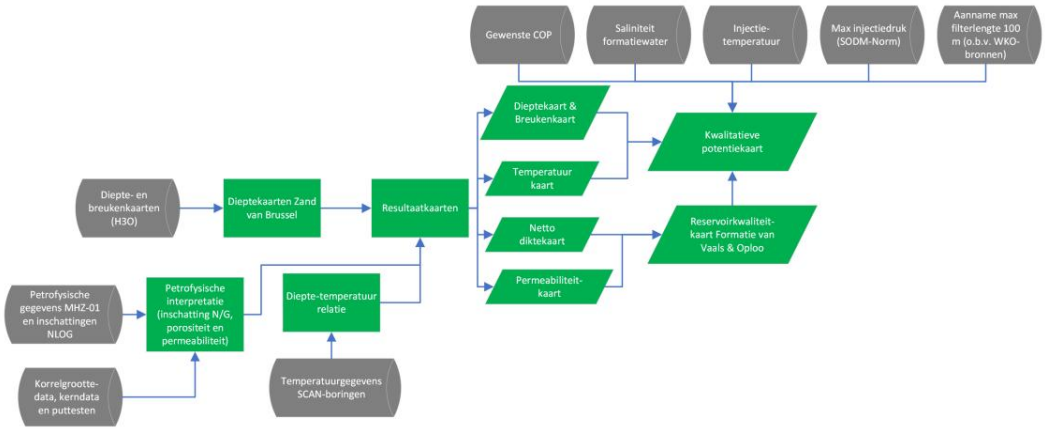
Vanwege het verschil in facies wordt in Limburg en het Peel Maasbommelcomplex een andere stratigrafische indeling gehanteerd voor de afzettingen uit het Laat-Krijt dan in de rest van Nederland. Deze indeling omvat de formaties van Aken, Vaals, Gulpen, Maastricht, en de Formatie van Houthem uit het Danian. Deze formaties vormen de laterale equivalent van de fijnkorrelige kalkstenen en mergels van de Formatie van Ommelanden, die werden afgezet in de rest van Nederland en de huidige Noordzee. De Formatie van Aken in Zuid Limburg omvat kust- en lagune afzettingen, terwijl naar het noorden de mariene invloed steeds prominenter werd. Op het Peel Maasbommelcomplex zijn, naast de kleiige zandstenen en glauconiethoudende zanden, ook bioklastische kalkstenen aangetroffen. Deze afzettingen worden op het Peel Maasbommelcomplex informeel aangeduid als formatie van Oploo. De formatie van Oploo is waarschijnlijk het tijdsequivalent van het bovenste deel van de Formatie van Aken in Zuid-Limburg.

Door voortschrijdende transgressie kwamen uiteindelijk ook het London Brabant Massief, het Rijnlands Leisteenplateau en de geïnverteerde Roerdalslenk onder water te liggen. In Limburg het Peelmaasbommelcomplex gaan de zandige formaties van Aken, Oploo en Vaals geleidelijk over in de door mergels en kalkstenen gedomineerde formaties van Gulpen, Maastricht en Houthem.

6.2 GEHANTEERDE WERKWIJZE

Voor het maken van de reservoirskwaliteitskaarten van de formaties van Vaals en Oploo zijn de volgende stappen gehanteerd:

1 Inladen van de dieptekaarten en breuken van de CK2, CK3 en CK4 groepen uit het H3O Peelhorst en Venloslenk model.
2 Inventarisatie van gegevens voor de petrofysische interpretatie, denk hierbij aan:
   - Kerndata van verschillende putten binnen en rond het interpretatiegebied.
   - Petrofysische logdata voor meerdere putten binnen het interpretatiegebied.
   - Temperatuurlog metingen.
3 Petrofysische interpretatie van putten met voldoende logs binnen het interpretatiegebied:
   - Petrofysisch geïnterpreteerde putten: MHZ-01
   - Voor het omrekenen van de porositeit naar permeabiliteit zijn de d50 korrelgroottes in combinatie met het Van Baaren 1979 model gebuikt (Veldkamp et al., 2022).
4 Opstellen van temperatuur-diepte relatie met behulp een temperatuurlog van MHZ-01.
5 Maken van de kwantitatieve resultaatkaarten zoals: diepte mid-reservoir en temperatuur mid-reservoir, bruto dikte, netto/bruto verhouding (N/G) en permeabiliteit.
6 Maken van de reservoirkwaliteitskaart op basis van de reservoir transmissiviteit. Hierbij is een maximale filterlengte van 100 m gehanteerd.
7 Maken van de kwalitatieve potentiekaart op basis van de kwantitatieve kaarten, kwalitatieve reservoirkwaliteitskaart, operationele uitgangspunten en een in-house python model.



Figuur 5.31 | Gehanteerde werkwijze voor de Formatie van Vaals en Oploo.

6.3 INPUT GEGEVENS

H3O-kaarten
Om de formaties van Oploo en Vaals voor de gehele provincie Noord-Brabant in kaart te brengen is de interpretatie van de CK2, CK3 en CK4 uit H3O Peelhorst en Venloslenk gebruikt (zie Figuur 5.7). Voor de breukenkaart zijn de geïnterpreteerde breuken aan top van de Krijtkalk Groep gebruikt.

Petrofysische gegevens
Om de reservoireigenschappen van de formaties van Oploo en Vaals in kaart de brengen zijn er een aantal putten met voldoende data kwalitatief geïnterpreteerd. Daarnaast is de recent geboorde MHZ-01 put volledig petrofysisch geïnterpreteerd met de tot nu toe vrijgekomen data (tijd van schrijven februari 2026). De gebruikte putten en gehanteerde methodes staan uiteengezet in de onderstaande tabel.

Tabel 5.18 | Petrofysische gegevens gebruikt voor de interpretatie van de formaties van Oploo en Vaals

Putnaam	Opmerking	Methode Porosity	Methode Vclay	Compaction factor	Clay porosity	Methode Perm	Grainsize (D50) (um)
NVG-01	Composite log bekeken	-	-	-	-	-	-
SNM-01	Composite log bekeken	-	-	-	-	-	-
MSB-02	Composite log bekeken	-	-	-	-	-	-
MSB-01	Composite log bekeken	-	-	-	-	-	-
HEE-01	Composite log bekeken	-	-	-	-	-	-
OPL-16	Lithologische beschrijving bekeken	-	-	-	-	-	-
MHZ-01	Clay porosity kon niet goed worden ingeschat vanuit de logs omdat ze door de casing zijn geschoten.	RHOB	GR	-	0.32 (op basis van compaction curve)	van Baaren	215 (metingen NLOG)

Korrelgroottemetingen en kerndata
Voor het omrekenen van de porositeit naar permeabiliteit is het Van Baaren 1979 model gebruikt (Veldkamp et al., 2022). Belangrijke input voor dit model zijn d50 (gemiddelde) korrelgroottes. Er zijn enkel korrelgroottemetingen beschikbaar vanuit de SCAN-boring MHZ-01.

6.4 PETROFYSISCHE INTERPRETATIE

Porositeit vs permeabiliteit: Van Baaren 1979 Model
Om de porositeit naar permeabiliteit om te rekenen is het Van Baaren 1979 model gebruikt:

$$k = 10\, D_{50}^{2} C^{-3.64} \varphi^{m+3.64}$$

Hierbij is:

k permeabiliteit [mD]
D_{50} dominante (gemiddelde) korrelgrootte [µm]
C sorting factor [-] (vastgezet op 0.84 o.b.v. mudlog beschrijving)
φ porositeit [-] uit petrofysische interpretatie
m cementation factor [-] (vastgezet op 1.4 o.b.v. mudlog beschrijving)

Er zijn enkel korrelgroottemetingen beschikbaar vanuit de MHZ-01 put voor de formaties van Oploo en Vaals in Noord-Brabant. Op basis van deze gegevens is een permeabiliteit tussen 900 - 1100 mD bepaald. Voor andere putten in de omgeving zijn aannames gemaakt met betrekking tot de permeabiliteit. In de OPL-16 put zijn de formaties van Oploo en Vaals aangetroffen. Er is aangenomen dat de zanden in de OPL-16 put een vergelijkbare permeabiliteit hebben als die in

de MHZ-01 put. De permeabiliteit ter plaatse van de OPL-16 is daarom op 1000 mD ingeschat. In meer noordelijke putten, NVG-01, HEE-01, MSB-01, SNM-01, zijn de formaties van Oploo en Vaals niet aangetroffen, maar bestaan de afzettingen uit het Laat-Krijt volledig uit de Formatie van Ommelanden. Aangenomen wordt dat deze afzettingen niet doorlatend zijn. Dit is benaderd door de doorlatendheid ter plaatse van deze putten op 1 mD in te stellen.

Netto/bruto verhouding

Er is enkel een meting van de N/G beschikbaar vanuit de MHZ-01 put. Voor de overige putten zijn daarom aannames gemaakt met betrekking tot de hoeveelheid netto zanden. In de boorbeschrijving van de OPL-16 put wordt het onderste deel van de formatie van Oploo beschreven als mergel. Dit is in lijn met de verwachtte geologische setting waarin de formatie van Oploo is afgezet. De N/G ter plaatse van de OPL-16 put is lager dan ter plaatse van de MHZ-01 put, en is ingeschat op 0,4. Voor de noordelijke putten is aangenomen dat er geen netto zanden aanwezig zijn omdat in deze putten enkel de kalkafzettingen van de Formatie van Ommelanden zijn aangetroffen.

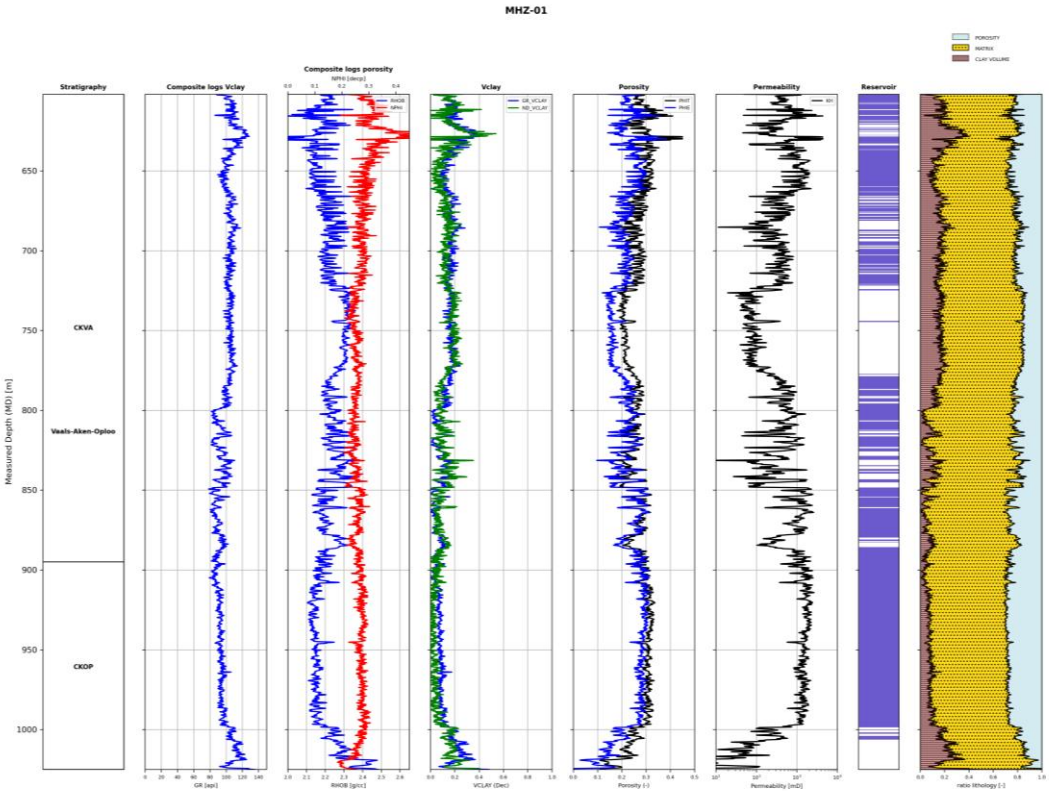
Resultaten

De resultaten van de petrofysische interpretatie zijn samengevat in tabel X.

Tabel 5.19 | Opgeschaalde resultaten van de petrofysische interpretatie van de formaties van Oploo en Vaals.

Put	Top (TVD)	Basis (TVD)	Bruto dikte (m)	Netto dikte (m)	N/G	Effectieve porositeit (-) Net reservoir	Perm (mD) Net reservoir	X RD	Y RD
NVG-01*	n.v.t	n.v.t	n.v.t	n.v.t	0	0.15	1	182939	432783
HEE-01*	n.v.t	n.v.t	n.v.t	n.v.t	0	0.15	1	166637	416073
MSB-01*	n.v.t	n.v.t	n.v.t	n.v.t	0	0.15	1	164203	427638
MSB-02*	n.v.t	n.v.t	n.v.t	n.v.t	0	0.15	1	164883	429301
SNM-01*	n.v.t	n.v.t	n.v.t	n.v.t	0	0.15	1	185710	425810
OPL-16**	n.v.t	n.v.t	n.v.t	n.v.t	0.4	0.26	1000	188500	402050
MHZ-01***	602	1025	423	290	0.68	0.26	900 - 1100	185258	390854

* Interpretatie op basis van inschattingen van de composite well log op NLOG en de lithologische beschrijving
** Inschattingen reservoireigenschappen (N/G, Phie, en Kh) op basis van lithologische beschrijving, geologische setting en interpretatie MHZ-01
*** Puttest resultaten MHZ-01: 100 - 200 - 800 Dm (interval 917 - 972 MD). Petrofysiche interpretatie zelfde interval: ±2000 mD = 100 Dm



Figuur 5.32 | Resultaten van de petrofysische interpretatie van de Formaties van Vaals en Oploo in de SCAN-Boring MHZ-01

6.5 OPSCHALING PETROFYSISCHE EIGENSCHAPPEN

De doorlatendheid (permeabiliteit) en de Netto/bruto verhouding (N/G) van de formaties van Oploo en Vaals zijn opgeschaald op kaart door middel van directe interpolatie met behulp van het Kriging algoritme in Surfer.

6.6 TEMPERATUUR VS. DIEPTE

Op basis van de temperatuurlog in MHZ-01 is de volgende regionale temperatuur-diepte relatie opgesteld:

$$T\ (°C) = 12\ (°C) + 0{,}03\ (°C/m) * \text{diepte}\ (m)$$

Deze relatie is geijkt op de temperatuurmeting op een diepte van 950 m in de MHZ-01 put en een beschikbare temperatuurlog. De relatie is direct gebruikt voor het omrekenen van de mid-reservoir dieptekaart naar een gemiddelde reservoir temperatuurkaart.

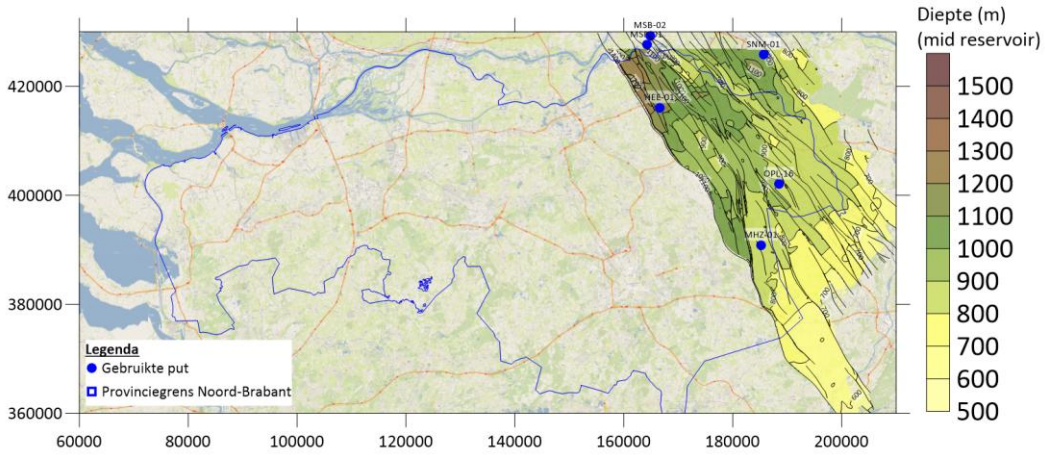
6.7 RESULTAATKAARTEN

Op basis van de input data en interpretaties zijn de volgende kwantitatieve resultaatkaarten gemaakt:

- **Diepte (mid-reservoir)**: Dit is de geschatte diepte van het midden reservoir. Om deze kaart te maken zijn de kaarten van de CK2, CK3 en CK4 groepen uit het H3O Peelhorst en Venloslenk model gebruikt.
- **Bruto dikte**: Dit is de geschatte bruto dikte van de formaties van Oploo en Vaals. Om deze kaart te maken zijn de kaarten van de CK2, CK3 en CK4 groepen uit het H3O Peelhorst en Venloslenk model gebruikt.
- **Temperatuur (mid-reservoir)**: Dit is de geschatte gemiddelde temperatuur van het reservoir. Voor deze kaart zijn de mid-reservoir dieptekaart en de diepte vs. temperatuur relatie gebruikt.
- **Reservoireigenschappen**: Voor de formaties van Oploo en Vaals zijn er ook kaarten gemaakt van de netto/bruto verhouding (N/G), de permeabiliteit en transmissiviteit. De N/G en permeabiliteit kaarten zijn gemaakt door de resultaten van de petrofysische interpretatie direct te interpoleren. De transmissiviteitskaart is een product van de bruto dikte, N/G en permeabiliteit. Hiervoor is een maximale filterlengte van 100 m aangehouden.

Diepte (mid-reservoir)

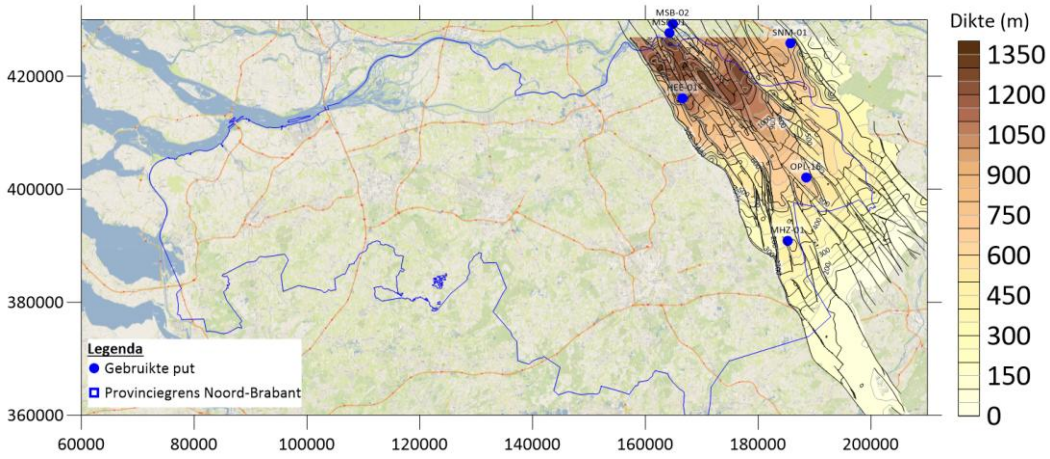
De formaties van Oploo en Vaals zijn hoofdzakelijk aanwezig in Oost-Brabant, waar de mid-reservoir diepte varieert tussen 800 en 1250 meter. De diepste delen van het reservoir zijn te vinden in het noorden van de provincie. De diepte neemt geleidelijk af richting het zuidwesten.



Figuur 5.33 | Dieptekaart (mid-reservoir) van de formaties van Oploo en Vaals.

Bruto dikte

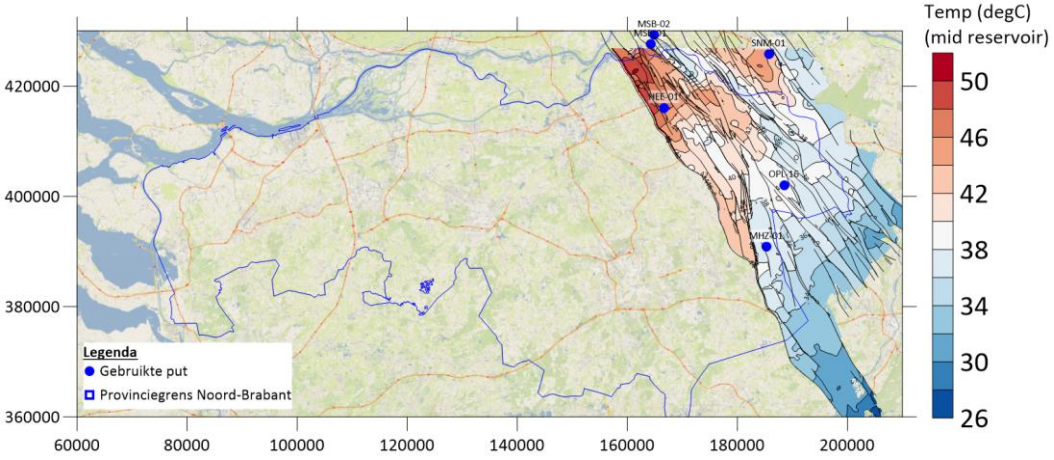
De bruto dikte van de formaties van Oploo en Vaals varieert tussen de 100 en 1350 meter. De dikte volgt grotendeels dezelfde trend als de diepte: de grootste diktes worden gevonden in het noorden van het gebied waar het reservoir het diepst begraven ligt. De dikte neemt geleidelijk af richting het zuiden waar het reservoir ondieper begraven ligt.



Figuur 5.34 | Bruto dikte van de formaties van Oploo en Vaals

Temperatuur (mid-reservoir)

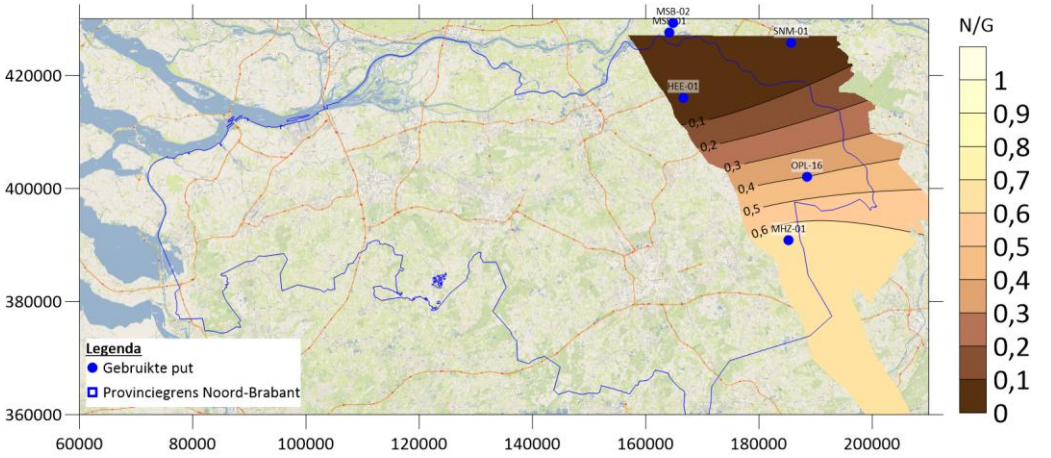
De temperatuur volgt eenzelfde patroon als de diepte en dikte. Temperaturen zijn het hoogst in het noorden van het de provincie, tot circa 50 graden Celsius, en nemen af richting het zuidwesten, tot circa 35 graden Celsius.



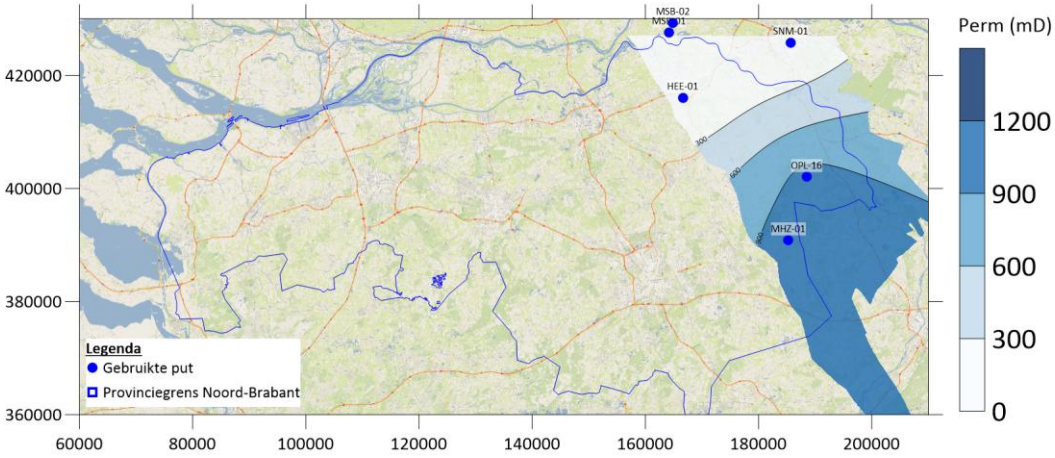
Figuur 5.35 | Temperatuurkaart (mid-reservoir) van de formaties van Oploo en Vaals.

Reservoir eigenschappen

De netto/bruto verhouding neemt sterk af van het zuiden naar het noorden, waar de zanden van de formaties van Oploo en Vaals geleidelijk overgaan in de kalkstenen van de Formatie van Ommelanden. In het Zuiden, rondom de MHZ-01 put is de N/G rond de 0.7. Vanaf de HEE-01 put zijn geen zanden meer aanwezig en is de N/G dus gelijk aan 0. Aangezien de Formatie van Ommelanden een zeer lage primaire doorlatendheid heeft neemt ook de permeabiliteit sterk af in noordwestelijke richting.

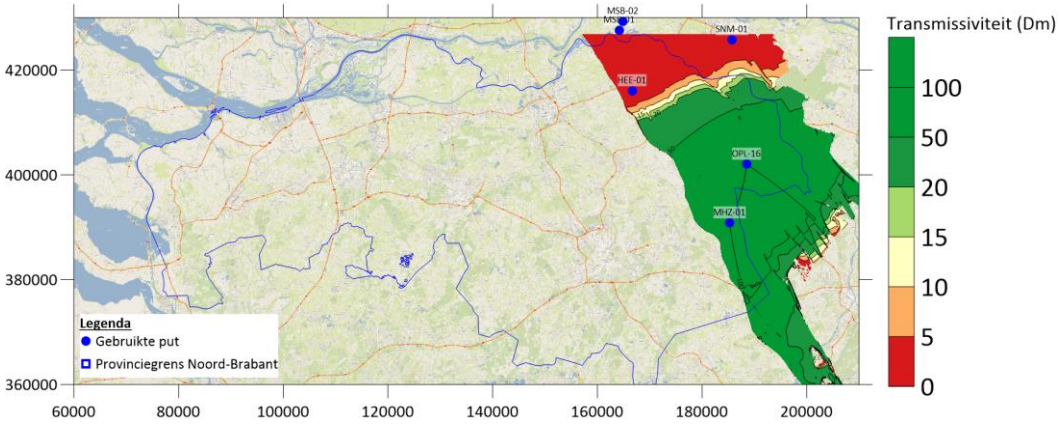


Figuur 5.36 | Gemiddelde N/G van de Formatie van Vaals en Oploo



Figuur 5.37 | Gemiddelde doorlatendheid van de Formatie van Vaals en Oploo

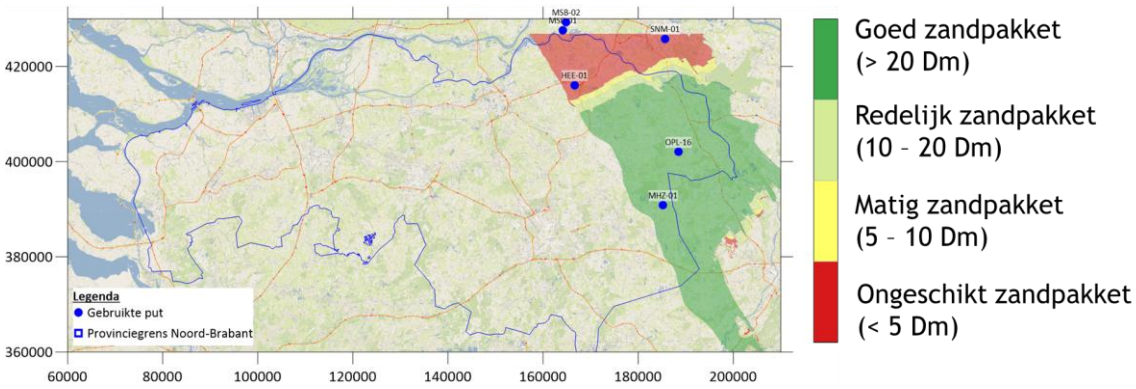
De transmissiviteit wordt sterk beïnvloed door de netto/bruto verhouding en permeabiliteit en volgt nagenoeg dezelfde trend. Dit betekent dat de transmissiviteit ook sterk afneemt in noordelijke richting. Voor het maken van de transmissiviteitskaart is een maximale filterlengte (netto dikte) van 100 meter aangehouden. Deze max komt uit ervaringen van maximaal gebruikte filterlengtes bij WKO, MTO en HTO boringen in ongeconsolideerde zanden.



Figuur 5.38 | De transmissiviteit van de Formatie van Vaals en Oploo voor een maximale filterlengte van 100 m.

6.8 RESERVOIRKWALITEIT

De reservoirkwaliteitskaart is afgeleid van de transmissiviteitskaart. Deze kaart laat zien dat een groot deel van oostelijk Noord-Brabant goede zanden bevat. Richting het noorden worden de formaties van Oploo en Vaals ongeschikt vanwege een afname in de netto zand dikte en de overgang van mergel en krijtkalk.



Figuur 5.39 | De reservoirkwaliteit van de Formatie van Vaals en Oploo voor een maximale filterlengte van 100 m.

6.9 UITGANGSPUNTEN POTENTIE BEREKENINGEN

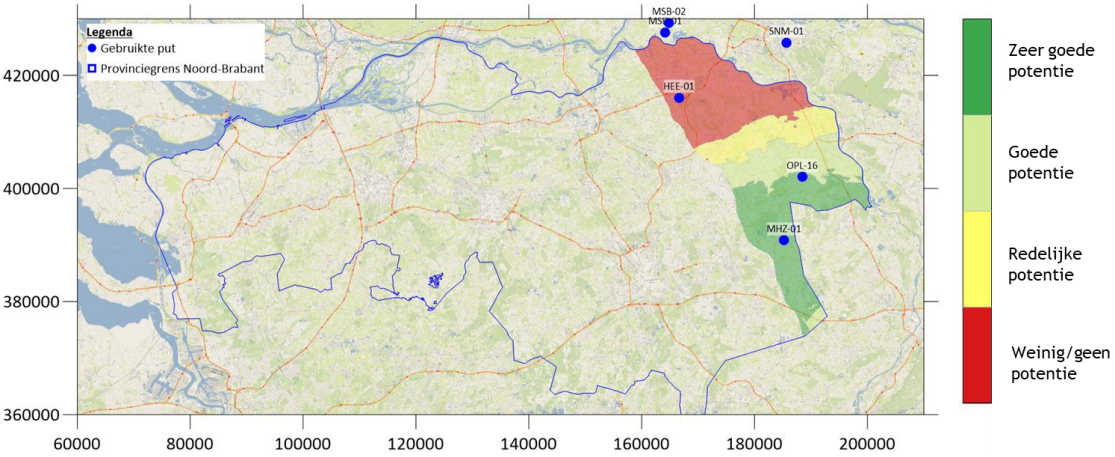
Voor de potentieberekeningen zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd. Deze uitgangspunten kunnen worden geoptimaliseerd voor locatie-specifieke studies of projecten.

Parameter	Eenheid	Grid/waarde	Bron
Diepte	[m]	Grid	Mid reservoir dieptekaart
Dikte	[m]	Grid (max 100 m)	Netto zanddikte. Er is een max van 100 m gezet. Deze max komt uit ervaringen van maximaal gebruikte filterlengtes bij WKO, MTO en HTO boringen
Temperatuur	[°C]	Grid	O.b.v. dieptekaart en een regionale temperatuurgradiënt
Doorlatendheid	[mD]	Grid	Interpolatie van resultaten uit de petrofysische interpretatie en geologische setting
Saliniteit	[g/l]	50	Inschatting

Putafstand	[m]	1100	Standaard afstand
COP	[-]	15	COP = Coëfficiënt of Performance, 15 is een standaardwaarde voor een geothermiesysteem
Injectietemperatuur	[°C]	15	Standaard voor geothermiesystemen met een relatief lage temperatuur (<50°C)
Pomprendement	[-]	0,7	Standaard waarde
Skin	[-]	0	Er wordt geen skin aangenomen
Maximale injectiedruk	[bar/m]	0,135	SODM-norm. Deze norm is het eerste uitgangspunt. Hier kan van worden afgeweken mits je kan aantonen dat dit veilig kan.

6.10 POTENTIEKAARTEN

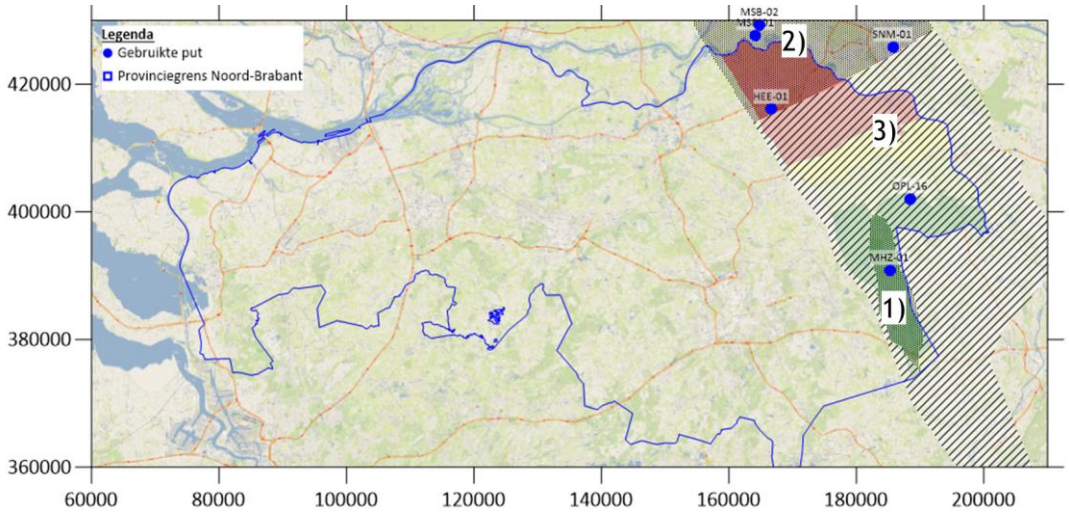
De potentie voor ondiepe geothermie van de Formatie van Vaals en Oploo is in Figuur 5.40 te zien. Voor het maken van dit figuur zijn de kwantitatieve resultaatkaarten gecombineerd met de kwalitatieve reservoirkwaliteitskaart en de operationele uitgangspunten. Op de potentiekaart is te zien dat het reservoir met name in de onderste helft van het uiterste oosten van de provincie goede tot zeer goede potentie heeft (gebied rond Deurne, Gemert en Boxmeer). In het noorden van oostelijk Brabant is er geen zand meer aanwezig en is er dus ook geen potentie meer. In een lijn lopende van Uden naar Gennep wordt nog redelijke potentie geschat. Voor het gebied tussen de putten OPL-16 (meest noordelijke put met zand) en HEE-01 (meest zuidelijke put met mergel/krijtkalk) zijn de inschattingen zeer onzeker vanwege het ontbreken van harde datapunten. Voor het gebied met redelijke tot goede potentie kan er nog worden gekeken naar een optimalisatie van de operationele uitgangspunten zoals het verhogen maximale injectiedruk of verlagen van de injectietemperatuur om de potentie te verbeteren. Zolang dit technisch haalbaar is en valt binnen de juridische wet en regelgeving.



Figuur 5.40 | Potentiekaart van de Formatie van Vaals en Oploo

6.11 ONZEKERHEDEN

De opgestelde kaarten voor de formaties van Oploo en Vaals gaan gepaard met relatief veel onzekerheid. Een overzicht van de onzekerheid per gebied zijn in onderstaande figuur en in de onderstaande tabel uiteengezet.



Figuur 5.41 | Onzekerheidskaart van de Formatie van Vaals en Oploo als overlay op de geothermische potentiekaart.

Tabel 5.20 | Inschatting en onderbouwing van de onzekerheid voor de formaties van Oploo en Vaals in de verschillende gebieden. Zie hoofdstuk 4.6 voor meer informatie over het inschatten van de onzekerheid.

	Gebied 1	Gebied 2	Gebied 3
Gebiedsomschrijving	Gebieden direct rondom de MHZ-01 put	Gebied rondom de HEE-01, MSB-01, MSB-02 en SNM-01 putten	Grootste deel van oostelijk Noord-Brabant, inclusief het gebied rondom de OPL-16 put
1) Gebruikte data	De gebruikte data is goed (logs, kerndata en puttesten) en geeft daarmee een goed beeld van de eigenschappen van de formaties van Oploo en Vaals	Boorbeschrijvingen van putten HEE-01, MSB-01, MSB-02, SNM-01 en NVG-01	Enkel boorbeschrijvingen van de OPL-16 put en vergelijkbare putten zijn beschikbaar (e.g. HEL-07, LIE-22, HEL-05-A en SEV-19). Deze putten zijn lang geleden geboord (1910 – 1920) en bevatten enkel korte boorbeschrijvingen. Er is geen kern- log- of puttestdata van de formaties van Oploo en Vaals aanwezig in dit gebied
2) Geologische complexiteit	Alle putten laten een zien dat dit gebied ondiep marine afzettingen bevat (glauconiet zanden)	Alle putten laten een zien dat dit gebied marine afzettingen bevat (mergel en krijtkalk)	Alle putten ten zuiden van OPL-16 laten een zien dat dit gebied ondiep marine afzettingen bevat (glauconiet zanden). Ten noorden van OPL-16 en ten zuiden van HEE-01 is het, vanwege het ontbreken van data zeer onzeker (transitie zone: zand naar mergel/krijtkalk)
3) Correlaties en modellen	De putten ten zuiden van OPL-16 laten een redelijk constant beeld zien. Directe interpolatie lijkt daarmee een goede methode. Wel blijft er hierdoor een kleine onzekerheid bestaan. Zeker wanneer de afstand tot putten groter wordt en ten noorden van OPL-16.	De putten in dit gebied laten een redelijk constant beeld zien waaruit blijkt dat er geen netto zanden meer aanwezig zijn in dit gebied.	Voor de OPL-16 put is een inschatting van zowel de N/G als de permeabiliteit gemaakt op basis van de boorbeschrijving. Aangenomen wordt dat de N/G geleidelijk afneemt van zuid naar noord op basis van de geologische modellen. De opgestelde trend van N/G is echter zeer onzeker: het is onduidelijk tot hoever richting het noorden nog zandlagen aangetroffen kunnen worden, en of er

			ook verschillen tussen west en oost aanwezig zijn. De reservoireigenschappen en de geothermische potentie in dit gebied zijn sterk afhankelijk van de N/G verhouding, waardoor deze kaarten ook veel onzekerheid bevatten.
Uiteindelijke zekerheid	**Relatief zeker**	**Zeker**	**Onzeker**

Bijlage 7 Formatie van Nieuwerkerk

In deze bijlage beschrijven we beknopt de belangrijkste stappen, uitgevoerde analyses en interpretaties van de Formatie van Nieuwerkerk . Ook zijn in deze bijlage relevante resultaten en tussenkaarten te vinden. Deze bijlage kan op zichzelf worden gelezen maar dient hoofdzakelijk als technische ondersteuning van de hoofdrapportage.

7.1 GEOLOGISCHE BESCHRIJVING FORMATIE VAN NIEUWERKERK

De hieronder beschreven regionale geologie is overgenomen uit het wetenschappelijke artikel “Geology of the Upper Jurassic to Lower Cretaceous geothermal aquifers in the West Netherlands Basin – an overview” uit 2020 (Willems et al., 2020).

Tijdens het Midden-Jura ontstond door extensie in het West Nederland Bekken een reeks parallelle halfgrabens. Het West Nederland Bekken heeft een NW-ZO oriëntatie en wordt omringd door het London-Brabantmassief in het zuidoosten en de Zandvoortrug in het noordoosten. Gedurende het Laat-Jura en Vroeg-Krijt werd in dit gebied de Formatie van Nieuwerkerk afgezet. Vanwege syntektonische sedimentatie in het West Nederland Bekken zijn er grote verschillen in dikte van de fluviatiele sedimenten van de Formatie van Nieuwerkerk. Langs de bekkengrenzen en op horsten of pop-up structuren varieert de dikte van de formatie tussen 0 en 200 m, terwijl deze in de centrale delen van het bekken kan oplopen tot circa 1500 m. In Noord-Brabant komt ook een grote variatie van de dikte van de Formatie van Nieuwerkerk voor van 0 tot circa 1400 m.

De Formatie van Nieuwerkerk is onderverdeeld in drie laagpakketten:

- Laagpakket van Alblasserdam (onderste deel)
- Delft Zandsteen Laagpakket (middelste deel)
- Rodenrijs Kleisteen Laagpakket (bovenste deel)

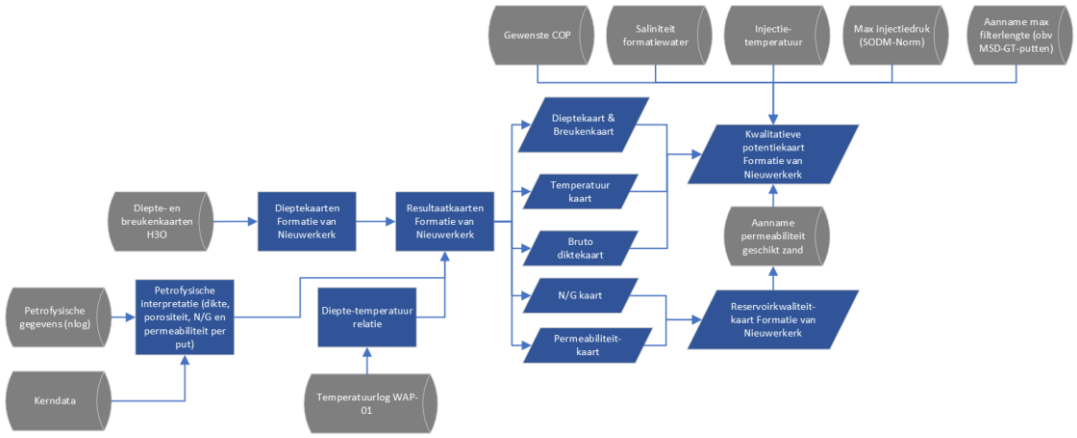
Het Laagpakket van Alblasserdam is afgezet in een rivierengebied. Het Delft Zandsteen-laagpakket ontstond in een vochtige kustvlakte met meanderende rivieren. Na een zeespiegelstijging verschoof deze kustvlakte landinwaarts, waardoor een lagune werd gevormd waarin klei werd afgezet: het Rodenrijs Kleisteen Laagpakket. Naar de top toe komen meerdere zandsteenlagen voor, waarschijnlijk ontstaan door overstromingen van de barrière in de lagune.

Richting de Roerdalslenk neemt de aanwezigheid van het Delft Zandsteen Laagpakket en het Rodenrijs Kleisteen Laagpakket af, terwijl het Laagpakket van Alblasserdam daar wel tot 1200 m dik kan zijn. Over de zandstenen in het Laagpakket van Alblasserdam is nog veel onbekend door beperkte data. Waar dit pakket eerst werd beschouwd als een laag netto-bruto interval, wijzen meerdere studies op de aanwezigheid van zandstenen die potentieel geschikt zijn voor geothermie.

7.2 GEHANTEERDE WERKWIJZE

Voor het maken van de reservoirkwaliteitskaart en kwalitatieve potentiekaart van de Formatie van Nieuwerkerk zijn de volgende stappen gehanteerd:

1 Inladen van de dieptekaarten en breuken van de Schieland Groep uit het H3O Diep Zuid-Nederland model.
2 Inventarisatie van gegevens voor de petrofysische interpretatie, denk hierbij aan:
   - Kerndata van verschillende putten binnen en rond het interpretatiegebied.
   - Petrofysische logdata voor meerdere putten binnen het interpretatiegebied.
   - Temperatuurlog metingen.
3 Petrofysische interpretatie van putten met voldoende logs binnen het interpretatiegebied:
   - (Petrofysisch geïnterpreteerde putten: DON-01, BRAK-01, ALM-01, WAP-01, HBV-01, LOZ-01, GSD-01, AND-06 en OIW-01.
   - Voor het omrekenen van de porositeit naar permeabiliteit is er een relatie op basis van de kerndata gebruikt.
4 Opstellen van temperatuur-diepte relatie met behulp van een gecorrigeerde temperatuurlog data.
5 Maken van de kwantitatieve resultaatkaarten zoals: diepte mid-reservoir en temperatuur mid-reservoir (vanwege de grote dikte van de Formatie van Nieuwerkerk zijn deze twee kaarten voor zowel de bovenste 50% als de onderste 50% gemaakt), bruto dikte, netto/bruto verhouding (N/G) en permeabiliteit.
6 Maken van de reservoirkwaliteitskaart op basis van de connectiviteit (N/G) en doorlatendheid van de goede zanden.
7 Maken van de kwalitatieve potentiekaart op basis van de kwantitatieve kaarten, kwalitatieve reservoirkwaliteitskaart, operationele uitgangspunten en een in-house python model.



Figuur 5.42 | Gehanteerde werkwijze voor de Formatie van Nieuwerkerk

7.3 INPUT GEGEVENS

H3O-kaarten

Om de Formatie van Nieuwerkerk voor de gehele provincie Noord-Brabant in kaart te brengen is de interpretatie van de Schieland Groep uit H3O Diep Zuid NL gebruikt (zie Figuur 5.7). Voor de breukenkaart zijn de geïnterpreteerde breuken aan de basis van de Schieland Groep gebruikt.

Petrofysische gegevens

Om de reservoir eigenschappen van de Formatie van Nieuwerkerk in kaart de brengen zijn er een aantal regionale putten met voldoende data geïnterpreteerd. De gebruikte putten en gehanteerde methodes staan uiteengezet in de onderstaande tabel.

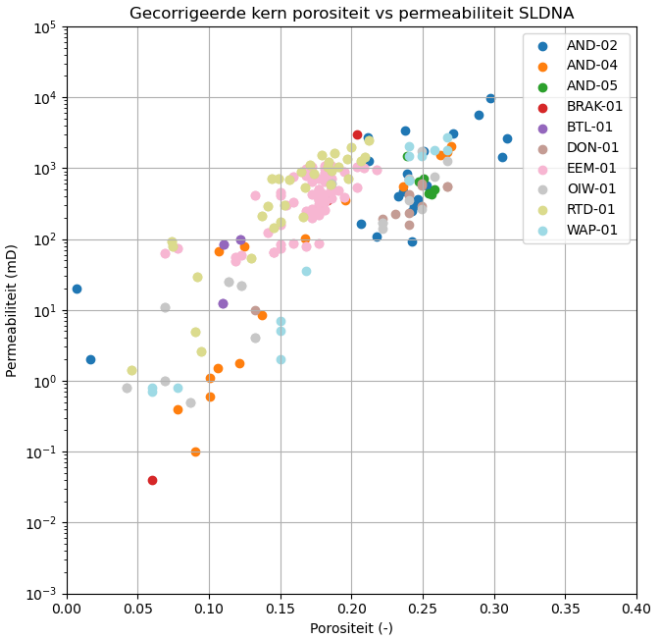
Tabel 5.21 | Petrofysische gegevens gebruikt voor de interpretatie van de Formatie van Nieuwerkerk

Putnaam	Opmerking	Methode Porosity	Methode Vclay	Compaction factor	Clay porosity	Methode Perm
DON-01	LN gebruikt (crain res deep). Betere fit met core data. Salinity uit BRAK-01 (120000 ppm)	Archie (crain res deep)	SP	-	0.15 (obv LN porosity in clay)	Poro perm
BRAK-01	RHOB gebruikt vanweg betere fit met core data	RHOB	GR	-	RHOB clay = 0.2 in kleilagen in SLDNA	Poro perm
ALM-01	Compactie factor van 1.35 gebruikt (1.4 bovenin en 1.3 onderin)	DT wyllie (unconsolidated)	GR	1.35	DT = 0.4 (0.38 onderin 0.43 bovenin	Poro perm
WAP-01	LN gebruikt (crain res deep). Betere fit met core data. Salinity uit BRAK-01 (120000 ppm)	Archie (crain res deep)	SP	-	0.15 (obv LN porosity in clay)	Poro perm
HBV-01	Compactie factor van 1.2 gebruikt	DT wyllie (unconsolidated)	GR	1.20	DT = 0.32 (obv van DT in clay)	Poro perm
LOZ-01	LN gebruikt (crain res deep). Betere fit met core data. Salinity uit BRAK-01 (120000 ppm). Interpretatie is zeer onzeker. Geen kerndata voor evaluatie.	Archie (crain res deep)	SP	-	0.15 (obv LN porosity in clay)	Poro perm
OIW-01	LN gebruikt (crain res deep).	Archie (crain res deep)	SP	-	other wells	Poro perm
AND-06	RHOB gebruikt	RHOB	GR	-	RHOB clay = 0.25 in kleilagen in SLDNA	Poro perm
HSW-01	DT gebruikt	DT (wyllie)	GR	1.0	DT = 0.33 (o.b.v. kleilagen in SLDNA)	Poro perm

Kerndata

Voor verschillende boringen in en rond de provincie Noord-Brabant is er kerndata beschikbaar voor de Formatie van Nieuwerkerk. Deze data is gebruikt voor het opstellen van een porositeit-permeabiliteit relatie en gebruikt voor de validatie van de geïnterpreteerde resultaten.

Voorafgaand aan het opstellen van relatie en de validatie is de kerndata wel gecorrigeerd naar een brine permeabiliteit met behulp van de Juhasz correctie[13].



Figuur 5.43 | Gecorrigeerde kerndata van de Formatie van Nieuwerkerk voor putten in en rond de provincie Noord-Brabant.

Temperatuurlog data
In de WAP-01 put is een temperatuurlog beschikbaar voor de gehele Formatie van Nieuwerkerk. Deze log is gebruikt voor het opstellen van een regionale temperatuur-diepte relatie. Voorafgaand aan het opstellen van de relatie is de originele log data gecorrigeerd voor boorspoeling effecten met behulp van (Schumacher & Moeck, 2020).

7.4 PETROFYSISCHE INTERPRETATIE

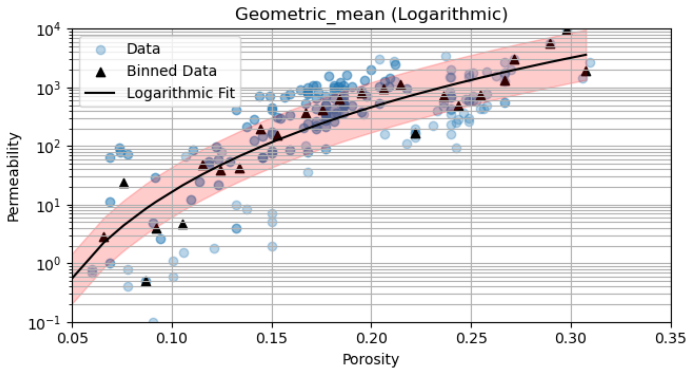
Porositeits-permeabiliteit relatie
Op basis van de brine permeabiliteit kerndata is er een best fit logaritmische relatie opgesteld:

$$k_h = 10^{4.79 \cdot \log(\varphi) + 6.01}$$

Hierbij is:

- k_h de brine permeabiliteit in mD
- en φ de brine porositeit (-)

[13] Juhasz, I., 1986. Conversion of routine air-permeability data into stress brine-permeability data. *Society of Professional Well Log Analysts, Aberdeen Chapter, 10th European Formation Evaluation Symposium Transactions, paper Y*, 1-15.



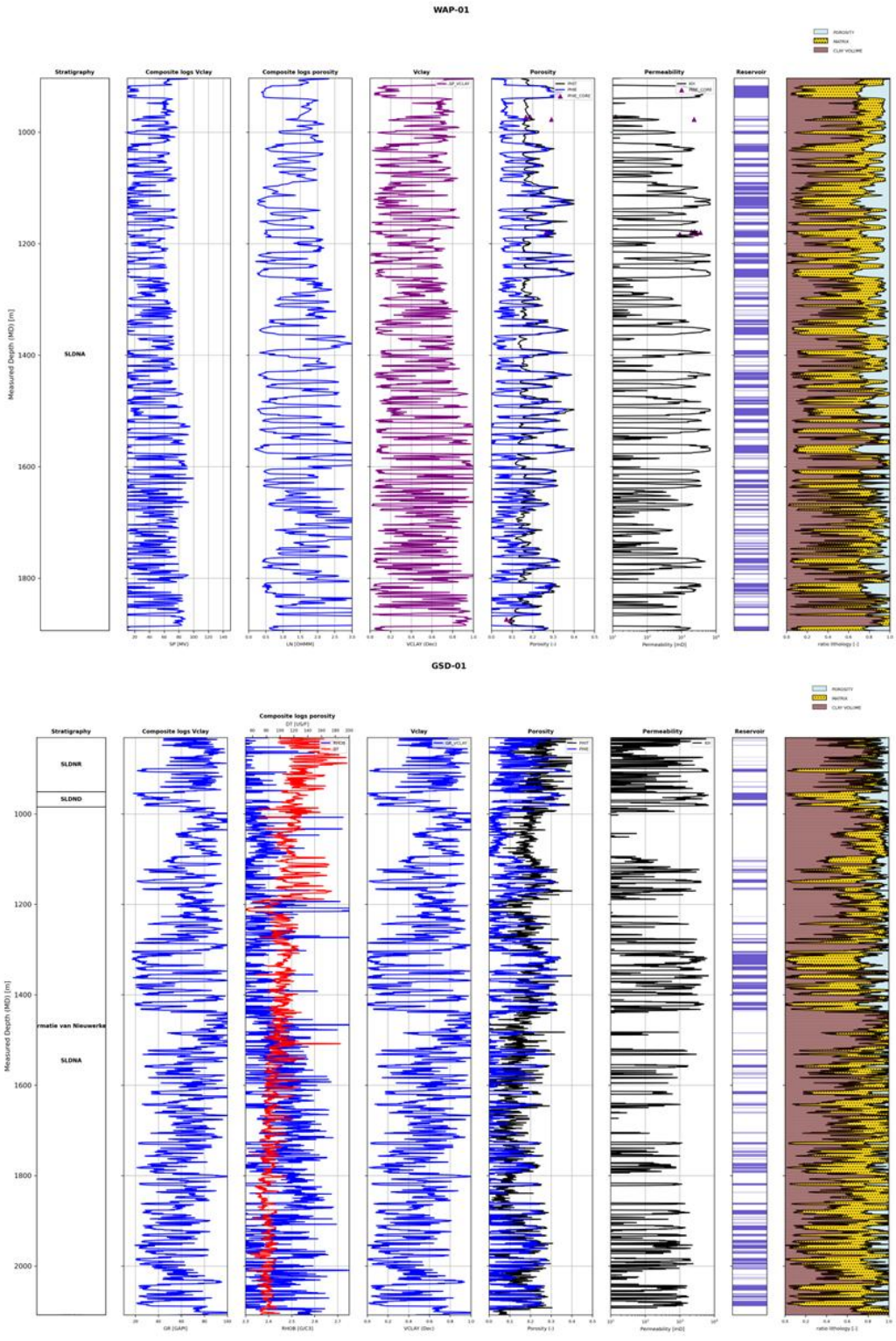
Figuur 5.44 | *Logaritmische porositeit-permeabiliteit relatie opgesteld op basis van het geometrisch gemiddelde van de brine permeabiliteit kerndata.*

Deze relatie is gebruikt om voor alle putten de porositeit om te rekenen naar een permeabiliteit.

Resultaten

De resultaten van de petrofysische interpretatie staan samengevat in Tabel 5.22. Allereerst laten de putten WAP-01 en GSD-01 duidelijk de opbouw van de Formatie van Nieuwerkerk zien (Figuur 5.45), welke volledig bestaat uit een dikke opeenstapeling van zand- en kleilagen. De zandlagen zijn vaak erg doorlatend (permeabiliteit varieert tussen 100 – 5000 mD). De gemiddelde permeabiliteit per put kan wel sterk variëren. Hierbij laten meer westelijk gelegen putten hogere doorlatendheden zien. Ook is de gemiddelde permeabiliteit per put erg afhankelijk van de gekozen middelingstechniek (geometrisch vs. aritmetisch). Wat ook sterk verschilt per put is de netto/bruto verhouding. Ook hier laten de meer westelijk gelegen putten (e.g. WAP-01) hogere N/G waardes en volledige connectiviteit zien (N/G > 0.35 (Willems, 2017)). De netto/bruto verhouding neemt in westelijke richting af waardoor er alleen nog gedeeltelijke connectiviteit is (N/G < 0.35) (e.g. GSD-01).

Over het algemeen laat de petrofysische interpretatie zien dat de Formatie van Nieuwerkerk bestaat uit een opeenstapeling van goed doorlatend zand en niet doorlatende kleilagen. Omdat de zanden vrijwel altijd goed doorlatend zijn is de meest bepalende parameter voor de reservoirkwaliteit de connectiviteit tussen de zanden. Deze is sterk afhankelijk van de netto/bruto verhouding en de verdeling van het zand door de diepte. Op basis van de interpretatie zijn er twee gebieden te classificeren, namelijk: 1) een westelijk gebied met goed tot volledige connectiviteit tussen de zanden (e.g. WAP-01) en 2) een oostelijk gebied met gedeeltelijke connectiviteit (e.g. alleen middenin of onderin (GDS-01)).



Figuur 5.45 | Resultaten van de petrofysische interpretatie van de Formatie van Nieuwerkerk in WAP-01 (boven) en GSD-01 (onder). Deze interpretaties laten duidelijk de verschillen zien tussen gedeeltelijke en volledige connectiviteit tussen verschillende zandlagen.

Tabel 5.22 | Opgeschaalde resultaten van de petrofysische interpretatie van de Formatie van Nieuwerkerk.

Put	Top (TVD)	Basis (TVD)	Bruto dikte (m)	Netto dikte (m)	N/G	Effectieve porositeit (-) Net reservoir	Perm (mD) (GM - AM) Net reservoir	X RD	Y RD
DON-01	1240	1325	85	50.7	0.60	0.19	332 - 765	122097	404250
BRAK-01	852	1231.5	379.5	108.6	0.29	0.16	141 - 885	131847	423535
ALM-01	767	1851.9	1084.9	254.6	0.23	0.16	177 - 1103	127832	420524
WAP-01	903	1894	991	432.9	0.44	0.22	743 - 1689	125728	409736
HBV-01	1085	1326.2	241.2	121.2	0.50	0.24	1001 - 1696	128037	401358
LOZ-01	1080	1854	774	354.9	0.46	0.18	294 - 554	133560	404781
AND-06	901.3	1290.7	389.4	91.6	0.24	0.15	123 - 524	133648	419505
GSD-01	818.9	1875.1	1056.2	282.5	0.27	0.19	395 - 1095	115428	426153
OIW-01	1285	1786.9	501.9	160.2	0.32	0.16	138 - 313	140708	400309
HSW-01	1316.4	1799.6	483.2	42	0.09	0.14	77 - 670	159107	408268

7.5 OPSCHALING PETROFYSISCHE EIGENSCHAPPEN

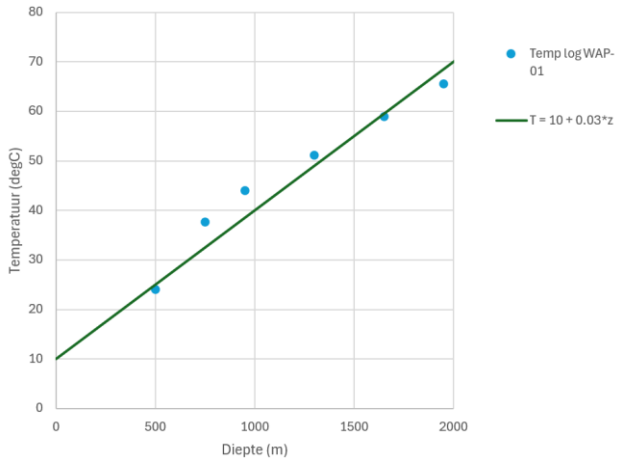
De reservoireigenschappen (N/G & permeabiliteit) van de Formatie van Nieuwerkerk zijn opgeschaald op kaart door middel van directe interpolatie met behulp van het Kriging algoritme in Surfer.

7.6 TEMPERATUUR VS. DIEPTE

Op basis van de gecorrigeerde temperatuurlog in WAP-01 is de volgende regionale temperatuur-diepte relatie opgesteld:

$$T\ (°C) = 10\ (°C) + 0{,}03\ (°C/m) * \text{diepte}\ (m)$$

Deze relatie is direct gebruikt voor het omrekenen van de mid-reservoir dieptekaart naar een gemiddelde reservoir temperatuurkaart.



Figuur 5.46 | Temperatuur diepte relatie opgesteld op basis van een temperatuurlog in WAP-01.

7.7 RESULTAATKAARTEN

Op basis van de input data en interpretaties zijn de volgende kwantitatieve resultaatkaarten gemaakt:

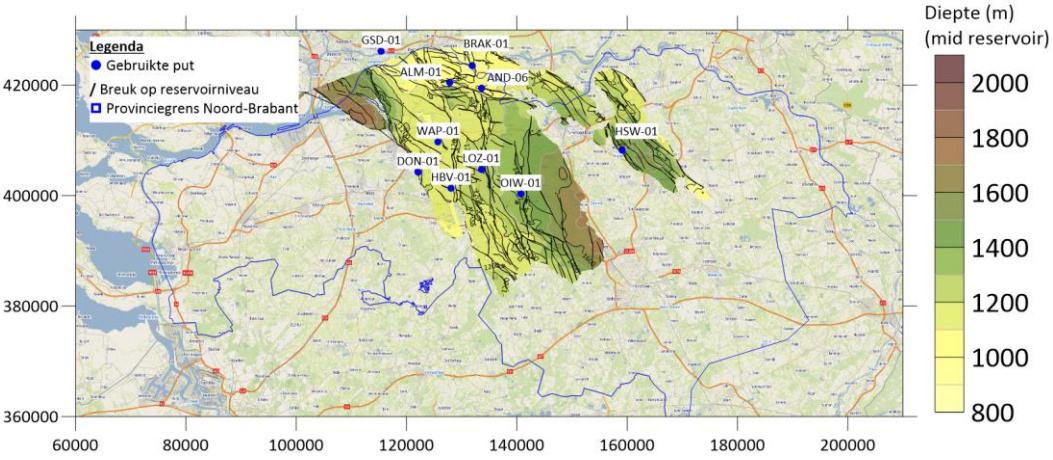
- **Diepte (mid-reservoir)**: Dit is de geschatte diepte van het midden reservoir. Vanwege de grote dikte van de Formatie van Nieuwerkerk is deze kaart voor zowel de bovenste 50% als de onderste 50% gemaakt. Om deze kaart te maken zijn de resultaten uit het H3O Diep Zuid NL project gebruikt.
- **Bruto dikte**: Dit is de geschatte bruto dikte van de Formatie van Nieuwerkerk. Deze kaart komt rechtstreeks uit het H3O Diep Zuid NL project.
- **Temperatuur (mid-reservoir)**: Dit is de geschatte gemiddelde temperatuur van het reservoir. Voor deze kaart zijn de mid-reservoir dieptekaarten (bovenste en onderste 50%) en de diepte vs. temperatuur relatie gebruikt.
- **Reservoireigenschappen**: Voor de Formatie van Nieuwerkerk zijn er ook kaarten gemaakt van de netto/bruto verhouding (N/G), en de permeabiliteit (geometrisch gemiddeld). De N/G en permeabiliteit kaarten zijn gemaakt door de resultaten van de petrofysische interpretatie te interpoleren.

Diepte (mid-reservoir)

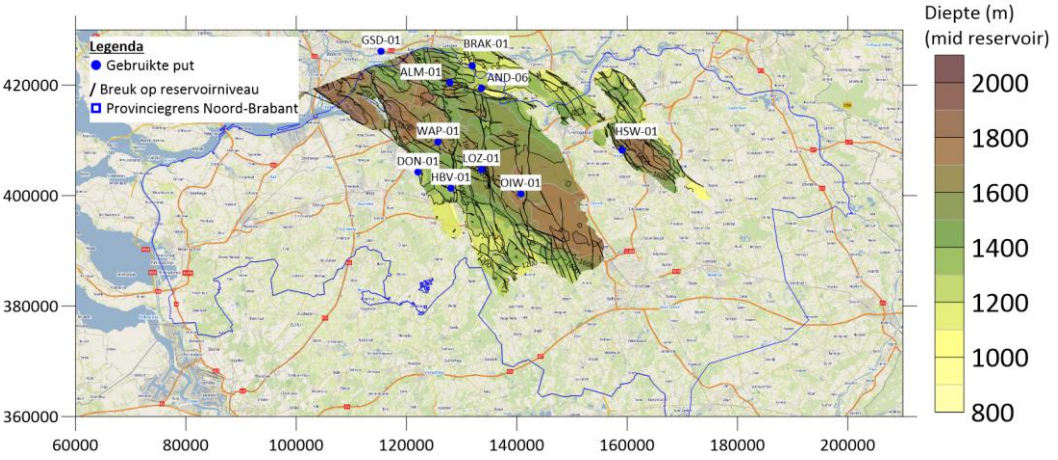
De mid-reservoir dieptekaart van de bovenste 50% van de formatie is te zien in Figuur 5.47. Dieptes variëren van ongeveer 1000 m in het noorden tot meer dan 1600 m in het uiterste zuidoosten. De dieptekaart van de onderste 50% laat een iets andere trend zien omdat hier de grote dikte verschillen binnen de Formatie van Nieuwerkerk een grotere rol gaan spelen (Figuur 5.48 en Figuur *5.49*). Gemiddelde dieptes zijn vaak groter dan 1500 meter. Enkel aan de randen van de verschillende mini-bekkens ligt de formatie ondieper (e.g. in het noorden).

Bruto dikte

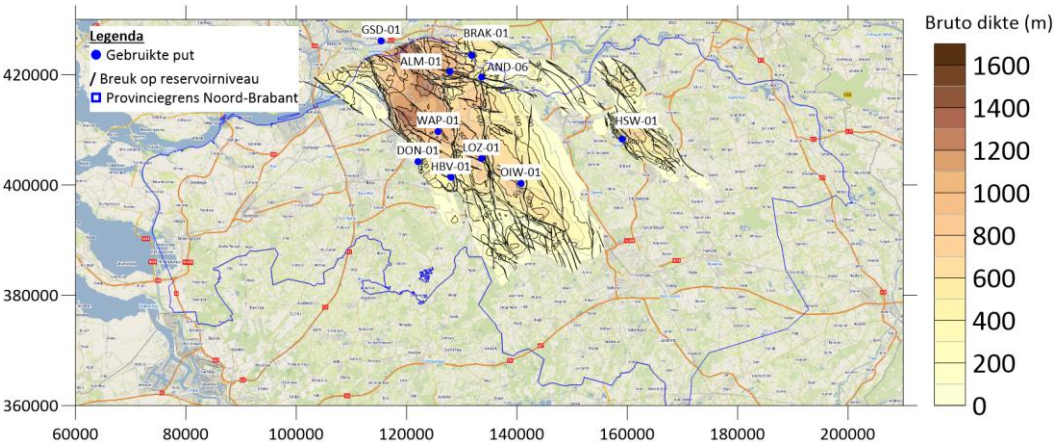
Vanwege syn-rift depositie van de Formatie van Nieuwerkerk kan de bruto dikte sterk variëren (Figuur *5.49*). In het centrum van de verschillende mini-bekkens kunnen diktes oplopen tot meer dan 1400 m. Aan de randen blijft de dikte vaak beperkt tot maximaal 500 m.



Figuur 5.47 | Mid-reservoir diepte van de bovenste 50% van de Formatie van Nieuwerkerk.



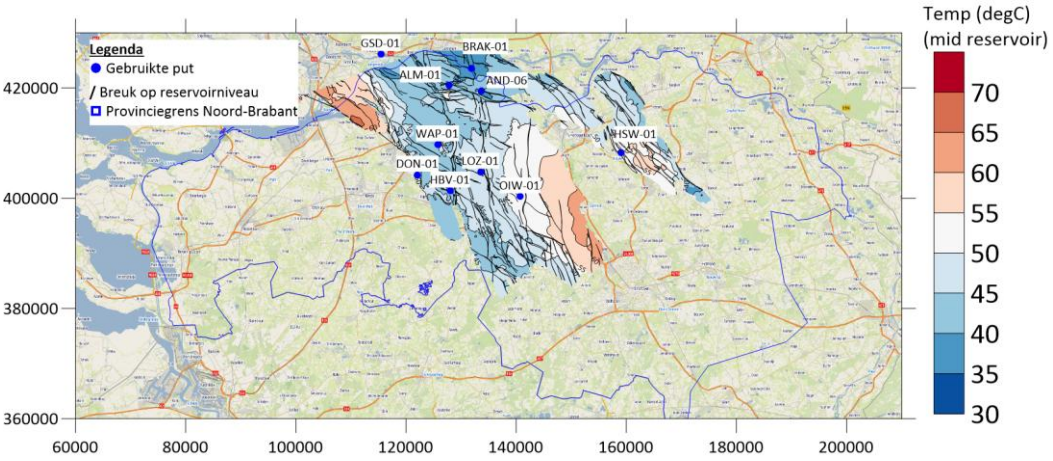
Figuur 5.48 | Mid-reservoir diepte van de onderste 50% van de Formatie van Nieuwerkerk.



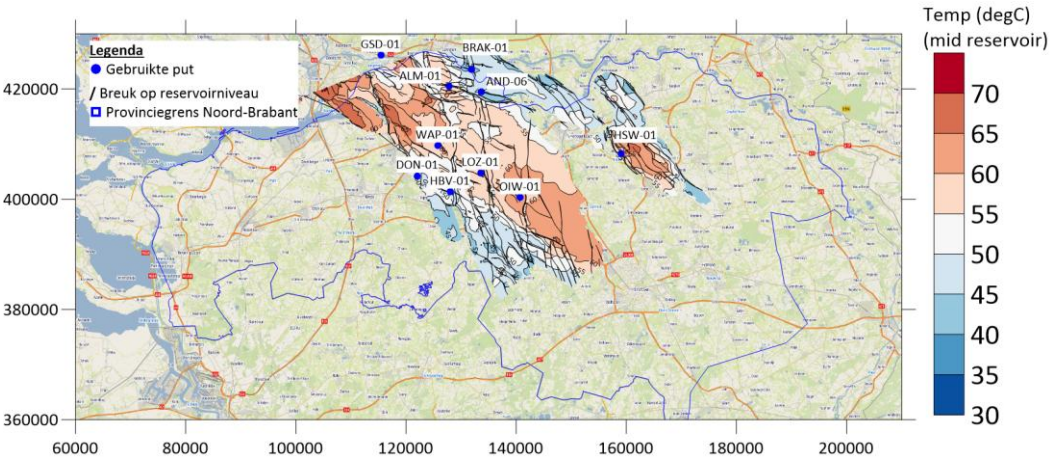
Figuur 5.49 | Bruto dikte van de Formatie van Nieuwerkerk.

Temperatuur (mid-reservoir)

De temperatuur volgt eenzelfde patroon als de diepte en neemt daarom toe in de gebieden waar de Formatie van Nieuwerkerk dieper ligt. Voor het bovenste gedeelte van de Formatie van Nieuwerkerk varieert de temperatuur tussen 40 °C in het uiterste noorden tot meer dan 60 °C in dieper gelegen stukken. Voor het onderste gedeelte van de Formatie van Nieuwerkerk ligt de temperatuur veelal boven de 60 graden. Enkel aan de randen van de verschillende mini-bekkens worden lagere temperaturen gezien.



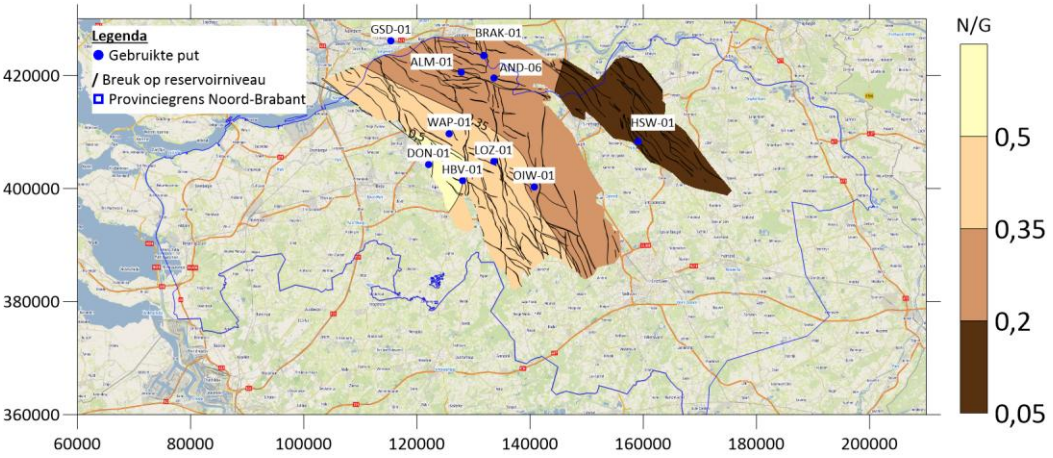
Figuur 5.50 | Mid-reservoir temepratuur van de bovenste 50% van de Formatie van Nieuwerkerk.



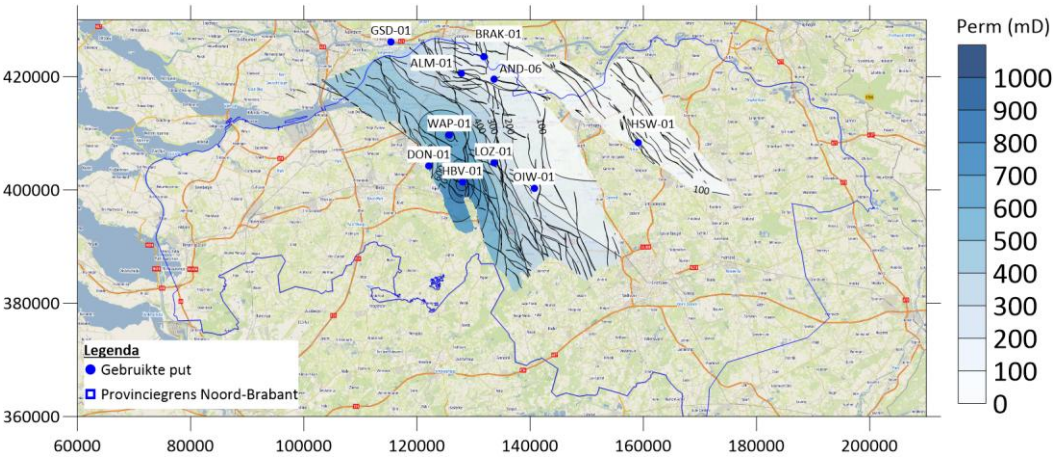
Figuur 5.51 | Mid-reservoir temperatuur van de onderste 50% van de Formatie van Nieuwerkerk.

Reservoir eigenschappen

Op de Netto/Bruto verhoudingskaart is duidelijk de zien dat de hoeveelheid zand binnen de Formatie van Nieuwerkerk in oostelijke richting sterk afneemt van meer dan 50% bij HBV-01 en DON-01 tot minder dan 20% bij HSW-01. De afnemende N/G resulteert in een slechtere connectiviteit tussen de onderlinge zandlagen. Ook de geometrisch gemiddelde permeabiliteit van het aanwezige zand neemt in oostelijke richting af. Deze is in het westen boven de 400 mD terwijl deze in het uiterste oosten onder de 100 mD duikt (let op: de aritmetisch gemiddelde permeabiliteiten liggen een stuk hoger). Dit duidt erop dat, naast een afnemende N/G, ook de kwaliteit van de zanden lijkt af te nemen in oostelijke richting. Dit kan echter ook liggen aan de afwezigheid van voldoende representatieve data.



Figuur 5.52 | Netto/Bruto verhouding van de Formatie van Nieuwerkerk.



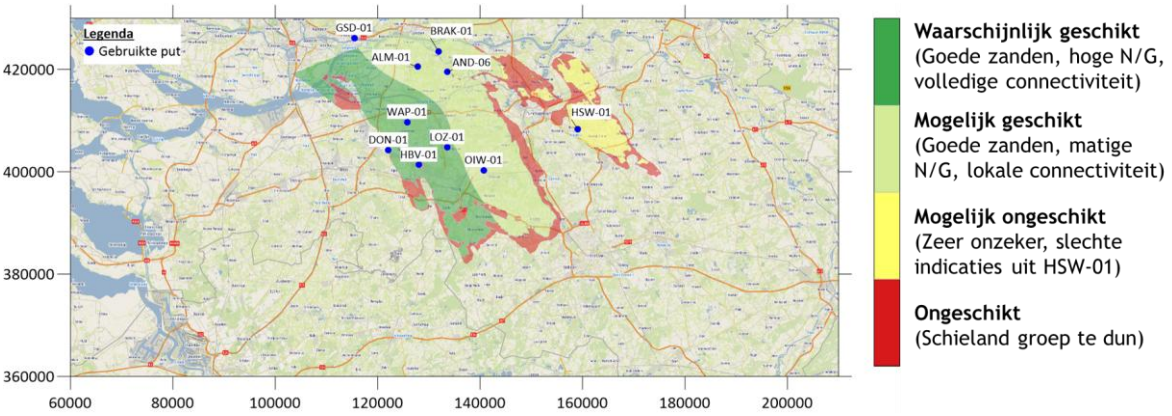
Figuur 5.53 | Geometrisch gemiddelde doorlatendheid van de Formatie van Nieuwerkerk.

7.8 RESERVOIRKWALITEIT

De reservoirkwaliteit van de Formatie van Nieuwerkerk is bepaald door een combinatie van 1) de N/G en daarmee connectiviteit van de onderlinge zandlagen en 2) de gemiddelde doorlatendheid van het zand. Op basis van deze eigenschappen zijn er 4 categorieën te maken:

- Waarschijnlijk geschikt: Dit gebied bestaat uit goed doorlatende zanden die over het geheel van de Formatie van Nieuwerkerk onderlinge connectiviteit vertonen (e.g. WAP-01). In dit gebied is er waarschijnlijk op elke diepte goed zand aanwezig.
- Mogelijk geschikt: Dit gebied bestaat uit goed doorlatende zanden die gedeeltelijke connectiviteit vertonen (e.g. GSD-01 of OIW-01). In dit gebied kunnen zanden slechts erg lokaal aanwezig zijn. De diepte waarop de onderling verbonden zanden zich bevinden kan sterk van put tot put verschillen.
- Mogelijk ongeschikt: Dit gebied beperkt zich tot het minibekken bij HSW-01. Deze put laat slechte reservoirkwaliteitsindicaties zien voor de Formatie van Nieuwerkerk. Het is echter zeer onzeker of deze put voldoende representatief is voor het gebied. Er is echter geen andere put data beschikbaar voor dit gebied.

- Ongeschikt: In dit gebied is de gehele Formatie van Nieuwerkerk (Schieland Groep) hoogstwaarschijnlijk te dun voor de toepassing van geothermie in dit type reservoir.

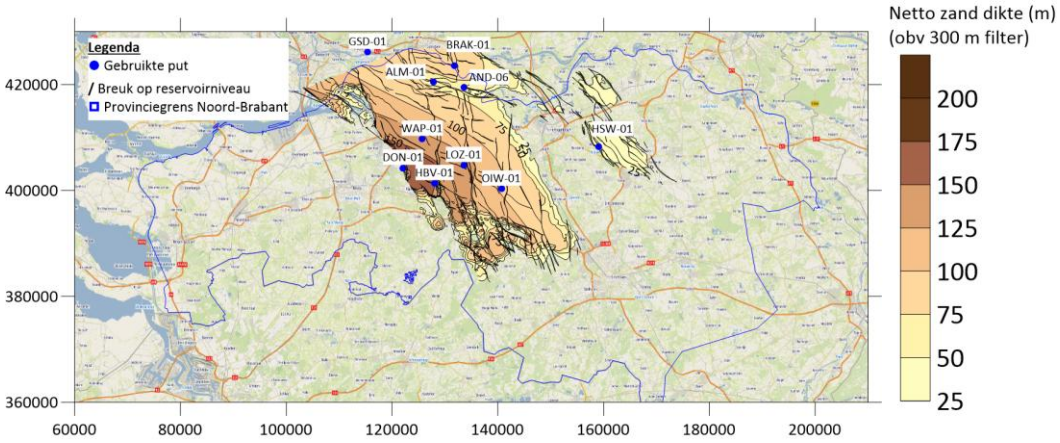


Figuur 5.54 | Kwalitatieve reservoirkwaliteit van de Formatie van Nieuwerkerk.

7.9 UITGANGSPUNTEN POTENTIE BEREKENINGEN

Voor de potentieberekeningen zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd. Deze uitgangspunten kunnen worden geoptimaliseerd voor locatie-specifieke studies of projecten.

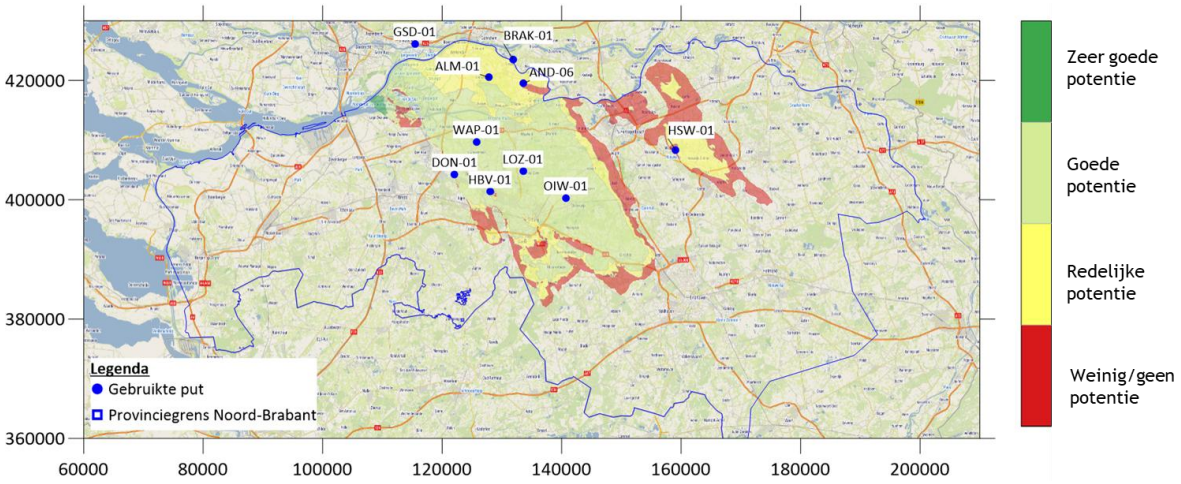
Parameter	Eenheid	Grid/waarde	Bron
Diepte	[m]	Grid ()	Mid reservoir dieptekaart van de onderste en bovenste 50%
Dikte	[m]	Grid	O.b.v. dieptekaarten, N/G en een maximale filterlengte van 300 m zoals in MSD-GT putten
Temperatuur	[°C]	Grid	O.b.v. dieptekaarten en een regionale temperatuurgradiënt
Doorlatendheid	[mD]	500	Constante waardes gekozen omdat de meeste zanden vaak goed doorlatend zijn (zie interpretaties)
Saliniteit	[g/l]	120	o.b.v. BRAK-01
Putafstand	[m]	1100	Standaard afstand
COP	[-]	15	COP = Coëfficiënt of Performance, 15 is een standaardwaarde voor een geothermiesysteem
Injectietemperatuur	[°C]	15	Standaard voor geothermiesystemen met lage tot middelhoge temperatuur (<70 °C)
Pomprendement	[-]	0,7	Standaard waarde
Skin	[-]	0	Er wordt geen skin aangenomen
Maximale injectiedruk	[bar/m]	0,135	SODM-norm



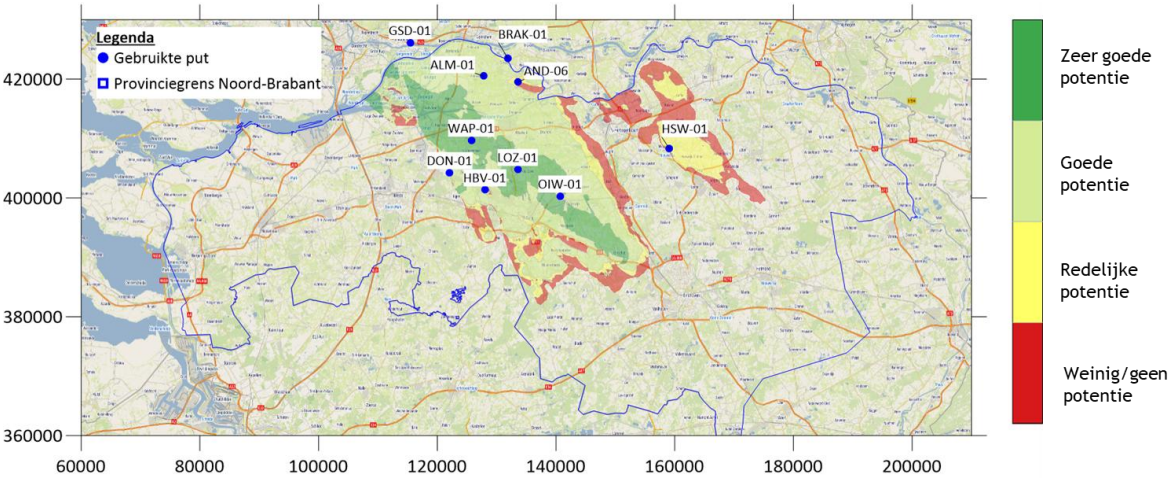
Figuur 5.55 | Maximale hoeveelheid bruikbaar zand op basis van een maximale filterlengte van 300 m. Dit is ook de filterlengte die wordt gebruikt bij de putten in het Maasdijk geothermieproject.

7.10 POTENTIEKAARTEN

De potentie voor geothermie van de Formatie van Nieuwerkerk is in de onderstaande figuren te zien. Voor het maken van dit figuur zijn de kwantitatieve resultaatkaarten gecombineerd met de kwalitatieve reservoirkwaliteitskaart en operationele uitgangspunten. Op de potentiekaarten is te zien dat het reservoir in een groot gebied veelal goede tot zeer goede potentie heeft. In het noorden en in het mini-bekken bij HSW-01 komt ook een redelijke potentie voor. Langs de randen van de bekkens is er weinig/geen potentie. De verschillen in potentie tussen de bovenste en onderste 50% van de Formatie van Nieuwerkerk worden voornamelijk veroorzaakt door de hogere reservoirtemperatuur in het diepere deel.



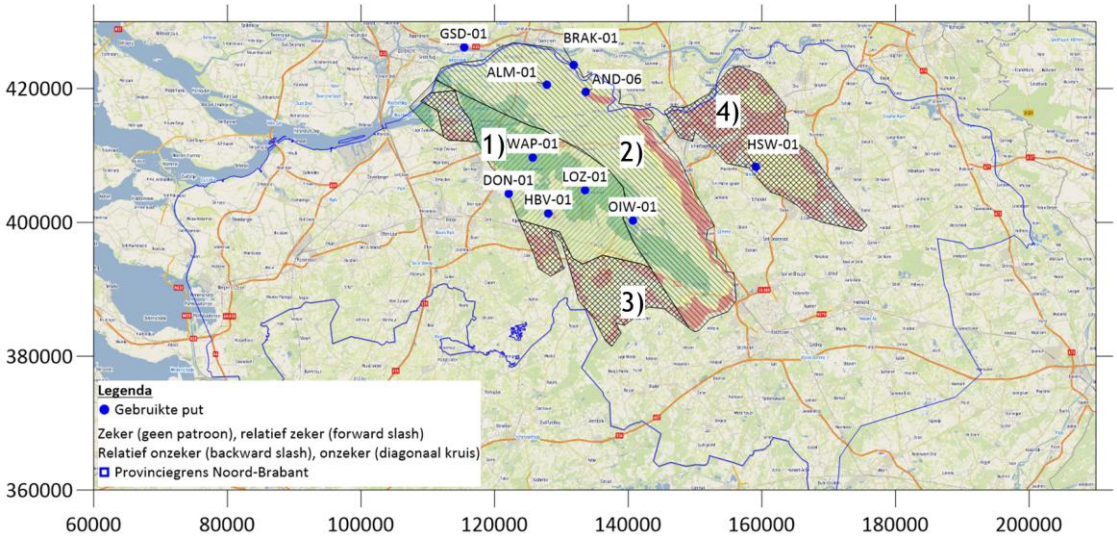
Figuur 5.56 | Potentiekaart van de bovenste 50% van de Formatie van Nieuwerkerk.



Figuur 5.57 | Potentiekaart van de onderste 50% van de Formatie van Nieuwerkerk.

7.11 ONZEKERHEDEN

Voor de Formatie van Nieuwerkerk bestaan er aanzienlijke onzekerheden. Deze variëren van gebied tot gebied en staan in het onderstaande figuur en in de onderstaande tabel uiteengezet.



Figuur 5.58 | Onzekerheidskaart van de Formatie van Nieuwerkerk Laagpakket als overlay op de geothermische potentiekaart.

Tabel 5.23 | Inschatting en onderbouwing van de onzekerheid voor de Formatie van Nieuwerkerk in de verschillende gebieden. Zie hoofdstuk 4.6 voor meer informatie over het inschatten van de onzekerheid.

	Gebied 1	Gebied 2	Gebied 3	Gebied 4
Gebiedsbeschrijving	Westelijk gelegen deel van het minibekken met de putten DON-01, WAP-01, HBV-01 en LOZ-01.	Oostelijk gelegen deel van het minibekken met de putten ALM-01, BRAK-01,GSD-01 en AND-06.	Dit gebied wordt gekenmerkt door sterke verbreuking en grote dikte verschillen.	Minibekken rondom de HSW-01 put.
1) Gebruikte data	In dit gebied zijn redelijk veel putgegevens beschikbaar (DON-01, WAP-01, HBV-01 en LOZ-01). De kwaliteit van en het type logdata is matig. Echter voor een aantal putten is ook kerndata beschikbaar waardoor de interpretaties kunnen worden gevalideerd.	In dit gebied zijn redelijk veel putgegevens beschikbaar (ALM-01, BRAK-01,GSD-01 en AND-06). De kwaliteit van en het type logdata is redelijk tot goed. Voor een aantal putten is ook kerndata beschikbaar waardoor de interpretaties kunnen worden gevalideerd.	Er zijn geen putgegevens beschikbaar in dit gebied. De inschattingen zijn dus onzeker.	Enkel de HSW-01 put is beschikbaar. Deze put laat een onvolledig beeld zien van de Formatie van Nieuwerkerk. De inschattingen zijn dus onzeker.
2) Geologische complexiteit	De geanalyseerde putten laten een vergelijkbare trend zien met relatief veel zand en een hoge N/G. Op basis van literatuur wordt verondersteld dat er daardoor connectiviteit tussen de zandlagen is waardoor de voorspelbaarheid als redelijk goed wordt ingeschat.	Uit de interpretatie van de putten blijkt dat de diepte van de geconcentreerde zandlagen vaak verschilt. Het is daarmee moeilijk te voorspellen op welke diepte goede zanden aanwezig zijn. De N/G ligt tussen de 20 en 35% waardoor het ook onzeker is in hoeverre de onderlinge zandlagen voldoende verbonden zijn.	Dit gebied wordt gekenmerkt door een sterke verbreuking en grote dikte verschillen. Hierdoor is het gebied zeer complex en is het niet duidelijk of en op welke dieptes zand aanwezig is.	Er is te weinig data om goed te begrijpen hoe de zanden zich in dit gebied hebben ontwikkeld.
3) Correlaties en modellen	De putten in dit gebied laten een redelijk constant beeld zien. Directe interpolatie lijkt daarmee een goede methode. Onzekerheid neemt toe wanneer de afstand van de geïnterpoleerde data tot de putten toeneemt.	De putten in dit gebied laten een wisselend beeld zien. Directe interpolatie is daarmee alleen mogelijk op volledige reservoirschaal. Deze methode kan echter niet worden gebruikt voor lokale voorspellingen. Er zit een onzekerheid in de gehanteerde methode, zeker wanneer de afstand tot putten groter wordt.	Vanwege het ontbreken van data is dit gebied is het onduidelijk of de gebruikte correlaties en modellen kunnen worden gebruikt.	Dit gebied laat een duidelijk ander beeld zien dan gebieden 1 en 2. Het is onzeker of interpolatie tussen deze gebieden mogelijk is. Hierdoor is de interpolatie zeer onzeker.
Uiteindelijke zekerheid	**Relatief zeker**	**Relatief onzeker**	**Onzeker**	**Onzeker**

Bijlage 8 Röt Randzandsteen Laagpakket

In deze bijlage beschrijven we beknopt de belangrijkste stappen, uitgevoerde analyses en interpretaties van het Röt Randzandsteen Laagpakket. Ook zijn in deze bijlage relevante resultaten en tussenkaarten te vinden. Deze bijlage kan op zichzelf worden gelezen maar dient hoofdzakelijk als technische ondersteuning van de hoofdrapportage.

8.1 GEOLOGISCHE BESCHRIJVING RÖT RANDZANDSTEEN LAAGPAKKET

Het Röt Randzandsteen Laagpakket werd afgezet ten tijde van het Midden Trias in grote delen van het Verenigd Koninkrijk, Denemarken, Nederland en Duitsland (Geluk, 2005)[14]. Het onderste deel van het laagpakket bestaat hoofdzakelijk uit evaporieten, terwijl het bovenste deel hoofdzakelijk uit klei- en siltstenen bestaat. Het Röt Randzandsteen Laagpakket bestaat uit arkosische zandsteenlagen met ingeschakelde kleilagen. Dit pakket werd in het zuidwesten, aan de randen van het bekken en in de Roerdalslenk afgezet als laterale equivalent van de klei- en siltstenen.

Het Röt Randzandsteen Laagpakket werd afgezet tijdens een grootschalige transgressiecyclus. Tijdens het Anisien ontstond een verbinding tussen het Permbekken, waarin Nederland zich bevond, en de Tethyszee. Perioden van verbinding met de zee werden afgewisseld met fasen van beperkte mariene invloed. Dit resulteerde in een afwisseling tussen de neerslag van evaporieten en de afzetting van klei- en siltstenen in brakke lagunes. Naarmate de mariene invloed toenam, werden ook enkele kalksteenbanken afgezet, en volgde een overgang naar de mariene Formatie van Muschelkalk. In het zuiden, aan de rand van het bekken, was er sprake van een fluviatiele invloed. Klastisch materiaal werd vanuit het London-Brabant Massief naar het zuiden getransporteerd naar het bekken. Deze afzettingen worden gerekend tot het Röt Randzandsteen Laagpakket.

Tijdens de afzetting van het Röt Randzandsteen Laagpakket vond in de Roerdalslenk bodemdaling plaats, waardoor lokaal een pakket tot circa 300 meter dik kon worden afgezet. De dikte van het Röt Randzandsteen Laagpakket varieert binnen de Roerdalslenk tussen de 0 en 80 meter.

8.2 GEHANTEERDE WERKWIJZE

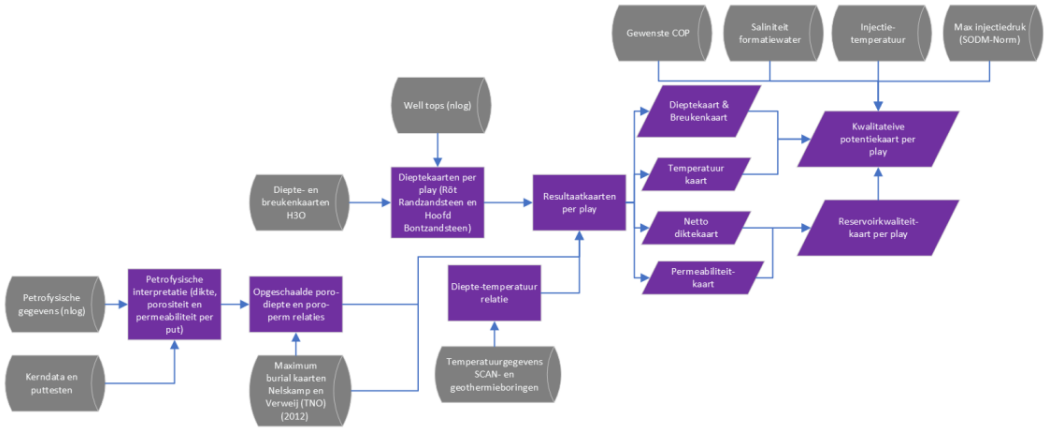
Voor het maken van de reservoirkwaliteitskaart en kwalitatieve potentiekaart van het Röt Randzandsteen Laagpakket zijn de volgende stappen gehanteerd:

1 Inladen dieptekaart van de Boven- en Onder Trias Groepen uit het H3O-diep model en het inladen van de breukenkaart (Top RN-Groep).
2 Inventarisatie van gegevens voor de petrofysische interpretatie, denk hierbij aan:
   - Kerndata voor verschillende putten binnen en rond het interpretatiegebied.
   - Petrofysische logdata voor meerdere putten binnen het interpretatiegebied.

[14] Stratigraphy and tectonics of Permo-Triassic basins in the Netherlands and surrounding areas (Geluk 2005)

- Temperatuurmetingen van de Trias Groepen uit geothermie- en SCAN-boringen.

3 Petrofysische interpretatie van putten met voldoende logs binnen het interpretatiegebied:
   - Petrofysisch geïnterpreteerde putten: STH-01, STW-01, KDK-01, GWD-01-S1, BKZ-01, VRK-01, HVB-01, HBV-01, HSW-01-S1 en NDW-01.
   - Voor het omrekenen van de porositeit naar permeabiliteit is er een relatie op basis van de kerndata gebruikt.
4 Opstellen van temperatuur-diepte relatie met behulp van temperatuurmetingen.
5 Maken van de kwantitatieve resultaatkaarten zoals: diepte mid-reservoir, temperatuur mid-reservoir, bruto dikte, netto/bruto (N/G) verhouding, permeabiliteit en transmissiviteit.
6 Maken van de reservoirkwaliteitskaart op basis van de reservoir transmissiviteit.
7 Maken van de kwalitatieve potentiekaart op basis van de kwantitatieve kaarten, kwalitatieve reservoirkwaliteitskaart, operationele uitgangspunten en een in-house python model.



Figuur 5.59 | *Gehanteerde werkwijze voor het Röt Randzandsteen Laagpakket.*

8.3 INPUT GEGEVENS

H3O-kaarten

Om het Röt Randzandsteen Laagpakket voor de gehele provincie Noord-Brabant in kaart te brengen zijn de interpretaties van de Boven en Onder Trias Groepen (RN en RB) uit H3O Diep Zuid NL gebruikt (zie Figuur 5.7). Voor de breukenkaart zijn de geïnterpreteerde breuken aan de top van de RN-Groep gebruikt.

Petrofysische gegevens

Om de reservoir eigenschappen van het Röt Randzandsteen Laagpakket in kaart de brengen zijn er een regionale putten met voldoende data geïnterpreteerd. De gebruikte putten en gehanteerde methodes staan uiteengezet in de onderstaande tabel.

Tabel 5.24 | Petrofysische gegevens gebruikt voor de interpretatie van het Röt Randzandsteen Laagpakket.

Putnaam	Opmerking	Methode Porosity	Methode Vclay	Compaction factor	Clay porosity	Methode Perm
STH-01	RHOB porosity gebruikt want betere fit met de core data	RHOB	GR	-	0.06	Poro perm
STW-01	RHOB porosity gebruikt want betere fit met de core data	RHOB	GR	-	0.06	Poro perm
KDK-01	RHOB porosity gebruikt want betere fit met de core data	RHOB	GR	-	0.06	Poro perm
GWD-01-S1	RHOB porosity gebruikt want betere fit met de core data	RHOB	GR	-	0.045 (obv RHOB log)	Poro perm
BKZ-01	RHOB porosity gebruikt want betere fit met de core data	RHOB	GR	-	0.06	Poro perm
VRK-01	-	RHOB	GR	-	0.06	Poro perm
HVB-01	Hoge klei porositeit gebruikt	NPHI-RHOB	GR	-	0.1 (obv RHOB en NPHI). Want NPHI liet een hele hoge clay porosity zien	Poro perm
HBV-01	Hoge klei porositeit gebruikt	NPHI-RHOB	GR	-	0.12 (obv RHOB en NPHI). Want NPHI liet een hele hoge clay porosity zien	Poro perm
HSW-01-S1	RHOB porosity gebruikt want betere fit met de core data	RHOB	GR	-	0.06	Poro perm
NDW-01	-	DT	GR	-	0.06	Poro perm

Kerndata

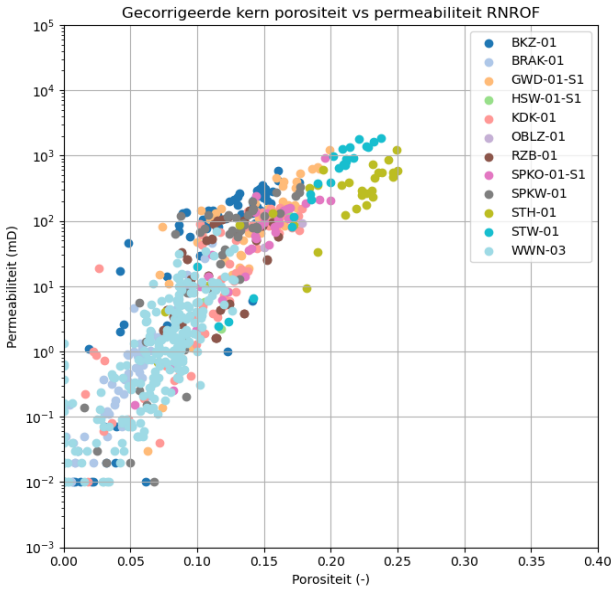
Voor verschillende boringen in en rond de provincie Noord-Brabant is er kerndata beschikbaar voor het Röt Randzandsteen Laagpakket. Deze data is gebruikt voor het opstellen van een porositeit-permeabiliteit relatie en gebruikt voor de validatie van de geïnterpreteerde resultaten. Voorafgaand aan het opstellen van de relatie en de validatie is de kerndata gecorrigeerd naar een brine permeabiliteit met behulp van de Juhasz correctie[15].

Temperatuurmetingen

In de SCAN-boringen HEE-01 en BLT-01 en de geothermieputten BRI-GT en TNT-GT zijn temperatuurmetingen voor de zanden binnen het Trias beschikbaar. Deze metingen zijn gebruikt

[15] Juhasz, I., 1986. Conversion of routine air-permeability data into stress brine-permeability data. *Society of Professional Well Log Analysts, Aberdeen Chapter, 10th European Formation Evaluation Symposium Transactions, paper Y*, 1-15.

voor het opstellen van een regionale temperatuur-diepte relatie voor het Röt Randzandsteen Laagpakket.



Figuur 5.60 | *Gecorrigeerde kerndata van het Röt Randzandsteen Laagpakket voor putten in en rond de provincie Noord-Brabant.*

8.4 PETROFYSISCHE INTERPRETATIE

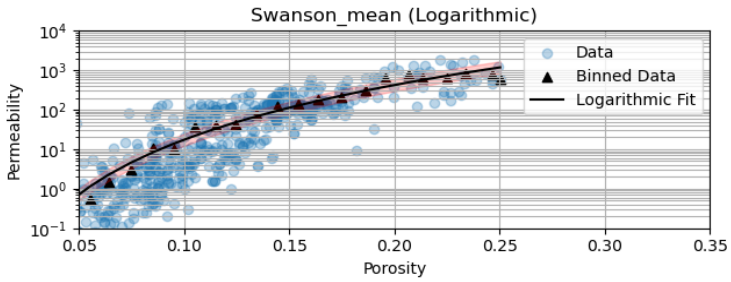
Porositeits-permeabiliteit relatie

Op basis van de brine permeabiliteit kerndata is er een best fit logaritmische relatie opgesteld:

$$k_h = 10^{4.60 \cdot \log(\varphi) + 5.84}$$

Hierbij is:

- k_h de brine permeabiliteit in mD,
- en φ de brine porositeit (-)



Figuur 5.61 | *Logaritmische porositeit-permeabiliteit relatie opgesteld op basis van het Swanson gemiddelde van de brine porositeit en permeabiliteit kern data.*

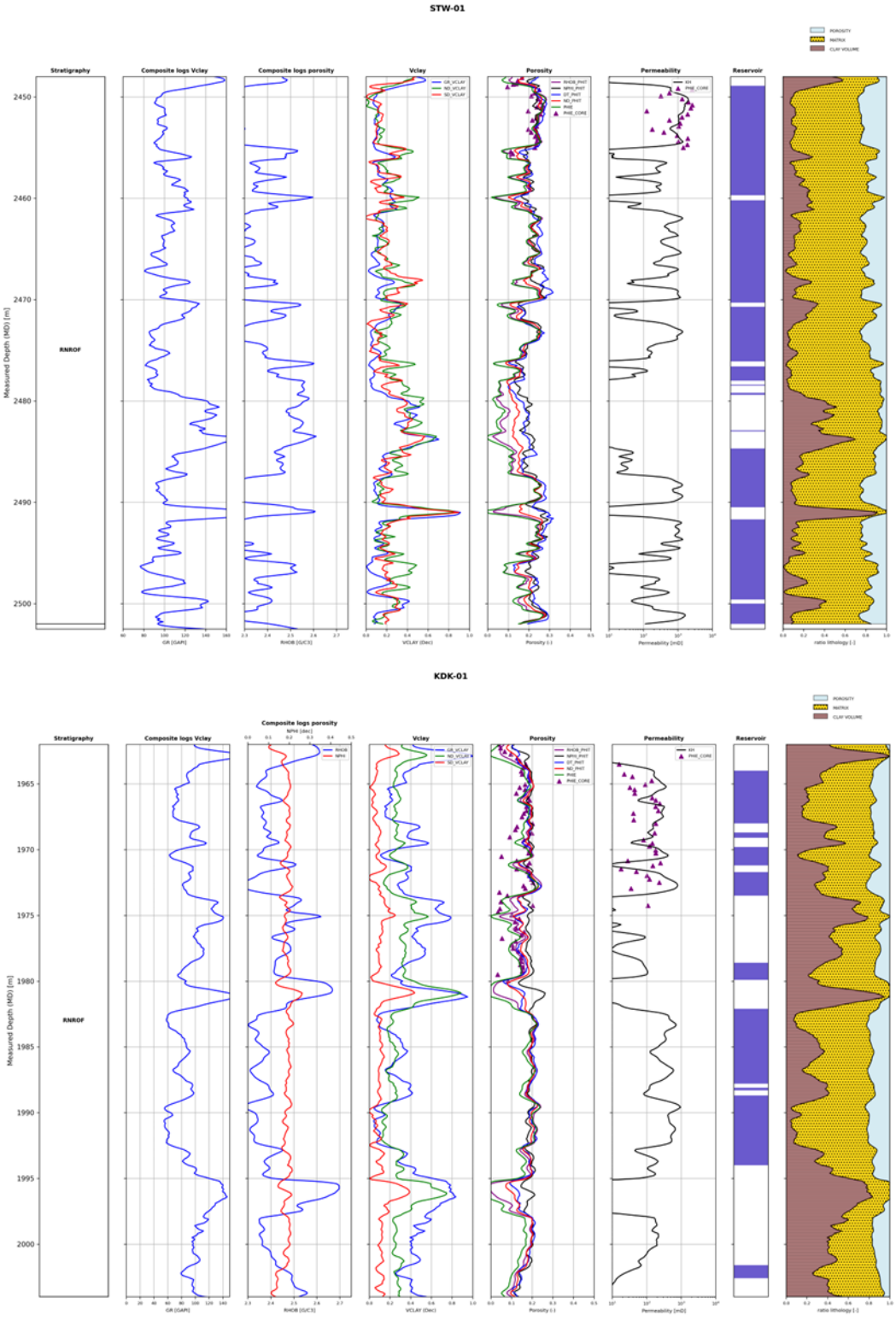
Deze relatie is gebruikt om voor alle putten de porositeit om te rekenen naar een permeabiliteit.

Resultaten

De resultaten van de petrofysische interpretatie staan samengevat Tabel 5.25. De putten STW-01 en KDK-01 (Figuur *5.62*) laten duidelijk de opbouw van het Röt Randzandsteen Laagpakket zien, welke bestaat uit een relatief dun pakket van zand en kleilagen. De zandlagen zijn vaak goed doorlatend (permeabiliteit voor de zandlagen in STW-01 en KDK-01 varieert tussen 100 – 1000 mD). De gemiddelde permeabiliteit per put kan wel sterk variëren. Hierbij laten vooral ondiep gelegen putten hogere doorlatendheden zien (e.g. GWD-01-S1, STH-01 en STW-01 en KDK-01). Dieper gelegen putten (e.g. HVB-01) zijn vaak niet of matig doorlatend. Op basis van de interpretaties lijkt er dus een duidelijke trend te zijn tussen de maximale begraving (diepte) en de porositeit / doorlatendheid van het Röt Randzandsteen Laagpakket. Tijdens de opschaling van petrofysische eigenschappen naar kaartniveau is deze trend gebruikt.

Tabel 5.25 | Opgeschaalde resultaten van de petrofysische interpretatie van het Röt Randzandsteen Laagpakket.

Put	Top (TVD)	Basis (TVD)	Bruto dikte (m)	Netto dikte (m)	N/G	Effectieve porositeit (-) Net reservoir	Perm (mD) (GM) Net reservoir	X RD	Y RD
VRK-01	1455	1501	46.8	32.4	0.69	0.14	78	152194	426997
HSW-01-S1	2439	2498	58.8	31.6	0.54	0.13	62	159416	408137
GWD-01-S1	1906	1968	62.3	42.9	0.69	0.16	137	153401	419249
KDK-01	1878	1917	38.7	20	0.52	0.17	194	169942	399524
NDW-01	1917	1963	46	27	0.59	0.09	12	181655	369130
HVB-01	2168	2243	75	48.2	0.64	0.11	28	136628	390844
BKZ-01	2275	2344	68.9	53.1	0.77	0.13	65	141708	392384
HBV-01	1919	1969	50.1	35.6	0.71	0.14	75	128262	401637
STW-01	2017	2061	44.4	31.3	0.7	0.18	251	95900	418541
STH-01	1621	1672	51	41.7	0.82	0.2	422	115960	410350



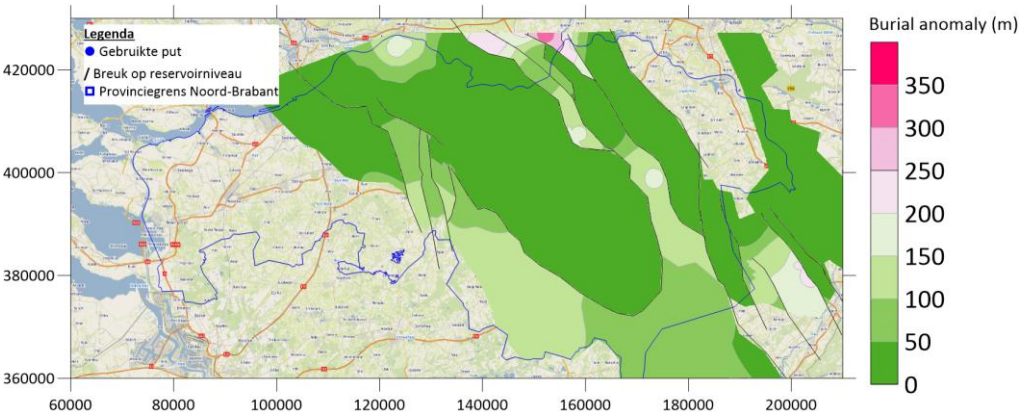
Figuur 5.62 | Resultaten van de petrofysische interpretatie van het Röt Randzandsteen Laagpakket in STW-01 (boven) en KDK-01 (onder).

8.5 OPSCHALING PETROFYSISCHE EIGENSCHAPPEN

Zoals bij de petrofysische interpretatie is geconstateerd, lijkt er een duidelijke trend te zijn tussen de begraving van het reservoir en de uiteindelijke porositeit. In dit hoofdstuk onderbouwen we deze relatie tussen de diepte en porositeit in meer detail. Er wordt ook inzichtelijk gemaakt hoe de porositeit vervolgens wordt omgerekend naar een gemiddelde permeabiliteit.

Begravingsanomalie

Om een goede porositeit vs. diepte relatie op te stellen moet er ook worden gekeken naar de zogeheten begravingsanomalie. Deze anomalie laat zien waar er additionele begraving moet zijn geweest ten opzichte van de huidige begraving aan de hand tektonische gebeurtenissen. In Figuur 5.63 laten we de gebruikte begravingsanomalie kaart zien. Deze kaart is gebaseerd op de kaarten van (Nelskamp & Verweij, 2012)[16] en de belangrijkste breuken (RB-niveau) uit het H3O programma. Met behulp van deze kaart kunnen we de maximale begravingsdiepte (huidige diepte + begravingsanomalie) in kaart brengen en voor de geïnterpreteerde putten bepalen.



Figuur 5.63 | Aangepaste begravingsanomaliekaart gebruikt om de maximale begravingsdiepte voor de Trias reservoirs te bepalen (huidige diepte (mid reservoir) + begravingsanomalie).

Porositeit vs. maximale begravingsdiepte

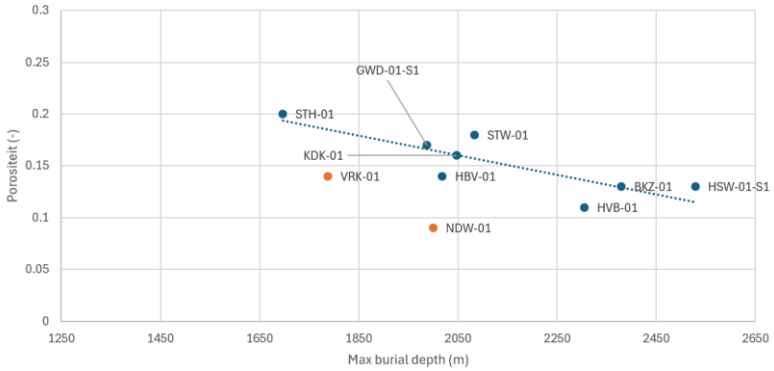
Op basis van de gemiddelde porositeit en de maximale begravingsdiepte per put kan er een regionaal porositeit diepte model worden opgesteld (zie onderstaand figuur). Deze relatie is als volgt:

$$\varphi = -0.00009474 \cdot z_{\max} + 0.354$$

Hierbij is:

- φ de opgeschaalde gemiddelde porositeit van het reservoir (-)
- en $z_{\max}$ de maximale begravingsdiepte (m)

[16] Nelskamp, S., Verweij, J.M., 2012. Using basin modeling for geothermal energy exploration in the Netherlands - an example from the West Netherlands Basin and Roer Valley Graben. TNO-060-UT-2012-00245.



Figuur 5.64 | Porositeit vs. maximale begravingsdiepte voor het Röt Randzandsteen Laagpakket.

In Figuur 5.64 duidelijk te zien dat de putten VRK-01 en NDW-01 duidelijk niet op de trendlijn liggen. Dit komt waarschijnlijk door onzekerheden in de gebruikte begravingsanomalie. De onzekerheid in de porositeit in deze putten is dan ook relatief groot in vergelijking met de andere putten.

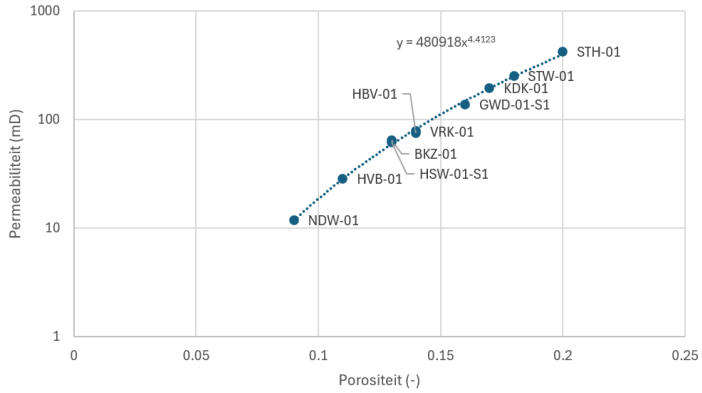
Opgeschaalde porositeits-permeabiliteit relatie

De opgeschaalde gemiddelde porositeit moet vervolgens omgerekend worden naar een opgeschaalde gemiddelde permeabiliteit. Dit doen we met de volgende relatie (zie onderstaand figuur):

$$k_h = 480918 \cdot \varphi^{4.4123}$$

Hierbij is:

- k_h de opgeschaalde gemiddelde permeabiliteit van het reservoir (mD)
- en φ de opgeschaalde gemiddelde porositeit van het reservoir (-)



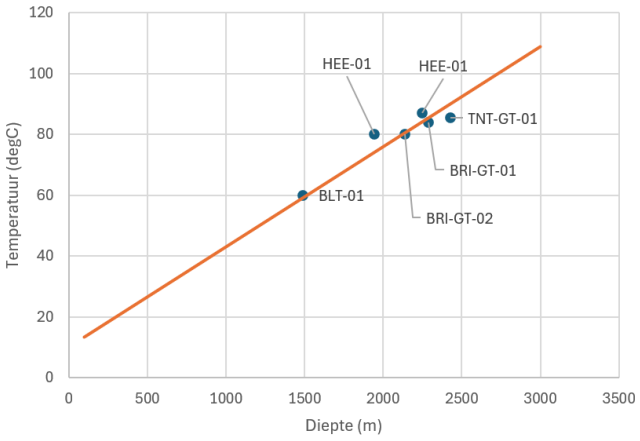
Figuur 5.65 | Opgeschaalde gemiddelde porositeit vs. gemiddelde permeabiliteit relatie.

8.6 TEMPERATUUR VS. DIEPTE

Op basis van de temperatuurmetingen in HEE-01 en BLT-01, TNT-GT-01, BRI-GT-01 en BRI-GT-02 is de volgende regionale temperatuur-diepte relatie opgesteld:

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

Deze relatie is gebruikt voor het omrekenen van de mid-reservoir dieptekaart naar een gemiddelde reservoir temperatuurkaart.



Figuur 5.66 | Temperatuur diepte relatie opgesteld op basis van temperatuurmetingen in de Trias zanden.

8.7 RESULTAATKAARTEN

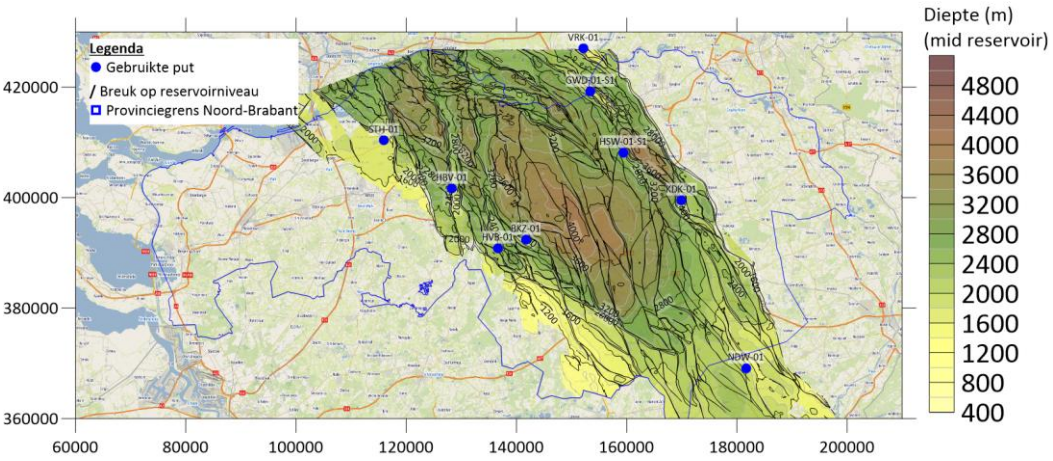
Op basis van de input data en interpretaties zijn de volgende kwantitatieve resultaatkaarten gemaakt:

- **Diepte (mid-reservoir)**: Dit is de geschatte diepte van het midden van het Röt Randzandsteen Laagpakket. Om deze kaart te maken is de Basis-RN H3O kaart gecombineerd met dieptemetingen uit putten.
- **Bruto dikte**: Dit is de geschatte dikte van het Röt Randzandsteen Laagpakket. Om deze kaart te maken zijn de geïnterpreteerde diktes bij de putten direct geïnterpoleerd (m.b.v. kriging in Surfer).
- **Temperatuur (mid-reservoir)**: Dit is de geschatte gemiddelde temperatuur van het Röt Randzandsteen Laagpakket. Voor deze kaart zijn de mid-reservoir dieptekaart en de temperatuur vs. diepte relatie gebruikt.
- **Reservoireigenschappen**: Voor het Röt Randzandsteen Laagpakket zijn er ook kaarten gemaakt van de netto/bruto verhouding (N/G), de porositeit, de permeabiliteit en de transmissiviteit. De N/G-kaart is gemaakt door de resultaten van de petrofysische interpretatie direct te interpoleren (m.b.v. kriging in Surfer). De porositeits- en permeabiliteitskaart zijn gemaakt door middel van een combinatie tussen maximale begravingsdiepte (diepte mid-reservoir + begravingsanomalie) en de relaties uiteengezet in het opschalingshoofdstuk. De transmissviteit is het product van de N/G-kaart, permeabiliteitskaart en bruto diktekaart.

Diepte (mid-reservoir)

De diepte van het Röt Randzandsteen Laagpakket is erg afhankelijk van de locatie. In het midden van het Roerdalslenk kan dit reservoir dieper dan 4000 meter liggen, terwijl deze aan de randen van het bekken (e.g. bij STH-01) op minder dan 1800 meter ligt. Deze grote diepte verschillen hebben te maken met de aanwezigheid van verschillende structurele elementen in de provincie Noord-Brabant. De zuidwestelijke rand ligt namelijk op het Oosterhout platform. Aan de noordoostelijke rand ligt het Trias op vergelijkbare dieptes. Hier is echter het Röt

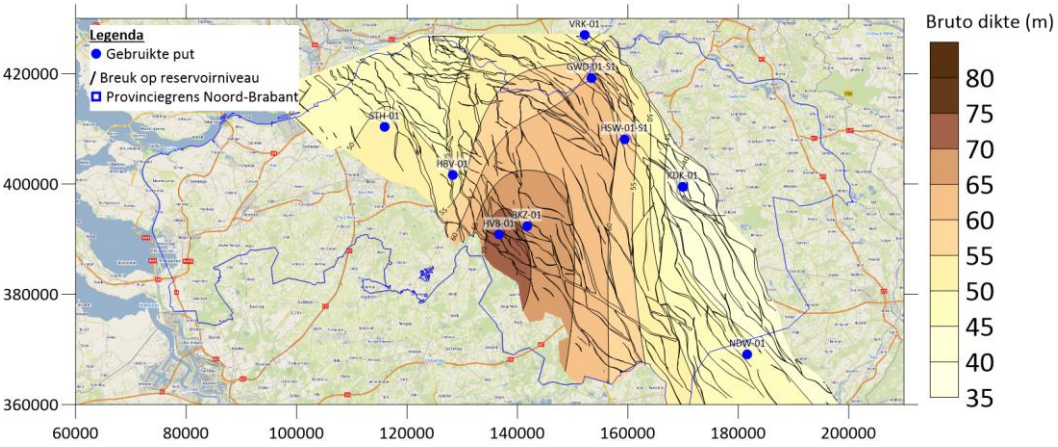
Randzandsteen Laagpakket hoofdzakelijk geërodeerd. Ook is er veel minder sediment afgezet waardoor de totale begraving achterbleef ten opzichte van het Roerdalslenk.



Figuur 5.67 | Mid-reservoir diepte van het Röt Randzandsteen Laagpakket.

Bruto dikte

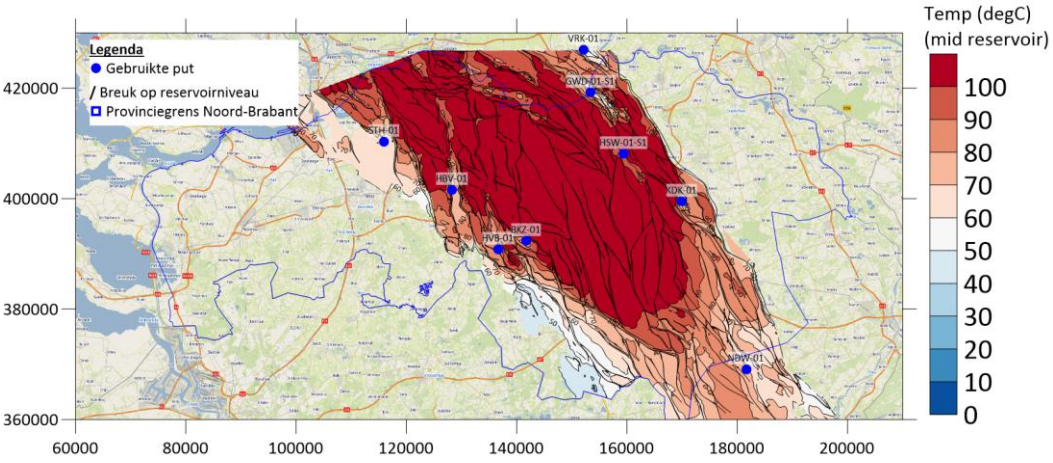
Het Röt Randzandsteen Laagpakket is relatief dun. De bruto dikte van het zandpakket varieert van ongeveer 75 m tot minder dan 40 m.



Figuur 5.68 | Bruto dikte van het Röt Randzandsteen Laagpakket.

Temperatuur (mid-reservoir)

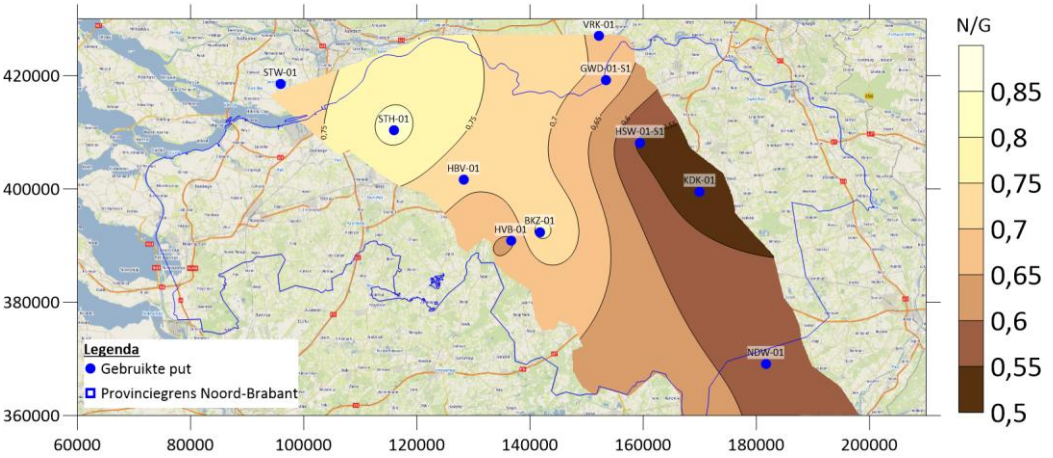
De temperatuur volgt eenzelfde patroon als de diepte en neemt toe naar de gebieden waar het Röt Randzandsteen Laagpakket dieper ligt. Voor het centrale deel van het Roerdalslenk ligt de temperatuur dan ook veelal boven de 100 °C. Aan de randen liggen de temperaturen veelal tussen 80 en 40 °C.



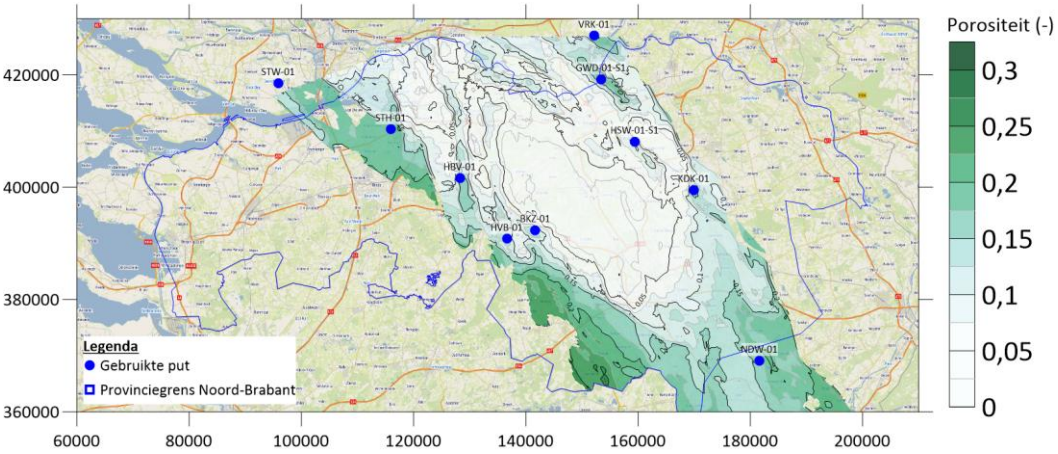
Figuur 5.69 | Mid-reservoir temperatuur van het Röt Randzandsteen Laagpakket.

Reservoir eigenschappen

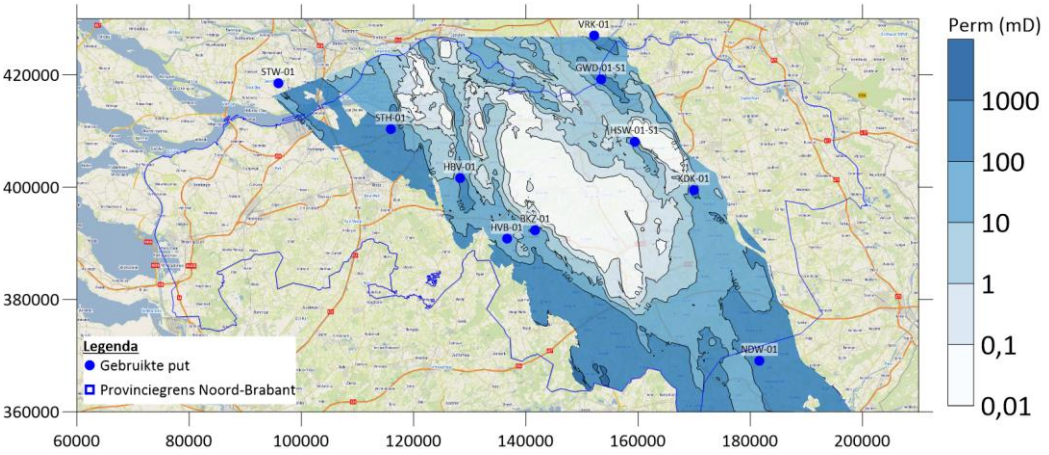
De netto/bruto verhouding varieert tussen de 0.5 en 0.9, waarbij de hoeveelheid netto zand in oostelijke richting afneemt. De porositeit en de doorlatendheid zijn zoals eerder beschreven afhankelijk van de maximale begravingsdiepte. In de dieper begraven delen zijn de porositeit en permeabiliteit dan ook erg laag (porositeit = 1 – 5% en permeabiliteit = 0.01 – 1 mD). Daarmee is het reservoir in deze gebieden ondoorlatend en ongeschikt. Aan de zuidwestelijke en noordwestelijke randen nemen de porositeit en permeabiliteit toe. Zo is de porositeit aan de zuidwestelijke rand veelal boven de 15%. De permeabiliteit in dit gebied is veelal boven de 100 mD en kan oplopen tot ongeveer 1000 mD. Op de ondiep gelegen breukblokken aan de noordoost rand van het bekken zijn de porositeit en permeabiliteit respectievelijk ongeveer 18% en 200 mD. Daarmee lijkt het reservoir aan de randen van het bekken mogelijk voldoende doorlatend voor de toepassing van geothermie.



Figuur 5.70 | Netto/Bruto verhouding van het Röt Randzandsteen Laagpakket.

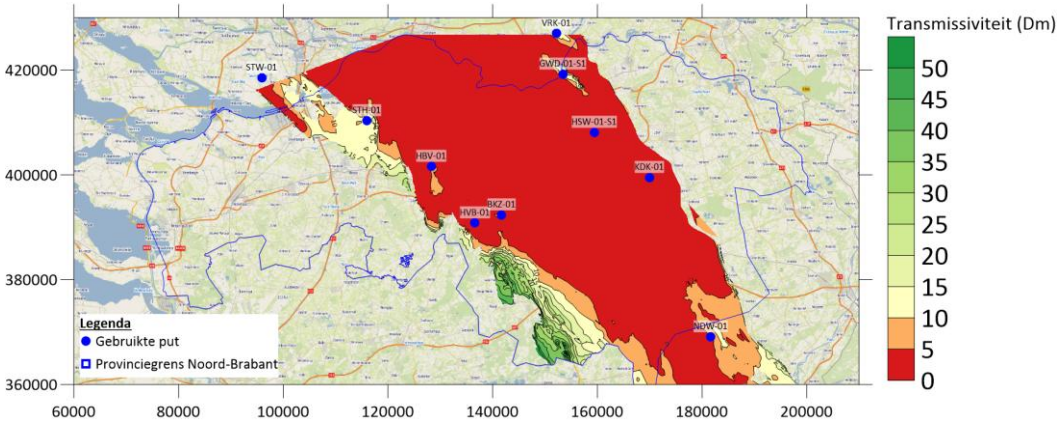


Figuur 5.71 | Gemodelleerde porositeit van het Röt Randzandsteen Laagpakket.



Figuur 5.72 | Gemodelleerde doorlatendheid van het Röt Randzandsteen Laagpakket.

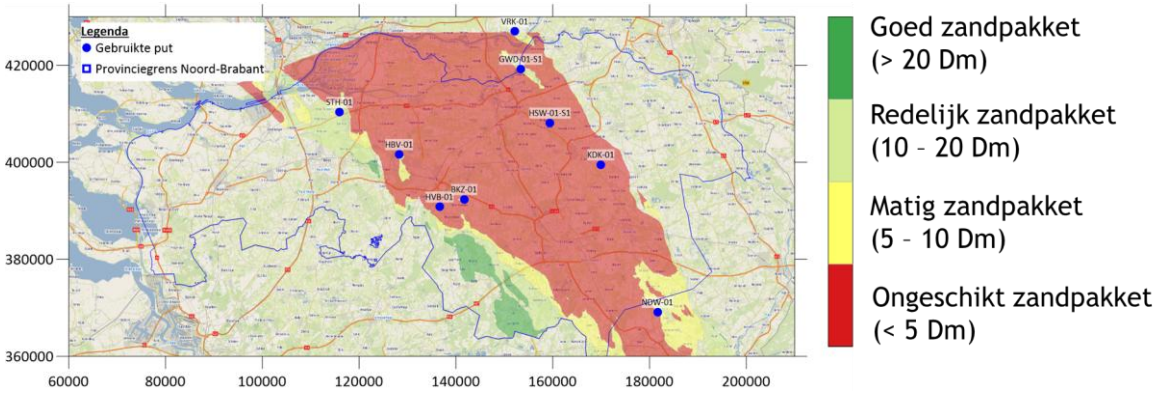
De transmissviteit van het Röt Randzandsteen Laagpakket varieert tussen de 0 Dm in de dieper gelegen Roerdalslenk tot ongeveer 40 Dm op de meest ondiepe delen van de zuidwestrand. Deze grote verschillen worden met name veroorzaakt door de grote verschillen in de maximale begravingsdiepte. Op basis van deze kaart lijkt de zuidwest rand van de Roerdalslenk, lopende van Moerdijk-Breda-Hoogeloon-Eersel-Budel, het meest interessant. In dit gebied ligt de transmissviteit veelal tussen 10 en 40 Dm en lijkt daarmee voldoende geschikt voor geothermie.



Figuur 5.73 | *Berekende transmissiviteit van het Röt Randzandsteen Laagpakket.*

8.8 RESERVOIRKWALITEIT

De reservoirkwaliteitskaart is afgeleid van de transmissiteitskaart. Deze kaart laat zien dat het Röt Randzandsteen Laagpakket in grote delen van Brabant ongeschikt is. Enkel aan de zuidwestrand en op enkele ondiepe breukblokken aan de noordwestrand lijkt het reservoir voldoende geschikt. Dit komt hoofdzakelijk door significante verschillen in de maximale begravingsdiepte van het reservoir. Nabij NDW-01 is er ook nog een klein gebied waarbij het zand in ieder geval matig geschikt lijkt. Dit is echter zeer onzeker vanwege onzekerheden in begravingsanomalie.



Figuur 5.74 | Kwalitatieve reservoirkwaliteit van Röt Randzandsteen Laagpakket. Voor deze kaart is de transmissiviteits-kaart gebruikt.

8.9 UITGANGSPUNTEN POTENTIE BEREKENINGEN

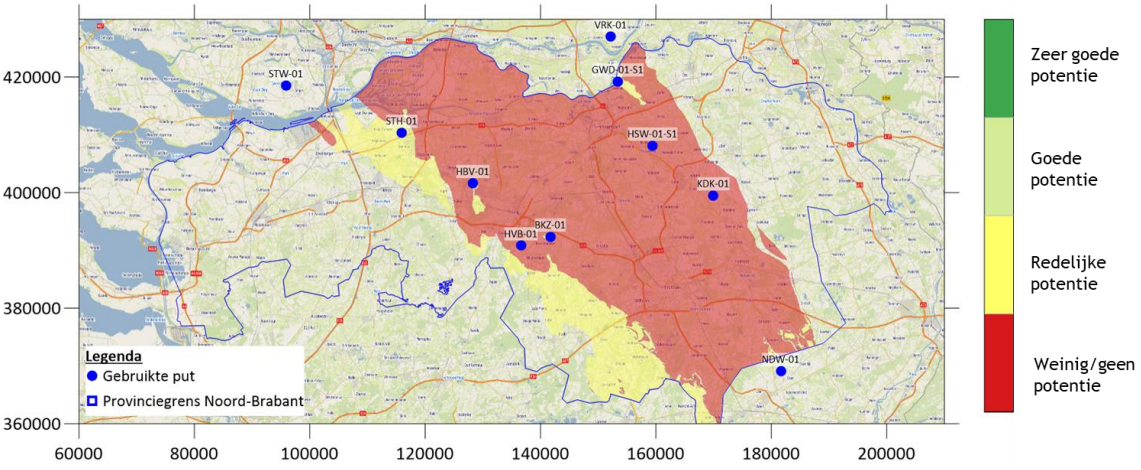
Voor de potentieberekeningen zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd. Deze uitgangspunten kunnen worden geoptimaliseerd voor locatie-specifieke studies of projecten.

Parameter	Eenheid	Grid/waarde	Bron
Diepte	[m]	Grid	Mid reservoir dieptekaart
Dikte	[m]	Grid	Netto zanddikte. Combinatie van N/G-kaart met bruto diktekaart

Temperatuur	[°C]	Grid	O.b.v. dieptekaart en een regionale temperatuurgradiënt
Doorlatendheid	[mD]	Grid	Op basis van dieptekaart + begravingsanomalie en de porositeit-diepte relatie en porositeit-permeabiliteit relatie
Saliniteit	[g/l]	100	o.b.v. HEE-01
Putafstand	[m]	1100	Standaard afstand
COP	[-]	15	COP = Coëfficiënt of Performance, 15 is een standaardwaarde voor een geothermiesysteem
Injectietemperatuur	[°C]	20	Standaard voor geothermiesystemen met een lage tot middelhoge temperatuur (<70°C). Injectietemperatuur is voor de diepere delen ook constant gehouden.
Pomprendement	[-]	0,7	Standaard waarde
Skin	[-]	0	Er wordt geen skin aangenomen
Maximale injectiedruk	[bar/m]	0,135	SODM-norm. Deze norm is het eerste uitgangspunt. Hier kan van worden afgeweken mits je kan aantonen dat dit veilig kan.

8.10 POTENTIEKAART

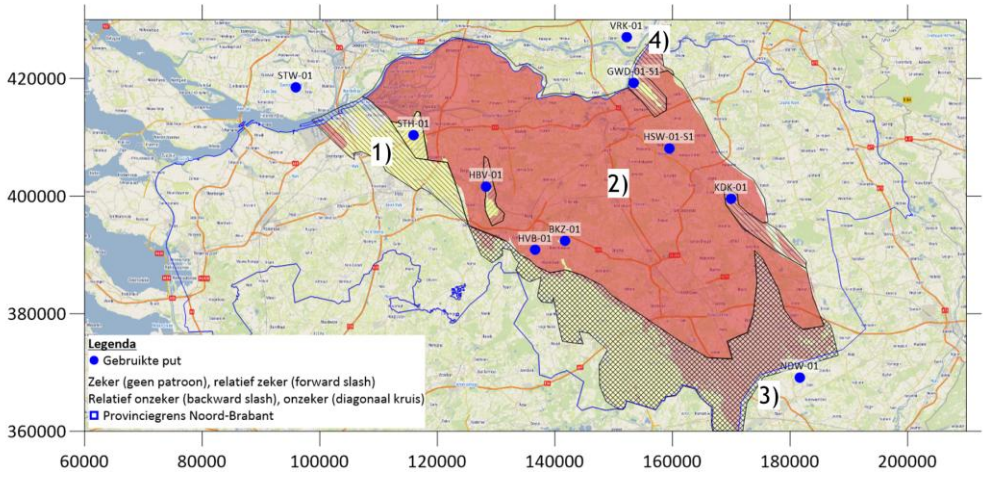
De potentie voor het Röt Randzandsteen Laagpakket is in het onderstaande figuur te zien. Voor het maken van dit figuur zijn de kwantitatieve resultaatkaarten gecombineerd met de kwalitatieve reservoirkwaliteitskaart en de operationele uitgangspunten. Op de potentiekaart is te zien dat het reservoir in het centrale deel van het Roerdalslenk vanwege de grote begravingsdiepte geen/weinig potentie heeft. Langs de westelijke rand van het bekken ligt het reservoir ondieper en is er redelijke potentie.



Figuur 5.75 | Kwalitatieve potentiekaart van het Röt Randzandsteen Laagpakket.

8.11 ONZEKERHEDEN

Voor het Röt Randzandsteen Laagpakket bestaan er aanzienlijke onzekerheden. Deze variëren van gebied tot gebied en staan in het onderstaande figuur en in de onderstaande tabel uiteengezet.



Figuur 5.76 | Onzekerheidskaart van het Röt Randzandsteen Laagpakket als overlay op de geothermische potentiekaart.

Tabel 5.26 | Inschatting en onderbouwing van de onzekerheid voor het Röt Randzandsteen Laagpakket in de verschillende gebieden. Zie hoofdstuk 4.6 voor meer informatie over het inschatten van de onzekerheid.

	Gebied 1	Gebied 2	Gebied 3	Gebied 4
Gebiedsbeschrijving	Ondiepe breukblokken aan de NW zijde van het RVG	Dieper gelegen delen van het RVG	Z en ZW zijde van het RVG met weinig tot geen putgegevens	Ondiep gelegen breukblokken aan de NO zijde van het RVG
1) Gebruikte data	Er zijn een aantal putten geïnterpreteerd in dit gebied (STW-01, STH-01, HVB-01, BKZ-01 en HBV-01). Deze putten bevatte goede data en geven een duidelijk beeld.	Er zijn geen putten geïnterpreteerd in dit gebied. Resultaten in dit gebied zijn op basis van modellen en correlaties van putten buiten het gebied gelegen.	Er is een enkele put aanwezig (NDW-01). Deze put bevat redelijke data, maar is niet representatief voor de ondiep gelegen delen van het gebied.	Er zijn een aantal putten geïnterpreteerd in dit gebied (GWD-01-S1, VRK-01 en KDK-01 en HSW-01-S1). Deze putten bevatten goede data en geven een duidelijk beeld.
2) Geologische complexiteit	Dit gebied is redelijk verbreukt en bevindt zich aan de rand van de erosie lijn van de boven Trias Groep (RN). Het is daarmee relatief complex en onzeker, zeker op afstand van de geïnterpreteerde putten.	De maximale begravingsdiepte is één van de belangrijkste criteria en worst voor dit gebied goed begrepen.	Dit gebied is redelijk verbreukt en bevindt zich aan de rand van de erosie lijn van de boven Trias Groep (RN). Het is daarmee relatief complex en onzeker, zeker op afstand van de geïnterpreteerde putten.	Dit gebied is sterk verbreukt en kent grote diepte verschillen. Het is daarmee relatief complex en onzeker, zeker op afstand van de geïnterpreteerde putten.
3) Correlaties en modellen	Er lijkt een duidelijke trend te bestaan tussen maximale begraving en porositeit en tussen porositeit en permeabiliteit. De geïnterpreteerde putten in dit gebied passen goed in die trends.	Er lijkt een duidelijke trend te bestaan tussen maximale begraving en porositeit en tussen porositeit en permeabiliteit. Ondanks dat er geen putten zijn geïnterpreteerd in dit gebied wordt de tend als betrouwbaar gezien voor dit gebied.	Er lijkt een duidelijke trend te bestaan tussen maximale begraving en porositeit en tussen porositeit en permeabiliteit. Wel lijkt de NDW-01 put in dit gebied niet helemaal op te lijnen met de gemaakte modellen. Dit komt waarschijnlijk door een additionele begravings-anomalie die niet in de huidige modellen zit.	Er lijkt een duidelijke trend te bestaan tussen maximale begraving en porositeit en tussen porositeit en permeabiliteit. Wel lijkt de VRK-01 put in dit gebied niet helemaal op te lijnen met de gemaakte modellen. Dit komt waarschijnlijk door een additionele begravings-anomalie die niet in de huidige modellen zit.
Uiteindelijke zekerheid	**Relatief zeker (bij STH-01 en HBV-01), Relatief onzeker**	**Zeker**	**Onzeker**	**Relatief onzeker**

Bijlage 9 Hoofd-Bontzandsteen Subgroep

In deze bijlage beschrijven we beknopt de belangrijkste stappen, uitgevoerde analyses en interpretaties van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep. Ook zijn in deze bijlage relevante resultaten en tussenkaarten te vinden. Deze bijlage kan op zichzelf worden gelezen maar dient hoofdzakelijk als technische ondersteuning van de hoofdrapportage.

9.1 GEOLOGISCHE BESCHRIJVING HOOFD BONTZANDSTEEN SUBGROEP

De Hoofd-Bontzandsteen Subgroep bestaat uit drie formaties: Volpriehausen, Detfurth en Hardegsen[17]. Deze formaties zijn in Noord-Brabant aanwezig in de Roerdalslenk. De formaties van Volpriehausen en Detfurth worden gekenmerkt door een grootschalige fining-up sequentie, bestaande uit een basale (sub)arkosiche zandsteenlaag en bovenliggende silt- en kleisteenlagen. De Formatie van Hardegsen bestaat voornamelijk uit siltstenen met enkele zandsteenlagen. Binnen de Roerdalslenk zijn de formaties echter hoofdzakelijk zandig ontwikkeld en ontbreken de silt- en kleistenen veelal.

De Hoofd-Bontzandsteen Subgroep werd door middel van een prograderend rivierensysteem afgezet in een (semi)aride bekken. Naar het noorden gingen de rivieren over in playa-meren, waarin de silt- en kleistenen werden afgezet. In het noorden, en tijdens perioden van droogte werd het sediment eolisch herwerkt. Het London-Brabant Massief, gelegen ten zuiden van de Roerdalslenk, vormde de belangrijkste bron van sediment. Vanwege de proximale ligging van de Roerdalslenk, bestaat de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep hier voornamelijk uit zandstenen, en ontbreken de silt- en kleistenen grotendeels. Naar het noorden toe, in meer distale delen van het bekken, wordt het materiaal geleidelijk fijner.

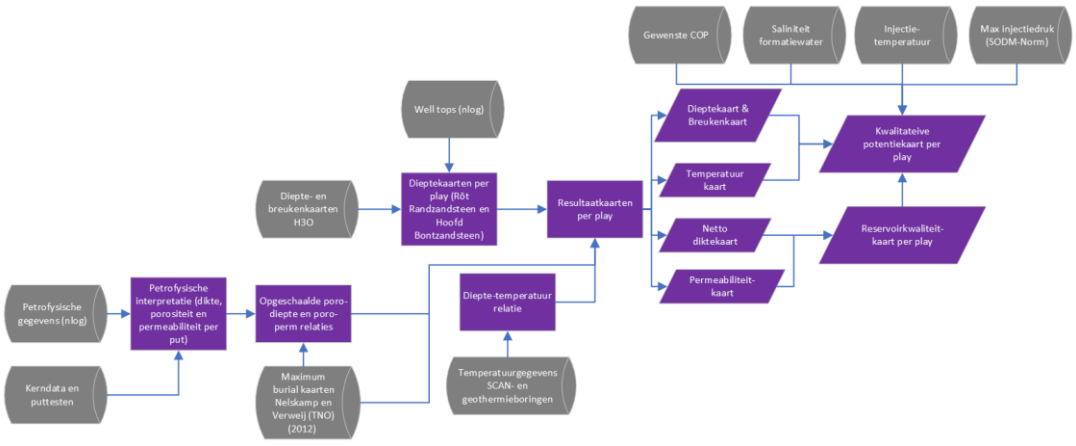
Tijdens afzetting van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep was de Roerdalslenk tektonisch actief, wat resulteerde in lokale dikteverschillen binnen de formaties. De Kimmerische tektonische fasen tijdens het Laat-Jura en Vroeg-Krijt veroorzaakten opheffing en erosie. Hoger en lager gelegen structuren ontstonden, zoals het Peel-Maasbommel Complex en het Zeeland Hoog. Als gevolg van synsedimentaire tektoniek en erosie varieert de dikte van de formaties sterk. De Formatie van Volpriehausen bereikt in de Roerdalslenk diktes tot circa 150 m, de Formatie van Detfurth varieert in dikte tussen 20 en 40 m, en de Formatie van Hardegsen is tot maximaal 70 m dik. Daarnaast varieert de begravingsdiepte van de formaties lokaal. Variaties in dikte en begravingsdiepte hebben geleid tot verschillen in diagenetische processen. Hierdoor varieert de reservoirkwaliteit van de Hoofd-Bontzandsteengroep regionaal.

[17] An integrated geological characterisation of the Lower Triassic Main Buntsandstein Subgroup for geothermal applications in the southern Netherlands (Cecchetti, 2025)

9.2 GEHANTEERDE WERKWIJZE

Voor het maken van de reservoirkwaliteitskaart en kwalitatieve potentiekaart van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep zijn de volgende stappen gehanteerd:

1 Inladen dieptekaart van de Onder Trias Groep uit het H3O-diep model en het inladen van de breukenkaart (Basis RB-Groep).
2 Inventarisatie van gegevens voor de petrofysische interpretatie, denk hierbij aan:
   - Kerndata voor verschillende putten binnen en rond het interpretatiegebied.
   - Petrofysische logdata voor meerdere putten binnen het interpretatiegebied.
   - Temperatuurmetingen van de Trias Groepen uit geothermie- en SCAN-boringen.
3 Petrofysische interpretatie van putten met voldoende logs binnen het interpretatiegebied:
   - Petrofysisch geïnterpreteerde putten: SPC-01, STH-01, STW-01, KDK-01, GWD-01-S1, BKZ-01, VRK-01, HVB-01, HBV-01, HSW-01-S1 en NDW-01.
   - Voor het omrekenen van de porositeit naar permeabiliteit zijn er twee relaties op basis van de kerndata gemaakt: een relatie voor putten gelegen in het westelijk deel van de Roerdalslenk en een relatie voor de putten in het oostelijk deel.
4 Opstellen van temperatuur-diepte relatie met behulp van temperatuurmetingen.
5 Maken van de kwantitatieve resultaatkaarten zoals: diepte mid-reservoir, temperatuur mid-reservoir, bruto dikte, netto/bruto (N/G) verhouding, permeabiliteit en transmissiviteit.
6 Maken van de reservoirkwaliteitskaart op basis van de transmissiviteit.
7 Maken van de kwalitatieve potentiekaart op basis van de kwantitatieve kaarten, kwalitatieve reservoirkwaliteitskaart, operationele uitgangspunten en een in-house python model.



Figuur 5.77 | Gehanteerde werkwijze voor het Röt Randzandsteen Laagpakket en de Hoofd Bontzandsteen Subgroep.

9.3 INPUT GEGEVENS

H3O-kaarten
Om de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep voor de gehele provincie Noord-Brabant in kaart te brengen zijn de interpretaties van de Boven en Onder Trias Groepen (RN en RB) uit H3O Diep Zuid NL gebruikt (zie Figuur 5.7). Voor de breukenkaart zijn de geïnterpreteerde breuken aan de basis van de RB-Groep gebruikt.

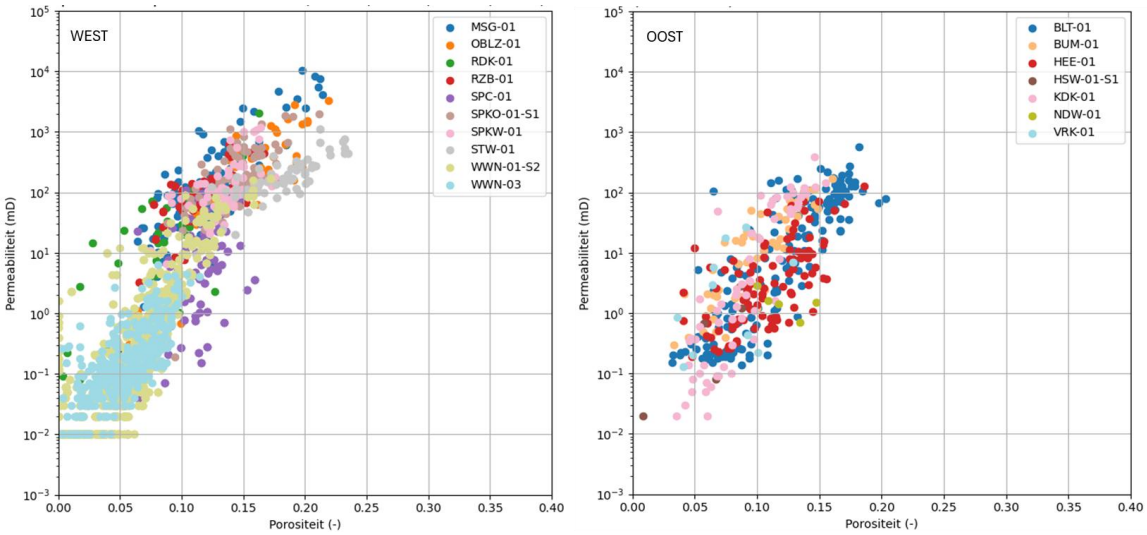
Petrofysische gegevens
Om de reservoir eigenschappen van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep in kaart de brengen zijn er een regionale putten met voldoende data geïnterpreteerd. De gebruikte putten en gehanteerde methodes staan uiteengezet in de onderstaande tabel.

Tabel 5.27 | Petrofysische gegevens gebruikt voor de interpretatie van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep.

Putnaam	Opmerking	Methode Porosity	Methode Vclay	Compaction factor	Clay porosity	Methode Perm
SPC-01	Compactie factor toegepast op de DT log om de data te laten kloppen met de kerndata	DT (wyllie unconsolidated)	GR	1.35	0.11 (obv DT in de Claystone)	Poro perm west
STH-01		RHOB	GR	-	0.1 (obv RHOB in Hoofd Kleisteen)	Poro perm west
STW-01	RHOB porosity laat een betere fit met de core data zien	RHOB	GR	-	0.06 (obv RHOB in RNROC)	Poro perm west
KDK-01	-	NPHI-RHOB	GR	-	0.06	Poro perm oost
BKZ-01	-	NPHI-RHOB	GR	-	0.06	Poro perm west
VRK-01	-	RHOB	GR	-	0.06	Poro perm oost
HVB-01	-	RHOB	GR	-	0.06	Poro perm west
HBV-01	-	NPHI-RHOB	GR	-	0.06 (obv RHOB in RNROC)	Poro perm west
BUM-01	-	RHOB	GR	-	0.06 (obv RHOB)	Poro perm oost
HEE-01	-	NPHI-RHOB	GR	-	0.06	Poro perm oost
BLT-01	-	NPHI-RHOB	GR		0.06	Poro perm oost
HSW-01-S1	-	RHOB	GR		0.06	Poro perm oost
NDW-01	-	DT	GR		0.176 (obv DT log in Claystone)	Poro perm oost

Kerndata
Voor verschillende boringen in en rond de provincie Noord-Brabant is er kerndata beschikbaar voor de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep. Deze data is gebruikt voor het opstellen van twee porositeit-permeabiliteit relaties en gebruikt voor de validatie van de geïnterpreteerde

resultaten. Voorafgaand aan het opstellen van de relatie en de validatie is de kerndata gecorrigeerd naar een brine permeabiliteit met behulp van de Juhasz correctie[18].



Figuur 5.78 | Gecorrigeerde kerndata van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep voor putten in en rond de provincie Noord-Brabant. De kerndata is vanwege verschillen korrelgrootte opgesplitst in twee gebieden (oost en west).

Vanwege verschillen in afzettingsmilieu van de zanden binnen de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep is er een duidelijk verschil in de korrelgrootte in de putten langs de westelijke rand en de oostelijke rand. Dit is goed terug te zien in de kerndata (Figuur 5.78), waarbij de zanden langs de oostrand fijnkorreliger zijn en duidelijk minder doorlatend zijn. Daarom hebben we op basis van de kerndata twee aparte porositeit-permeabiliteit relaties opgesteld (Tabel 5.27).

Temperatuurmetingen
In de SCAN-boringen HEE-01 en BLT-01 en de geothermieputten BRI-GT en TNT-GT zijn temperatuurmetingen voor de zanden binnen het Trias uitgevoerd. Deze metingen zijn gebruikt voor het opstellen van een regionale temperatuur-diepte relatie voor de zanden binnen de Hoofd Bontzandsteen Subgroep.

9.4 PETROFYSISCHE INTERPRETATIE

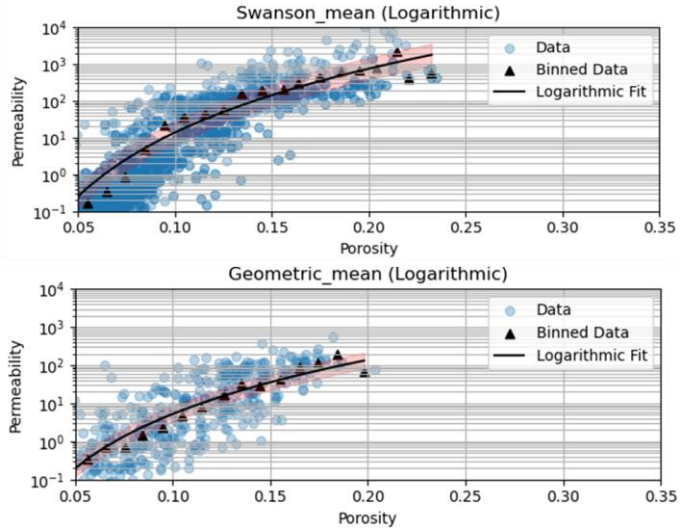
Porositeits-permeabiliteit relatie
Op basis van de brine permeabiliteit kerndata zijn er twee best fit logaritmische relaties opgesteld:

$$\text{West: } k_h = 10^{5.77 \cdot \log(\varphi) + 6.91}$$
$$\text{Oost: } k_h = 10^{4.71 \cdot \log(\varphi) + 5.44}$$

[18] Juhasz, I., 1986. Conversion of routine air-permeability data into stress brine-permeability data. *Society of Professional Well Log Analysts, Aberdeen Chapter, 10th European Formation Evaluation Symposium Transactions, paper Y*, 1-15.

Hierbij is:

- k_h de brine permeabiliteit in mD,
- en φ de brine porositeit (-)

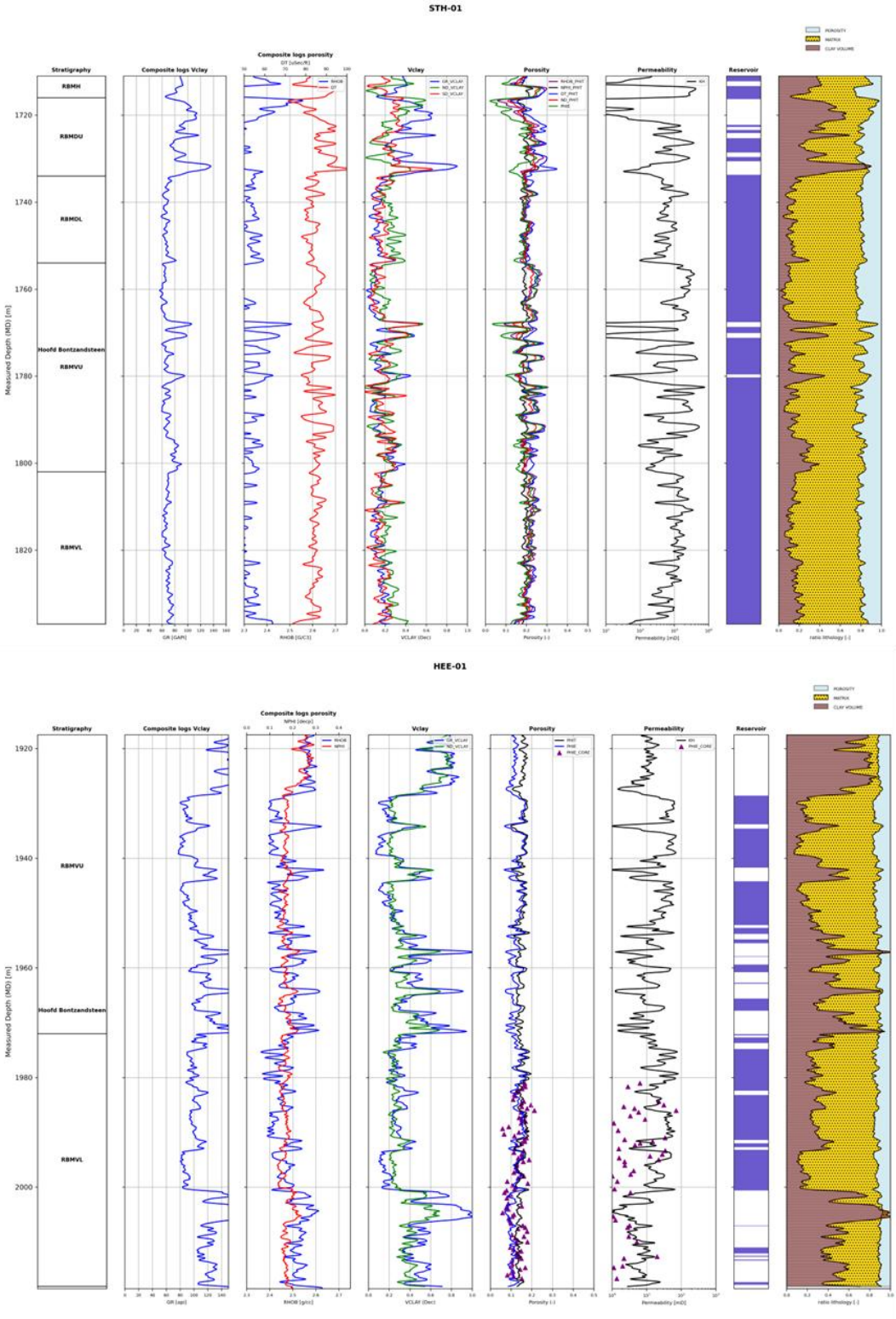


Figuur 5.79 | Boven) logaritmische porositeit-permeabiliteit relatie voor de putten gelegen langs de westelijk rand opgesteld op basis van het Swanson gemiddelde van de brine porositeit en permeabiliteit kerndata. Onder) logaritmische porositeit-permeabiliteit relatie voor de putten gelegen langs de oostelijk rans opgesteld op basis van het geometrisch gemiddelde van de brine porositeit en permeabiliteit kerndata.

Dezes relaties zijn gebruikt om voor de putten de porositeit om te rekenen naar een permeabiliteit.

Resultaten

De resultaten van de petrofysische interpretatie staan samengevat in Tabel 5.28. Allereerst laten de putten STH-01 en HEE-01 (Figuur 5.80) duidelijk de opbouw van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep zien, welke bestaat uit een relatief dik pakket van verschillende zand en klei formaties. In een aantal westelijk gelegen putten zijn de zandlagen vaak goed poreus en doorlatend (permeabiliteit voor de zandlagen in STW-01, HBV-01 en STH-01 varieert tussen 100 - 1000 mD). Bij de oostelijk gelegen putten (BLT-01, HEE-01, KDK-01 en HSW-01-S1) zijn de gemiddelde porositeit en permeabiliteit vaak relatief laag. Vergelijkbaar als bij het Röt Randzandsteen Laagpakket laten over het algemeen ondiep gelegen putten relatief hogere doorlatendheden zien (e.g. STH-01 HBV-01, STW-01 en BLT-01). Dieper gelegen putten (e.g. HVB-01, BKZ-01, NDW-01 en HSW-01-S1) zijn vaak niet of matig doorlatend. Op basis van de interpretaties lijkt er dus een duidelijke trend te zijn tussen de maximale begraving (diepte) en de porositeit / doorlatendheid van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep. Tijdens de opschaling van petrofysische eigenschappen naar kaartniveau zijn deze trends gebruikt.



Figuur 5.80 | Resultaten van de petrofysische interpretatie van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep in STH-01 (boven) en HEE-01 (onder).

Tabel 5.28 | Opgeschaalde resultaten van de petrofysische interpretatie van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep.

Put	Top (TVD)	Basis (TVD)	Bruto dikte (m)	Netto dikte (m)	N/G	Effectieve porositeit (-) Net reservoir	Perm (mD) (GM) Net reservoir	X RD	Y RD
KDK-01	2000	2157	157.5	90.3	0.57	0.14	22	169983	399563
VRK-01	1571	1767	196.4	97.3	0.5	0.12	13	152194	427009
HEE-01**	1917	2018	100.5	53.7	0.53	0.14	25	166637	416073
BLT-01***	1402	1492	90.2	41.6	0.46	0.17	59	141578	456882
HSW-01-S1	2560	2754	194.1	100.2	0.52	0.11	8	159454	408141
NDW-01	2092	2237	145	88.8	0.61	0.12	11	181655	369130
SPC-01	2394	2522	127.7	98.1	0.77	0.12	42	127414	413625
STH-01	1711	1837	126	110.1	0.87	0.2	813	115960	410350
STW-01	2087	2265	177.7	162.6	0.92	0.15	131	95926	418580
BKZ-01	2418	2667	249.1	203.9	0.82	0.1	13	141693	392362
HVB-01	2315	2515	199.8	117.9	0.59	0.12	35	136654	390851
HBV-01	2011	2167	155.4	138.4	0.89	0.17	298	128294	401682
BRI-GT-01*	2170	2405	235	164.5	0.7	0.142	120	69009	432402
BRI-GT-02*	2050	2227	177	123.9	0.7	0.155	170	70317	431588

* Eigenschappen van de geothermie putten nabij Brielle zijn ingeschat op basis van de puttesten (beschikbaar op NLOG).
** Puttest interpretatie EBN HEE-01: 0.5 Dm --> Perm = ± 10 mD
*** Puttest interpretatie EBN BLT-01: 5.0 Dm --> Perm = ± 100 mD

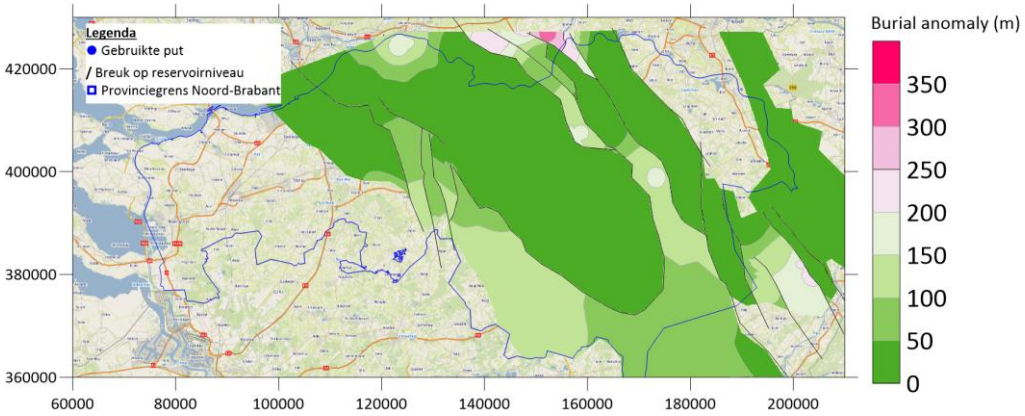
9.5 OPSCHALING PETROFYSISCHE EIGENSCHAPPEN

Zoals bij de petrofysische interpretatie is geconstateerd, lijkt er een duidelijke trend te zijn tussen de begraving van het reservoir en de uiteindelijke porositeit. In dit hoofdstuk onderbouwen we deze relatie tussen de diepte en porositeit in meer detail. Er wordt ook inzichtelijk gemaakt hoe de porositeit vervolgens wordt omgerekend naar een gemiddelde permeabiliteit.

Begravingsanomalie

Om een goede porositeit vs. diepte relatie op te stellen moet er ook worden gekeken naar de begravingsanomalie. Deze anomalie laat zien waar er additionele begraving moet zijn geweest ten opzichte van de huidige begraving aan de hand van tektonische gebeurtenissen. In Figuur 5.63 laten we de gebruikte begravingsanomalie kaart zien. Deze kaart is gebaseerd op de kaarten van (Nelskamp & Verweij, 2012)[19], en de belangrijkste breuken (RB-niveau) uit het H3O programma. Met behulp van deze kaart kunnen we de maximale begravingsdiepte (huidige diepte + begravingsanomalie) in kaart brengen en voor de geïnterpreteerde putten bepalen.

[19] Nelskamp, S., Verweij, J.M., 2012. Using basin modeling for geothermal energy exploration in the Netherlands - an example from the West Netherlands Basin and Roer Valley Graben. TNO-060-UT-2012-00245.



Figuur 5.81 | *Aangepaste begravingsanomaliekaart gebruikt om de maximale begravingsdiepte voor de Trias reservoirs te bepalen (huidige diepte (mid reservoir) + begravingsanomalie).*

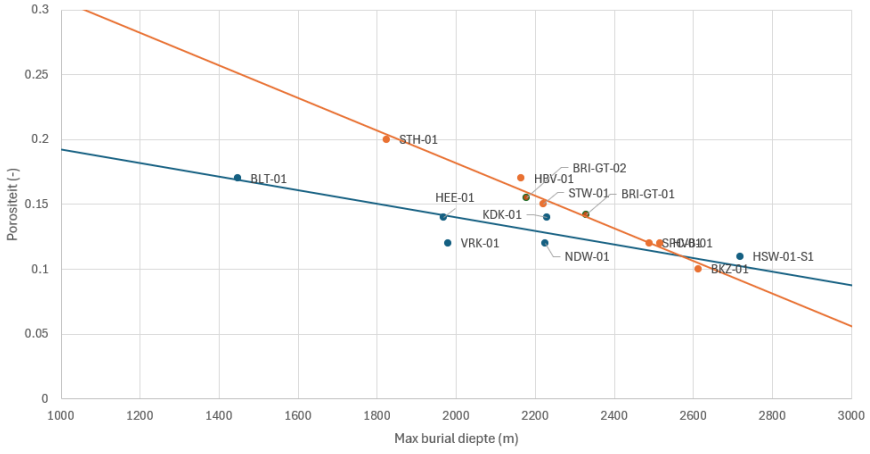
Porositeit vs. maximale begravingsdiepte

Op basis van de gemiddelde porositeit en de maximale begravingsdiepte per put kan er een regionaal porositeit-diepte model worden opgesteld (zie onderstaand figuur) voor de zuidwestelijke rand en de oostelijke rand van het Roerdalslenk. Deze relatie is als volgt:

$$\text{West: } \varphi = -0.00012562 \cdot z_{\max} + 0.433$$
$$\text{Oost: } \varphi = -0.0000525 \cdot z_{\max} + 0.245$$

Hierbij is:

- φ de opgeschaalde gemiddelde porositeit van het reservoir (-)
- en $z_{\max}$ de maximale begravingsdiepte (m)



Figuur 5.82 | *Porositeit vs. maximale begravingsdiepte voor de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep voor de westelijk (oranje) en oostelijke (blauw) gelegen putten.*

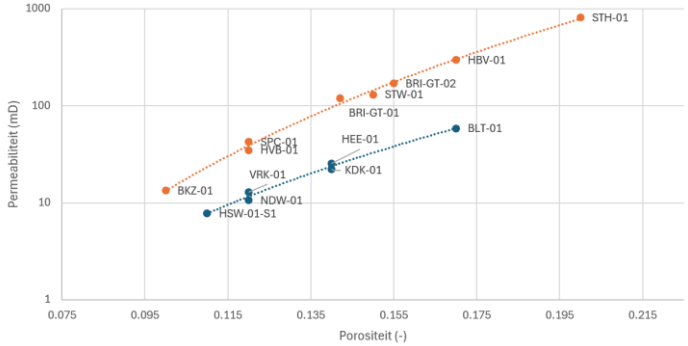
In Figuur 5.64 is te zien dat de putten VRK-01 en KDK-01 niet op de lijn liggen. Dit komt waarschijnlijk door onzekerheden in de gebruikte begravingsanomalie. De onzekerheid in de porositeit rondom deze putten is dan ook relatief groot. Voor de andere putten is er ook een onzekerheid zichtbaar (e.g. HBV-01 en HSW-01-S1). Echter, deze is wel minder groot.

Opgeschaalde porositeits-permeabiliteit relatie
De opgeschaalde gemiddelde porositeit moet vervolgens omgerekend worden naar een opgeschaalde gemiddelde permeabiliteit. Hiervoor zijn de volgende relaties gebruikt (zie onderstaand figuur):

$$\text{West: } k_h = 1.03 \cdot 10^7 \cdot \varphi^{5.892}$$
$$\text{Oost: } k_h = 221242 \cdot \varphi^{4.647}$$

Hierbij is:

- k_h de opgeschaalde gemiddelde permeabiliteit van het reservoir (mD)
- en φ de opgeschaalde gemiddelde porositeit van het reservoir (-)



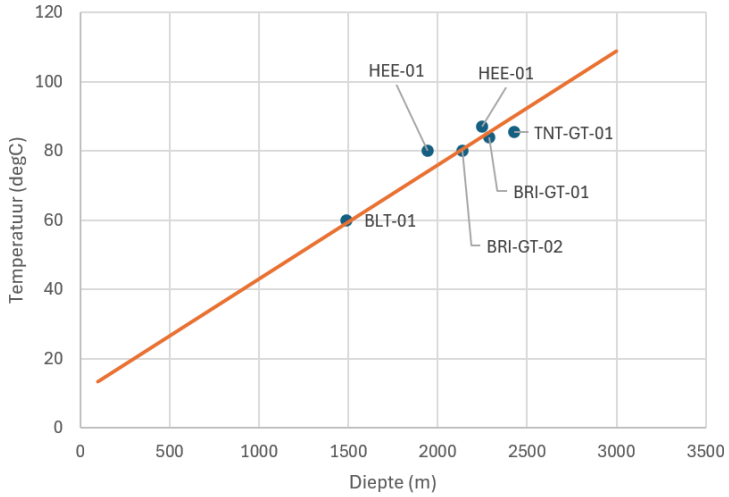
Figuur 5.83 | Opgeschaalde gemiddelde porositeit vs. gemiddelde permeabiliteit relatie voor de westelijk (oranje) en oostelijke (blauw) gelegen putten.

9.6 TEMPERATUUR VS. DIEPTE

Op basis van de temperatuurmetingen in HEE-01, BLT-01, TNT-GT-01, BRI-GT-01 en BRI-GT-02 is de volgende regionale temperatuur-diepte relatie opgesteld:

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

Deze relatie is gebruikt voor het omrekenen van de mid-reservoir dieptekaart naar een gemiddelde reservoir temperatuurkaart.



Figuur 5.84 | Temperatuur-diepte relatie opgesteld op basis van temperatuurmetingen in de Trias zanden.

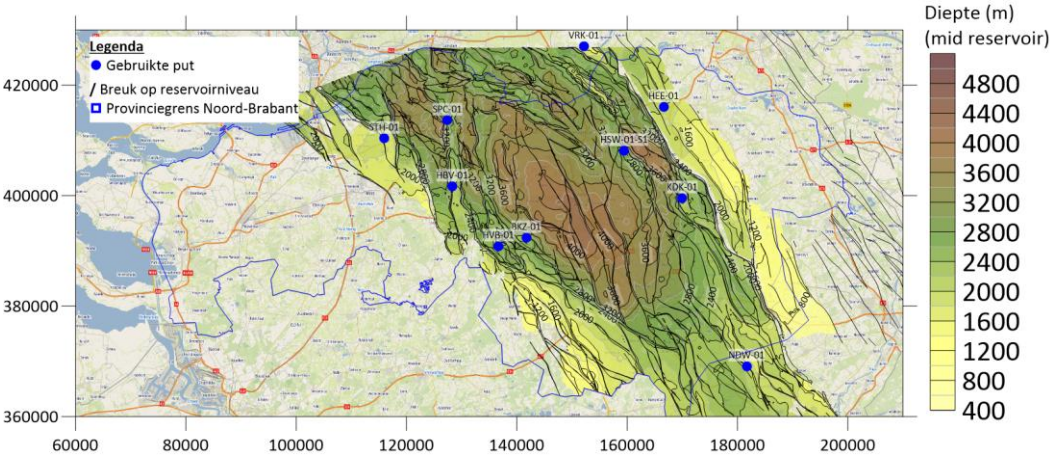
9.7 RESULTAATKAARTEN

Op basis van de input data en interpretaties zijn de volgende kwantitatieve resultaatkaarten gemaakt:

- **Diepte (mid-reservoir)**: Dit is de geschatte diepte van het midden van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep. Om deze kaart te maken is de Basis-RB H3O kaart gecombineerd met dieptemetingen uit de HEE-01 put.
- **Bruto dikte**: Dit is de geschatte dikte van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep. Om deze kaart te maken zijn de resultaten uit H3O Diep Zuid NL in combinatie met nieuwe putgegevens (HEE-01) gebruikt.
- **Temperatuur (mid-reservoir)**: Dit is de geschatte gemiddelde temperatuur van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep. Voor deze kaart zijn de mid-reservoir dieptekaart en de temperatuur vs. diepte relatie gebruikt.
- **Reservoireigenschappen**: Voor de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep zijn er ook kaarten gemaakt van de netto/bruto verhouding (N/G), de porositeit, de permeabiliteit en de transmissiviteit. De N/G-kaart is gemaakt door de resultaten van de petrofysische interpretatie te interpoleren (m.b.v. kriging in Surfer). De porositeits- en permeabiliteitskaart zijn gemaakt door middel van een combinatie tussen maximale begravingsdiepte (diepte mid-reservoir + begravingsanomalie) en de relaties uiteengezet in het opschalingshoofdstuk. De transmissviteit is het product van de N/G-kaart, permeabiliteitskaart en bruto diktekaart.

Diepte (mid-reservoir)

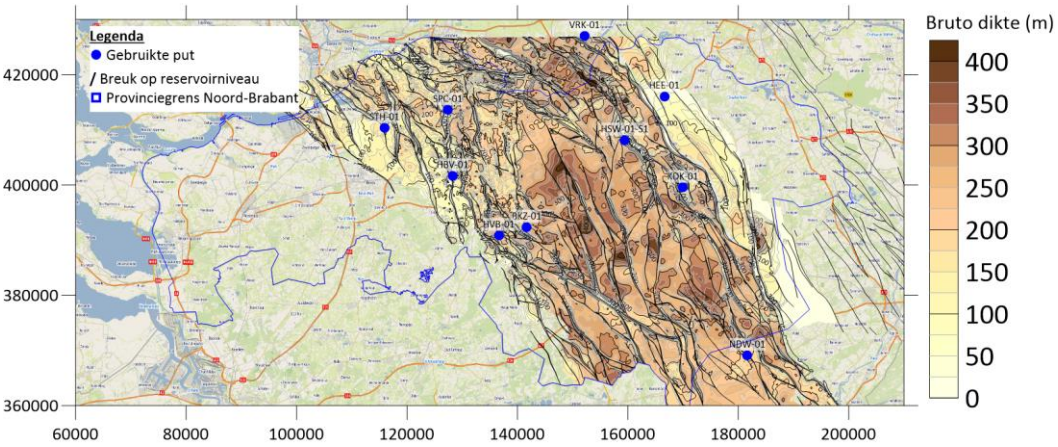
De diepte van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep is erg afhankelijk van de locatie. In het midden van het Roerdalslenk kan dit reservoir dieper dan 4000 meter liggen, terwijl deze aan de randen van het bekken (e.g. bij STH-01) op minder dan 2000 meter ligt.



Figuur 5.85 | *Mid-reservoir diepte van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep.*

Bruto dikte

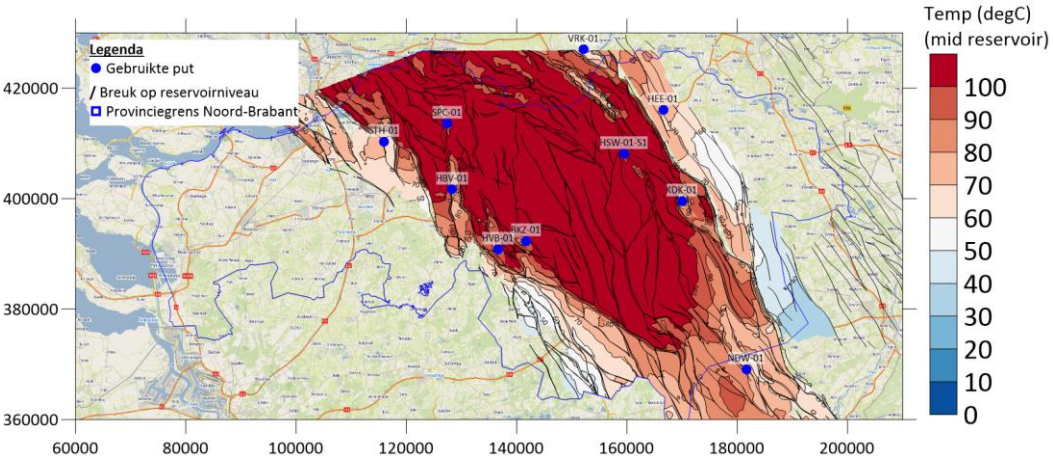
De bruto dikte van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep kan sterk variëren maar is over het algemeen relatief dik. Op de zuidwestelijk en noordoostelijk gelegen platformen is het reservoir dunner en vaak tussen de 0 en 200 meter dik. In het midden van het Roerdalslenk kan de dikte oplopen tot meer dan 400 meter.



Figuur 5.86 | *Bruto dikte van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep.*

Temperatuur (mid-reservoir)

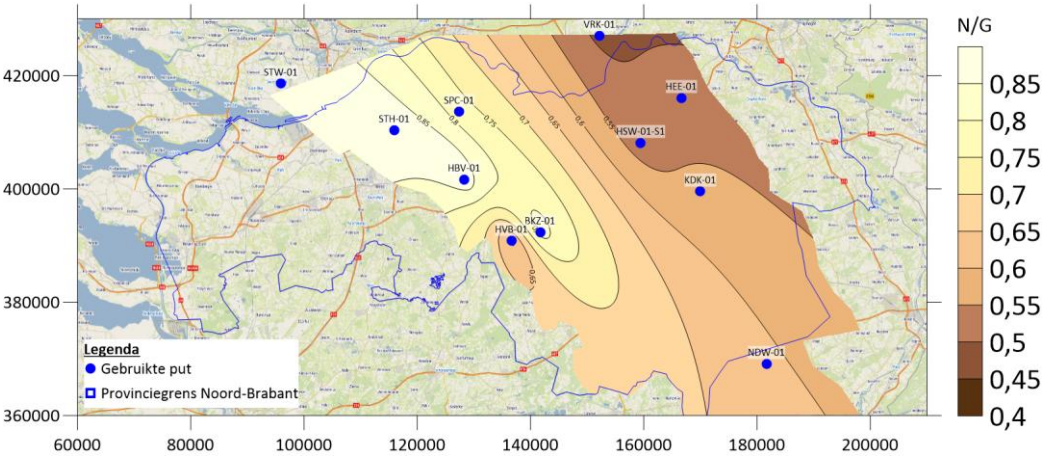
De temperatuur volgt eenzelfde patroon als de diepte en neemt toe waar de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep dieper ligt. Voor het centrale deel van het Roerdalslenk ligt de temperatuur dan ook veelal boven de 100 °C. Aan de randen liggen te temperaturen veelal tussen 90 en 40 °C.



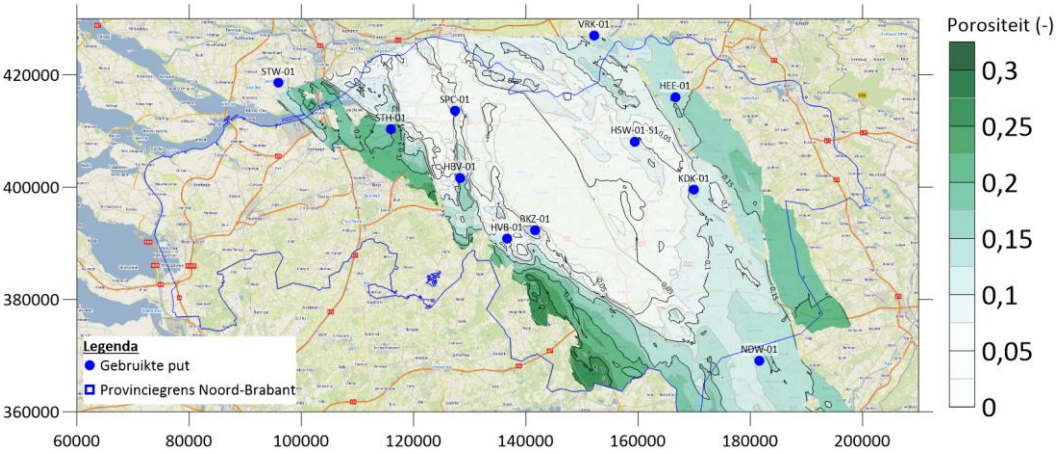
Figuur 5.87 | Mid-reservoir temperatuur van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep.

Reservoir eigenschappen

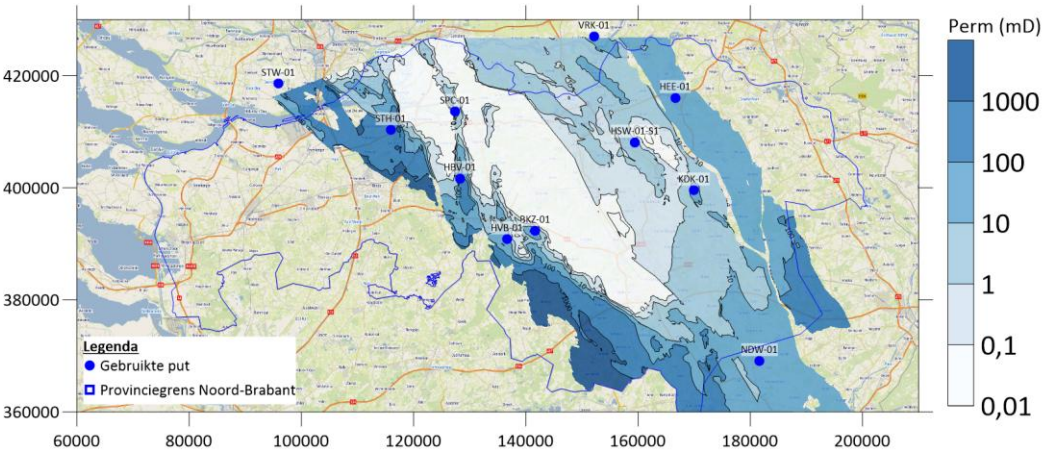
De netto/bruto verhouding varieert tussen de 0.4 en 0.9, waarbij de hoeveelheid netto zand in oostelijke richting significant afneemt. De porositeit en de doorlatendheid zijn afhankelijk van de maximale begravingsdiepte. In de dieper begraven delen zijn de porositeit en permeabiliteit erg laag (porositeit = 1 – 5% en permeabiliteit = 0.01 – 1 mD). Daarmee is het reservoir in deze gebieden ondoorlatend en ongeschikt. Aan de westelijke rand van de Roerdalslenk nemen de porositeit en permeabiliteit toe. Zo is de porositeit aan de westelijke rand veelal boven de 15%. De permeabiliteit in dit gebied is veelal boven de 100 mD en kan oplopen tot ongeveer 2500 mD. Op de ondiep gelegen breukblokken aan de oostelijke rand van het bekken zijn de porositeit en permeabiliteit respectievelijk ongeveer 15 – 17% en 10-100 mD. Daarmee lijkt het reservoir vooral aan de westelijke rand van het bekken meer dan voldoende doorlatend voor geothermie. Tot slot is er op de porositeit- en permeabiliteitskaart een artefact zichtbaar van de verschillende gehanteerde porositeit-diepte – en porositeit-permeabiliteit relatie tussen de oost en westflank van het Roerdalslenk. Deze artefacten hebben weinig tot geen invloed op de uiteindelijke potentieberekeningen.



Figuur 5.88 | Netto/Bruto verhouding van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep.

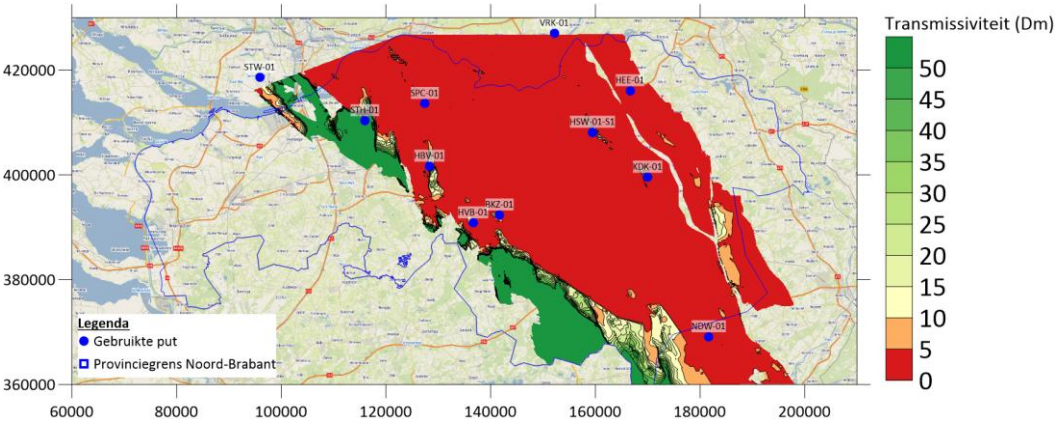


Figuur 5.89 | Gemodelleerde porositeit van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep.



Figuur 5.90 | Gemodelleerde permeabiliteit van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep.

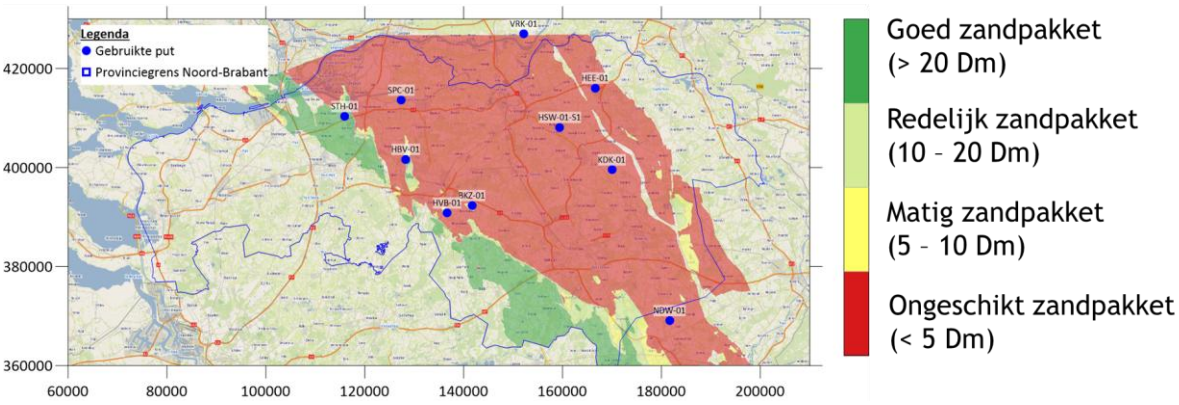
De transmissiviteit van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep varieert tussen de 0 Dm in het dieper gelegen deel in de Roerdalslenk en meer dan 50 Dm (tot wel 200 Dm) op de meest ondiepe delen langs de westrand. Deze grote verschillen worden met name veroorzaakt door de grote verschillen in de maximale begravingsdiepte. Aan de oostrand is enkel voldoende transmissiviteit bij Milheeze/Deurne (5-15 Dm). Hier wordt op het moment een SCAN-Boring uitgevoerd waar de resultaten nog voor moeten vrijkomen. Op basis van deze kaart lijkt met name de westelijke rand van het Roerdalslenk lopende van Moerdijk-Breda-Hoogeloon-Eersel-Budel het meest interessant. In dit gebied ligt de transmissviteit veelal hoger dan 50 Dm en lijkt daarmee geschikt voor geothermie.



Figuur 5.91 | Berekende transmissiviteit van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep.

9.8 RESERVOIRKWALITEIT

De reservoirkwaliteitskaart is afgeleid van de transmissiviteitskaart. Deze kaart laat zien dat de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep vanwege de grote begravingsdiepte in grote delen van Noord-Brabant ongeschikt is. Aan de westrand daarentegen ligt het reservoir relatief ondiep waardoor deze over een brede band goed geschikt is. Ook is er een klein gebied bij Milheeze/Deurne waar de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep matig tot redelijk lijkt.



Figuur 5.92 | Kwalitatieve reservoirkwaliteit van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep. Voor deze kaart is de transmissiviteitskaart gebruikt.

9.9 UITGANGSPUNTEN POTENTIE BEREKENINGEN

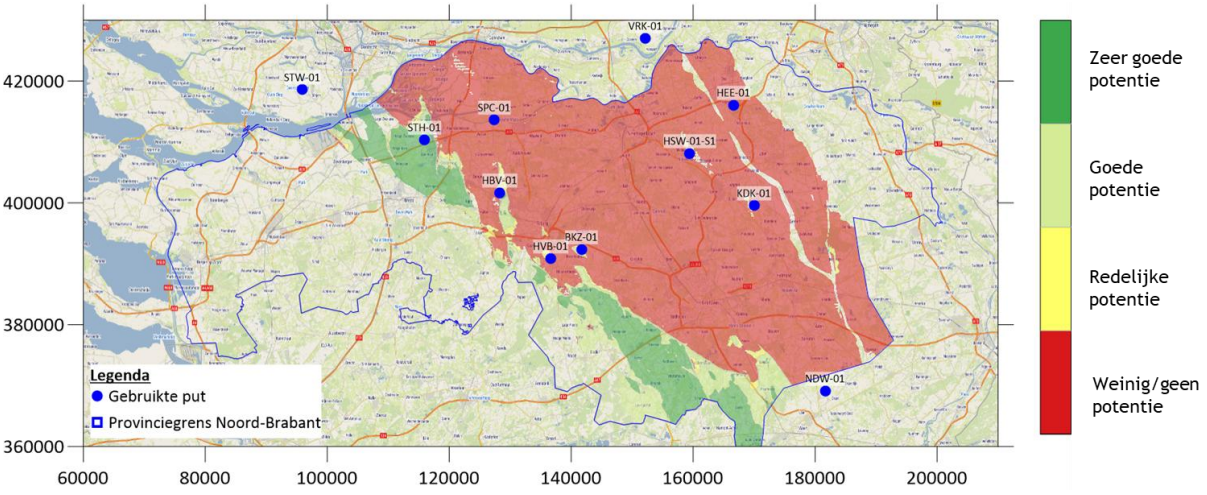
Voor de potentieberekeningen zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd. Deze uitgangspunten kunnen worden geoptimaliseerd voor locatie-specifieke studies of projecten.

Parameter	Eenheid	Grid/waarde	Bron
Diepte	[m]	Grid	Mid reservoir dieptekaart
Dikte	[m]	Grid	Netto zanddikte. Combinatie van N/G-kaart met bruto diktekaart
Temperatuur	[°C]	Grid	O.b.v. dieptekaart en een regionale temperatuurgradiënt

Doorlatendheid	[mD]	Grid	Op basis van dieptekaart + begravingsanomalie en de porositeit-diepte relatie en porositeit-permeabiliteit relatie
Saliniteit	[g/l]	100	o.b.v. HEE-01
Putafstand	[m]	1100	Standaard afstand
COP	[-]	15	COP = Coëfficiënt of Performance, 15 is een standaardwaarde voor een geothermiesysteem
Injectietemperatuur	[°C]	20	Standaard voor geothermiesystemen met een lage tot middelhoge temperatuur (<70°C). Injectietemperatuur is voor de dieper delen ook constant gehouden.
Pomprendement	[-]	0,7	Standaard waarde
Skin	[-]	0	Er wordt geen skin aangenomen
Maximale injectiedruk	[bar/m]	0,135	SODM-norm. Deze norm is het eerste uitgangspunt. Hier kan van worden afgeweken mits je kan aantonen dat dit veilig kan.

9.10 POTENTIEKAART

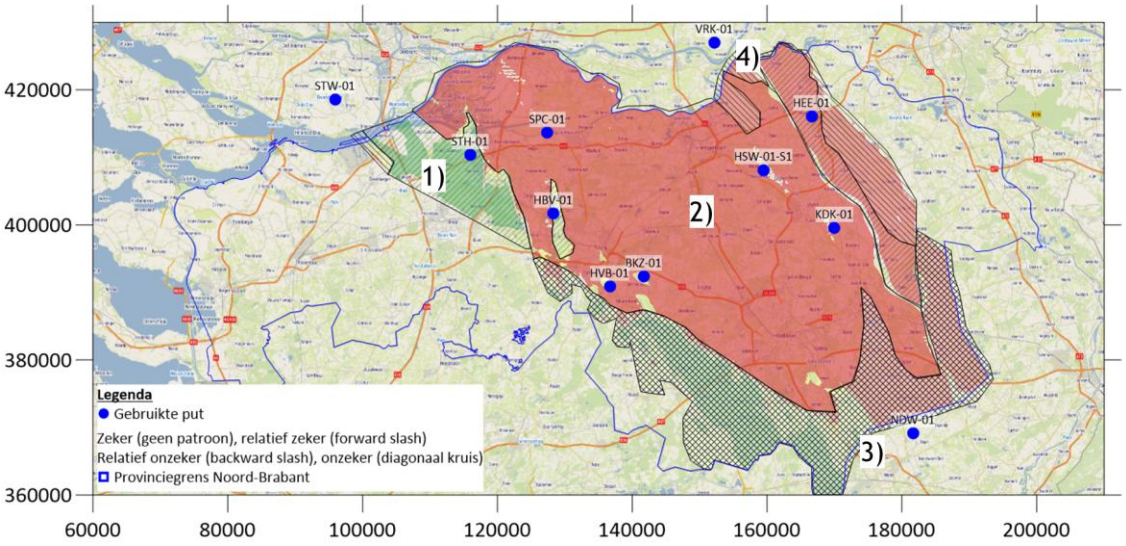
De geothermische potentie van de Hoofd Bontzandsteen Subgroep is het hoogst aan de zuidwestelijke rand van de Roerdalslenk. Hier ligt het reservoir relatief ondiep, wat resulteert in relatief hoge doorlatendheden, zoals geobserveerd in putten STW-01, STH-01 en HBV-01. Daarnaast is de netto dikte van het reservoir in dit gebied relatief hoog. Aan de noordoostelijke rand van de Roerdalslenk zijn de begravingsdieptes vergelijkbaar met die van de noordwestelijke rand. Door de kleinere korrelgroottes van de zanden is de doorlatendheid hier echter lager. Hierdoor is er veelal weinig tot geen geothermische potentie in dit gebied. Enkel voor een klein gebied bij Milheeze is er redelijke potentie. In het centrale deel van de Roerdalslenk ligt het reservoir dieper begraven, waardoor de doorlatendheden relatief laag zijn. Hierdoor is er weinig tot geen potentie voor geothermie in dit gebied.



Figuur 5.93 | Kwalitatieve potentiekaart Hoofd Bontzandsteen Subgroep.

9.11 ONZEKERHEDEN

Voor de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep bestaan er aanzienlijke onzekerheden. Deze variëren van gebied tot gebied en staan in het onderstaande figuur en in de onderstaande tabel uiteengezet.



Figuur 5.94 | Onzekerheidskaart van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep als overlay op de geothermische potentiekaart.

Tabel 5.29 | Inschatting en onderbouwing van de onzekerheid voor de Hoofd Bontzandsteen Subgroep in de verschillende gebieden. Zie hoofdstuk 4.6 voor meer informatie over het inschatten van de onzekerheid.

	Gebied 1	Gebied 2	Gebied 3	Gebied 4
Gebiedsbeschrijving	Ondiepe breukblokken aan de ZW zijde van het RVG	Dieper gelegen delen van het RVG	Z en ZW zijde van het RVG	Ondiep gelegen breukblokken aan de NO zijde van het RVG
1) Gebruikte data	Er zijn een aantal putten geïnterpreteerd in dit gebied (STW-01, STH-01, HVB-01, BKZ-01 en HBV-01). Deze putten bevatte goede data en geven een duidelijk beeld. Ook zijn er in het verlengde van dit gebied twee goed opererende geothermieprojecten in de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep (Brielle en Tinte).	Er zijn geen putten geïnterpreteerd in dit gebied. Resultaten in dit gebied zijn op basis van modellen en correlaties van putten buiten het gebied gelegen.	Er is een enkele put aanwezig (NDW-01). Deze put bevat redelijke data, maar is niet representatief voor de ondiep gelegen delen van het gebied.	Er zijn een aantal putten geïnterpreteerd in dit gebied (HEE-01, VRK-01 en KDK-01 en HSW-01-S1). Deze putten bevatte goede data en geven een duidelijk beeld.
2) Geologische complexiteit	Dit gebied is redelijk verbreukt en bevindt zich aan de rand van de erosielijn van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep. Het is daarmee relatief complex en op sommige plekken onzeker, zeker op afstand van de geïnterpreteerde putten en dicht bij de erosielijn.	De maximale begravingsdiepte is één van de belangrijkste criteria en wordt voor dit gebied goed begrepen.	Dit gebied is redelijk verbreukt en bevindt zich deels aan de rand van de erosie lijn van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep. Het is daarmee relatief complex en onzeker, zeker op afstand van de geïnterpreteerde putten en dichter bij het erosiegebied.	Dit gebied is sterk verbreukt en kent grote diepte verschillen. Het is daarmee relatief complex en onzeker, zeker op afstand van de geïnterpreteerde putten.
3) Correlaties en modellen	Er lijkt een duidelijke trend te bestaan tussen maximale begraving en porositeit en tussen porositeit en permeabiliteit. De geïnterpreteerde putten in dit gebied passen goed in die trends.	Er lijkt een duidelijke trend te bestaan tussen maximale begraving en porositeit en tussen porositeit en permeabiliteit. Ondanks dat er geen putten zijn geïnterpreteerd in dit gebied wordt de trend als betrouwbaar gezien voor dit gebied.	Er lijkt een duidelijke trend te bestaan tussen maximale begraving en porositeit en tussen porositeit en permeabiliteit. Wel lijkt de NDW-01 put in dit gebied niet helemaal op te lijnen met de gemaakte modellen. Dit komt waarschijnlijk een additionele begravings-anomalie die niet in de huidige modellen zit.	Er lijkt een duidelijke trend te bestaan tussen maximale begraving en porositeit en tussen porositeit en permeabiliteit. Wel lijkt de VRK-01 put in dit gebied niet helemaal op te lijnen met de gemaakte modellen. Dit waarschijnlijk vanwege een additionele begravingsanomalie die niet in de huidige modellen zit
Uiteindelijke zekerheid	**Relatief zeker**	**Zeker**	**Onzeker**	**Relatief zeker (dieper dan HEE-01), Relatief onzeker (ondieper dan HEE-01)**

Bijlage 10 Nederweert Zandsteen Formatie

In deze bijlage beschrijven we beknopt de belangrijkste stappen, uitgevoerde analyses en interpretaties van de Nederweert Zandsteen Formatie. Ook zijn in deze bijlage relevante resultaten en tussenkaarten te vinden. Deze bijlage kan op zichzelf worden gelezen maar dient hoofdzakelijk als technische ondersteuning van de hoofdrapportage.

10.1 GEOLOGISCHE BESCHRIJVING NEDERWEERT ZANDSTEEN FORMATIE

De hieronder beschreven regionale geologie is overgenomen uit het rapport “Geological study to investigate the geothermal potential from the Nederweert Sandstone in the subsurface near Deurne” uit 2019.

Aan het begin van het Trias trad extensie op, waardoor de NW-ZO georiënteerde Roerdalslenk en het West Nederland Bekken zich openden. Tijdens het Vroeg-Trias werd de Onder-Germaanse Trias Groep afgezet, die in het West Nederland Bekken doorgaans bestaat uit lacustriene, fijnkorrelige zandstenen en kleiige siltstenen. In de Roerdalslenk wijkt de lithologie echter af: hier werd de Nederweert Zandsteen Formatie gevormd, een onderdeel van de Onder-Germaanse Trias Groep met een beperkt afzettingsgebied. Deze formatie bestaat uit fluviatiele zandstenen met een fijne tot middelmatige korrelgrootte en is afgezet tijdens het Vroeg-Trias. In Noord-Brabant varieert de dikte van de Nederweert Zandsteen Formatie van 0 tot circa 300 meter.

Het afzettingsmilieu van de Nederweert Zandsteen Formatie wordt geïnterpreteerd als een laag energetische overstromingsvlakte en natte zandvlakte. De sedimenten, waaronder veel zand, zijn aangevoerd vanuit het noordwesten van Frankrijk en via de Roerdalslenk getransporteerd richting het West-Nederland Bekken. De basis van de formatie bevat meerdere schaliebanken. Richting het noorden ontbreekt de Nederweert Zandsteen Formatie in de sequentie van de Onder-Germaanse Trias Groep, wat wijst op een beperkte aanwezigheid binnen de Roerdalslenk.

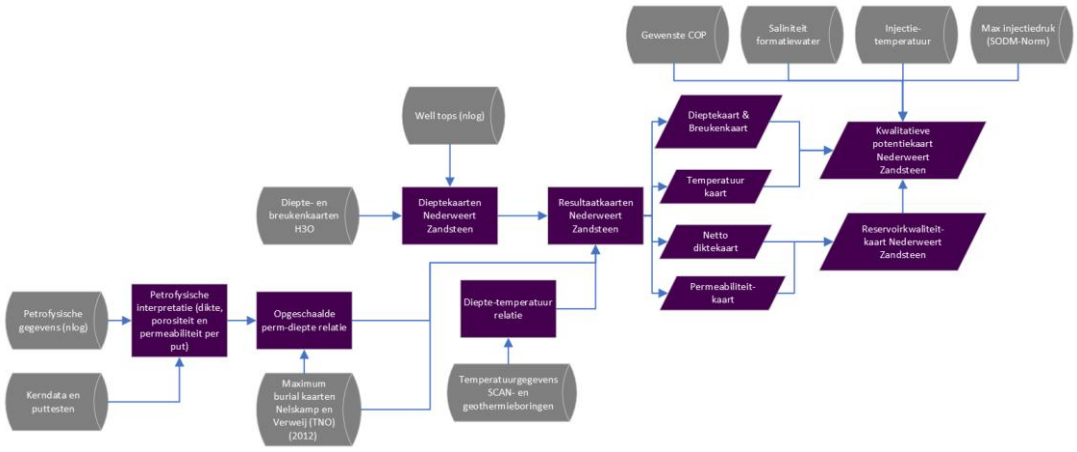
10.2 GEHANTEERDE WERKWIJZE

Voor het maken van de reservoirkwaliteitskaart en kwalitatieve potentiekaart van de Nederweert Zandsteen Formatie zijn de volgende stappen gehanteerd:

1 Inladen dieptekaart van de Onder Trias Groep uit het H3O-diep model en het inladen van de breukenkaart (Basis RB-Groep)
2 Inventarisatie van gegevens voor de petrofysische interpretatie, denk hierbij aan:
   - Kerndata van relevante putten.
   - Petrofysische logdata voor meerdere putten binnen het interpretatiegebied.
   - Temperatuurmetingen van de Trias Groepen uit geothermie- en SCAN-boringen.
3 Petrofysische interpretatie van putten met voldoende logs binnen het interpretatiegebied:
   - STH-01, NVG-01, CAL-GT-01, NDW-01 en HEE-01. Daarnaast zijn er nog een aantal putten uit een studie van EBN gebruikt voor het inschatten van diktes (HEL-07, ARC-01, BUM-01, LIE-22, KWK-01, STW-01).

- Voor het omrekenen van de porositeit naar permeabiliteit is er een relatie op basis van de kerndata gebruikt.

4 Opstellen van een temperatuur-diepte relatie met behulp van temperatuurmetingen:
   - $T\ (℃) = 10\ (℃) + 0{,}033\ (℃/\mathrm{m}) * \text{diepte}\ (\mathrm{m})$
5 Maken van de kwantitatieve resultaatkaarten zoals: diepte mid-reservoir, temperatuur mid-reservoir, bruto dikte, netto/bruto (N/G) verhouding, permeabiliteit en transmissiviteit.
6 Maken van de reservoirkwaliteitskaart op basis van de reservoir transmissiviteit.
7 Maken van de kwalitatieve potentiekaarten op basis van de kwantitatieve kaarten, kwalitatieve reservoirkwaliteitskaart, operationele uitgangspunten en een in-house python model.



Figuur 5.95 | *Gehanteerde werkwijze voor de Nederweert Zandsteen Formatie.*

10.3 INPUT GEGEVENS

H3O-kaarten

Om de Nederweert Zandsteen Formatie voor de gehele provincie Noord-Brabant in kaart te brengen zijn de interpretaties van de Onder Trias Groepen uit H3O Diep Zuid NL en H3O Peelhorst & Venlo Slenk gebruikt (zie Figuur 5.7). Voor de breukenkaart zijn de geïnterpreteerde breuken aan de basis van de RB-Groep gebruikt.

Petrofysische gegevens

Om de reservoireigenschappen van de Nederweert Zandsteen Formatie in kaart de brengen zijn er een aantal regionale putten met voldoende data geïnterpreteerd. De gebruikte putten en gehanteerde methodes staan uiteengezet in de onderstaande tabel. Ook zijn er interpretaties van een eerdere SCAN-studie van EBN gebruikt voor inschattingen van de bruto dikte en netto/bruto verhouding.

Tabel 5.30 | Petrofysische gegevens gebruikt voor de interpretatie van de Nederweert Zandsteen Formatie.

Putnaam	Opmerking	Methode Porosity	Methode Vclay	Compaction factor	Clay porosity	Methode Perm
HEE-01	RHOB matrix van 2.7 gebruikt	RHOB	GR	-	0.06	poro perm

NDW-01	-	DT	GR	-	0.1	poro perm
CAL-GT-01	NMR total porosity gebruikt	NMR-PHIT	GR	-	0.15 (NMR PHIT in klei)	poro perm
STH-01	Hoofd Kleisteen en Rogenstein geïnterpreteerd als uitlopers van de Nederweert Zandsteen	RHOB	GR	-	0.08	poro perm
HEL-07	Interpretatie EBN gebruikt voor N/G en Bruto dikte	-	-	-	-	-
ARC-01	Interpretatie EBN gebruikt voor N/G en Bruto dikte	-	-	-	-	-
BUM-01	Interpretatie EBN gebruikt voor N/G en Bruto dikte	-	-	-	-	-
LIE-22	Interpretatie EBN gebruikt voor N/G en Bruto dikte	-	-	-	-	-
KWK-01	Interpretatie EBN gebruikt voor N/G en Bruto dikte	-	-	-	-	-
STW-01	Interpretatie EBN gebruikt voor N/G en Bruto dikte	-	-	-	-	-

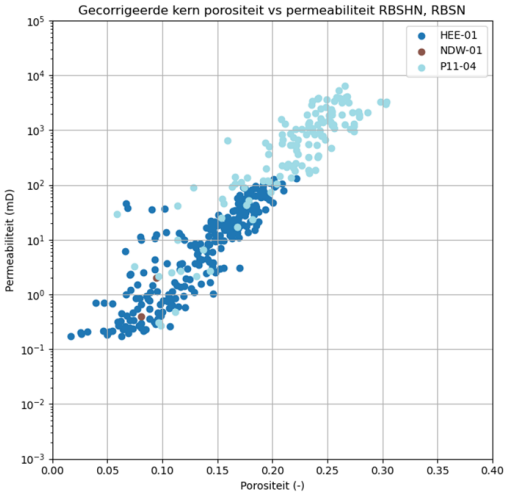
Kerndata

Voor verschillende boringen in de provincies Noord-Brabant, Limburg en in het P11 blok offshore is er kerndata beschikbaar voor de Nederweert Zand Formatie. Deze data is gebruikt voor het opstellen van een porositeit-permeabiliteit relaties en gebruikt voor de validatie van de geïnterpreteerde resultaten. Voorafgaand aan het opstellen van relatie en de validatie is de kerndata gecorrigeerd naar een brine permeabiliteit met behulp van de Juhasz correctie[20] (Juhasz, 1986).

Temperatuurmetingen

In de SCAN-boringen HEE-01 en BLT-01 en de geothermieputten BRI-GT en TNT-GT zijn temperatuurmetingen voor de zanden binnen het Trias uitgevoerd. Deze metingen zijn gebruikt voor het opstellen van een regionale temperatuur-diepte relatie voor de zanden binnen de Nederweert Zandsteen Formatie.

[20] Juhasz, I., 1986. Conversion of routine air-permeability data into stress brine-permeability data. *Society of Professional Well Log Analysts, Aberdeen Chapter, 10th European Formation Evaluation Symposium Transactions, paper Y*, 1-15.



Figuur 5.96 | Gecorrigeerde kerndata van de Nederweert Zandsteen Formatie voor putten in Noord-Brabant, Limburg en het P11 blok offshore.

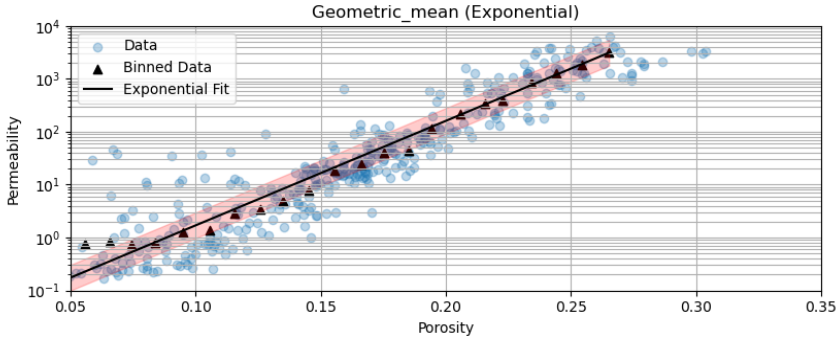
10.4 PETROFYSISCHE INTERPRETATIE

Porositeits-permeabiliteit relatie
Op basis van de brine permeabiliteit kerndata is er een best fit exponentiele relatie opgesteld:

$$k_h = 0.018e^{45.483 \cdot \varphi}$$

Hierbij is:

- k_h de brine permeabiliteit in mD,
- en φ de brine porositeit (-)

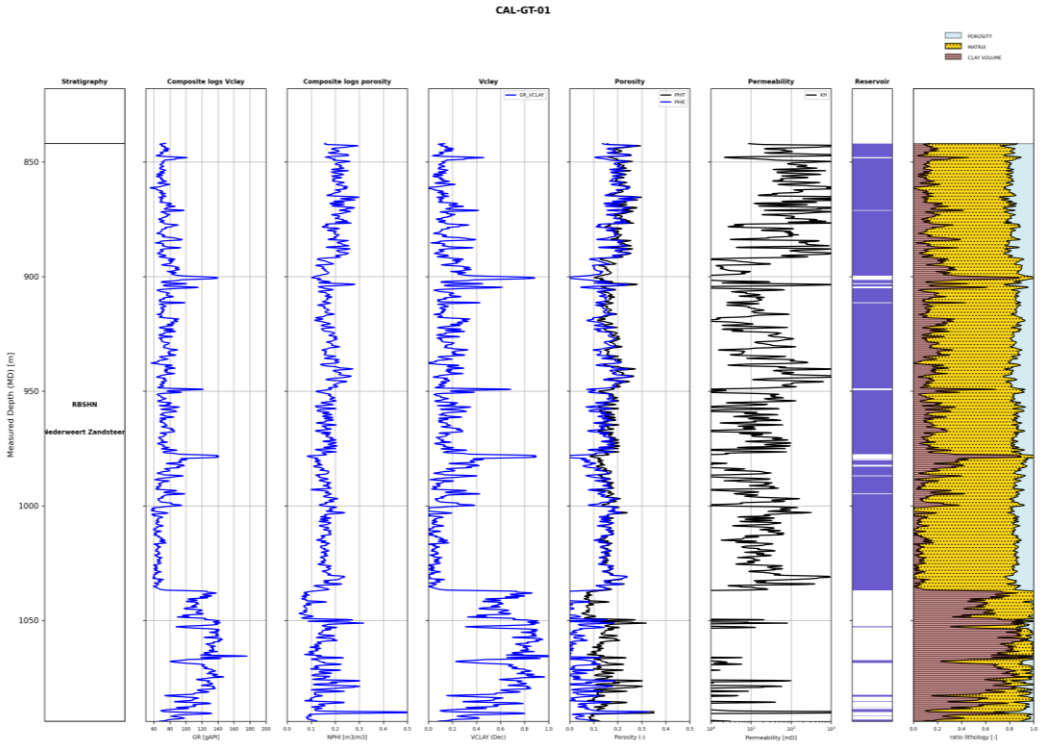


Figuur 5.97 | Exponentiele porositeit-permeabiliteit relatie opgesteld op basis van het geometrisch gemiddelde van de brine porositeit en permeabiliteit kerndata.

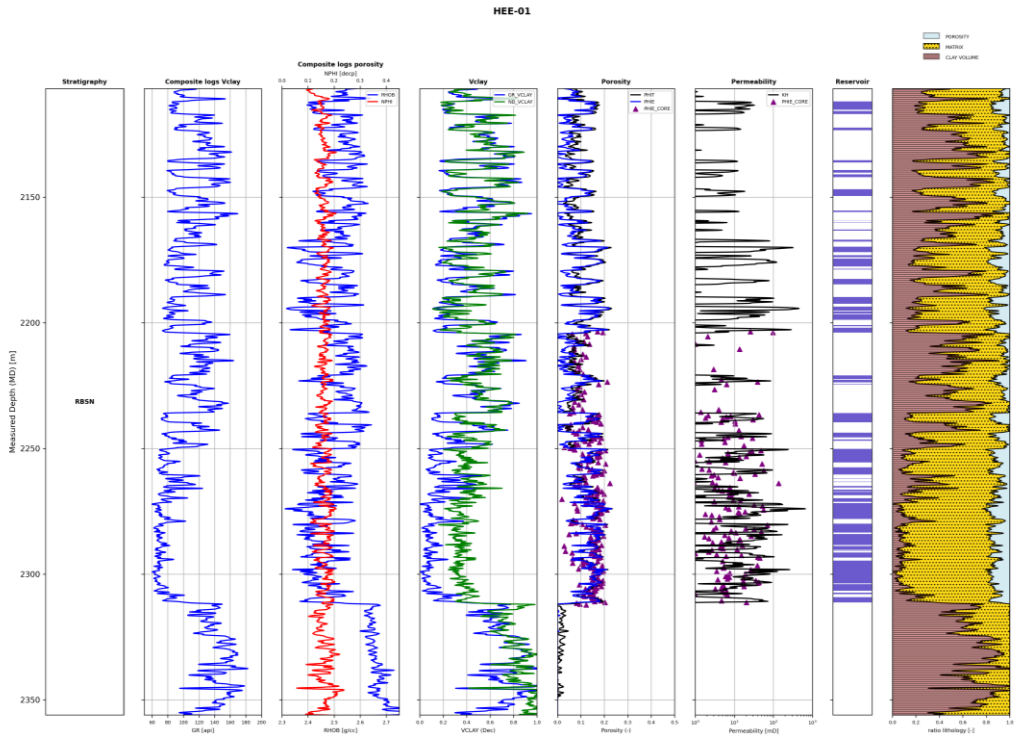
Deze relatie is gebruikt om voor alle putten de porositeit om te rekenen naar een permeabiliteit.

Resultaten
De resultaten van de petrofysische interpretatie staan samengevat in Tabel 5.31. Allereerst laten de putten CAL-GT-01 en HEE-01 duidelijk de opbouw van de Nederweert Zandsteen Formatie zien (Figuur 5.98 en Figuur 5.99), welke bestaat uit een relatief dik zandpakket met dunne kleilagen.

Onderin de Nederweert Zandsteen Formatie is een dikker kleipakket aanwezig. Hoewel er veel zand aanwezig is blijft de permeabiliteit achter. In CAL-GT-01 is de berekende permeabiliteit bijvoorbeeld maar tussen de 46 en 275 mD (afhankelijk van de gehanteerde middelingsmethode), terwijl de Nederweert Zandsteen Formatie in deze put erg ondiep licht (900 m). Ook in de andere geanalyseerde putten is de berekende permeabiliteit relatief laag. Deze relatief lage permeabilieiten komen waarschijnlijk door het feit dat de Nederweert Zandsteen Formatie bestaat uit relatief fijnkorrelig zand. Tot slot lijkt er ook een trend aanwezig tussen de permeabiliteit en de begravingsdiepte. Deze trend wordt in het volgende hoofdstuk verder beschreven.



Figuur 5.98 | Resultaten van de petrofysische interpretatie van de Nederweert Zandsteen Formatie in CAL-GT-01.



Figuur 5.99 | *Resultaten van de petrofysische interpretatie van de Nederweert Zandsteen Formatie in HEE-01.*

Tabel 5.31 | *Opgeschaalde resultaten van de petrofysische interpretatie van de Nederweert Zandsteen Formatie.*

Put	Top (TVD)	Basis (TVD)	Bruto dikte (m)	Netto dikte (m)	N/G	Effectieve porositeit (-) Net reservoir	Perm (mD) (GM-mean-AM) Net reservoir	X RD	Y RD
STH-01	1837	2050	213	111.2	0.52	0.13	9 - 56 - 102	115960	410350
CAL-GT-01	831	1044	213.1	163.4	0.77	0.15	42 - 159 - 275	203857	381540
NDW-01	2280	2572	292	90.1	0.31	0.09	1 - 1.5 - 2	181656	369130
HEE-01**	2106	2355	248.9	85.6	0.34	0.15	16 - 26 - 36	166637	416074
HEL-07*	-		283	-	-	-	-	190350	383940
ARC-01*	-		147	-	0.6	-	-	210305	390015
BUM-01*	-		368	-	0.15	-	-	149929	435133
LIE-22*	-		325	-	-	-	-	188070	381690
KWK-01*	-		228	-	0.3	-	-	140739	418420
STW-01*	-		98	-	0.1	-	-	95969	418649

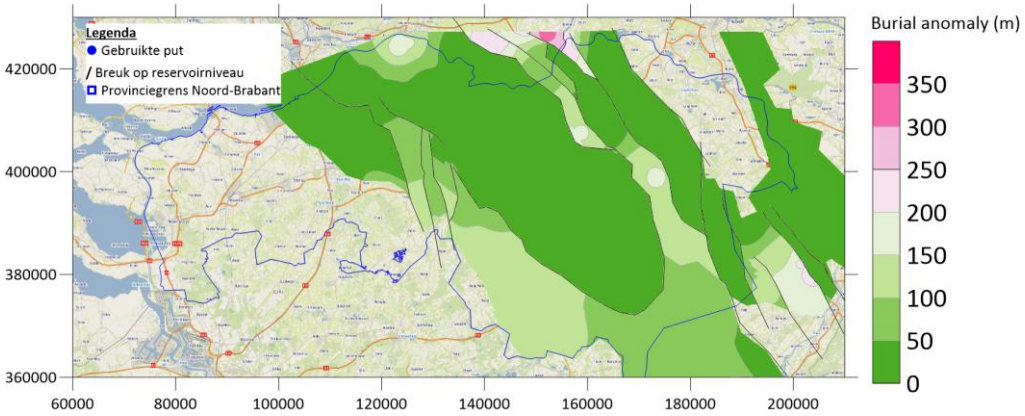
* Interpretatie EBN gebruikt voor het inschatten van de bruto dikte en/of N/G
** Puttest interpretatie EBN HEE-01: 1.0-1.5 Dm --> Perm = ± 15 mD

10.5 OPSCHALING PETROFYSISCHE EIGENSCHAPPEN

Zoals bij de petrofysische interpretatie is geconstateerd, lijkt er een duidelijke trend te zijn tussen de begraving van het reservoir en de uiteindelijke permeabiliteit. In dit hoofdstuk onderbouwen we deze relatie tussen de diepte en permeabiliteit in meer detail.

Begravingsanomalie

Om een goede permeabiliteit vs. diepte relatie op te stellen moet er ook worden gekeken naar de zogeheten begravingsanomalie. Deze anomalie laat zien waar er additionele begraving moet zijn geweest ten opzichte van de huidige begraving aan de hand tektonische gebeurtenissen. In het onderstaande figuur laten we de gebruikte begravingsanomalie kaart zien. Deze kaart is gebaseerd op de kaarten van Nelskamp en Verweij[21]en de belangrijkste breuken (RB-niveau) uit het H3O programma. Met behulp van deze kaart kunnen we de maximale begravingsdiepte (huidige diepte + begravingsanomalie) in kaart brengen en voor de geïnterpreteerde putten bepalen.



Figuur 5.100 | Aangepaste begravingsanomaliekaart gebruikt om de maximale begravingsdiepte voor de Trias reservoirs te bepalen (huidige diepte (mid reservoir) + begravingsanomalie).

Permeabiliteit-diepte relatie

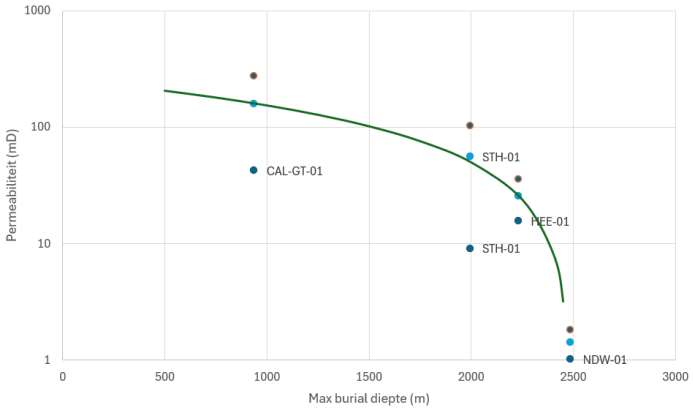
Op basis van de gemiddelde permeabiliteit (geometrisch - mean - arithmetisch) en de maximale begravingsdiepte per put kan er een regionaal permeabiliteit-diepte model worden opgesteld (zie onderstaand figuur). Deze relatie is als volgt:

$$k_h = -0.104 \cdot z_{\max} + 258$$

Hierbij is:

- k_h de opgeschaalde gemiddelde permeabiliteit (mean) van het reservoir (mD)
- en $z_{\max}$ de maximale begravingsdiepte (m)

[21] Nelskamp, S., Verweij, J.M., 2012. Using basin modeling for geothermal energy exploration in the Netherlands - an example from the West Netherlands Basin and Roer Valley Graben. TNO-060-UT-2012-00245.



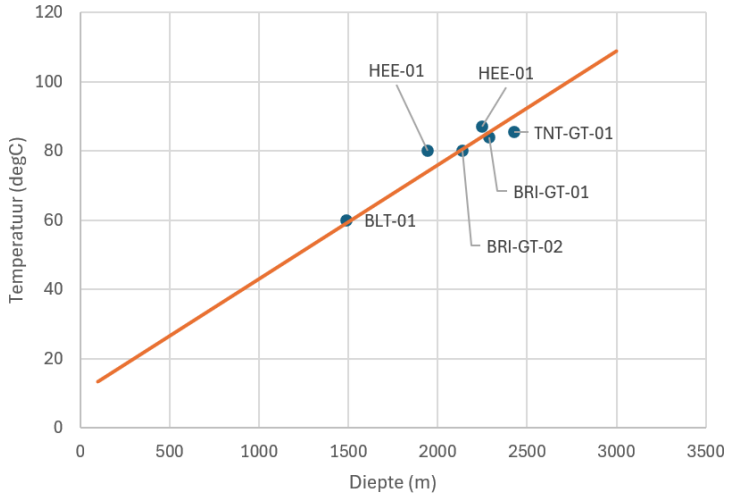
Figuur 5.101 | Permeabiliteit (mean) vs. maximale begravingsdiepte relatie voor de Nederweert Zandsteen Formatie.

10.6 TEMPERATUUR VS. DIEPTE

Op basis van de temperatuurmetingen in HEE-01, BLT-01, TNT-GT-01, BRI-GT-01 en BRI-GT-02 is de volgende regionale temperatuur-diepte relatie opgesteld:

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

Deze relatie is gebruikt voor het omrekenen van de mid-reservoir dieptekaart naar een gemiddelde reservoir temperatuurkaart.



Figuur 5.102 | Temperatuur-diepte relatie opgesteld op basis van temperatuurmetingen in de Trias zanden.

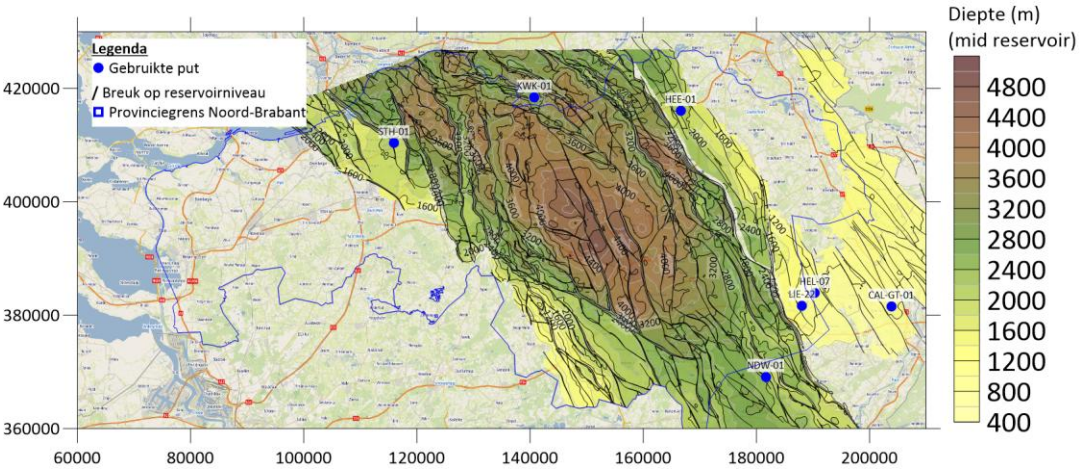
10.7 RESULTAATKAARTEN

Op basis van de inputdata en interpretaties zijn de volgende kwantitatieve resultaatkaarten gemaakt:

- **Diepte (mid-reservoir)**: Dit is de geschatte diepte van het midden van de Nederweert Zandsteen Formatie. Om deze kaart te maken is de Basis-RB H3O kaart gecombineerd met dieptemetingen uit putten.
- **Bruto dikte**: Dit is de geschatte dikte van de Nederweert Zandsteen Formatie. Om deze kaart te maken zijn de bruto diktes uit putten geïnterpoleerd (kriging in Surfer).
- **Temperatuur (mid-reservoir)**: Dit is de geschatte gemiddelde temperatuur van de Nederweert Zandsteen Formatie. Voor deze kaart zijn de mid-reservoir dieptekaart en de temperatuur vs. diepte relatie gebruikt.
- **Reservoireigenschappen**: Voor de Nederweert Zandsteen Formatie zijn er ook kaarten gemaakt van de netto/bruto verhouding (N/G), de permeabiliteit en de transmissiviteit. De N/G-kaart is gemaakt door de resultaten van de petrofysische interpretatie te interpoleren (m.b.v. kriging in Surfer). De permeabiliteitskaart is gemaakt door middel van de relatie tussen de permeabiliteit en de maximale begravingsdiepte (diepte mid-reservoir + begravingsanomalie). De transmissviteit is het product van de N/G-kaart, permeabiliteitskaart en bruto diktekaart.

Diepte (mid-reservoir)

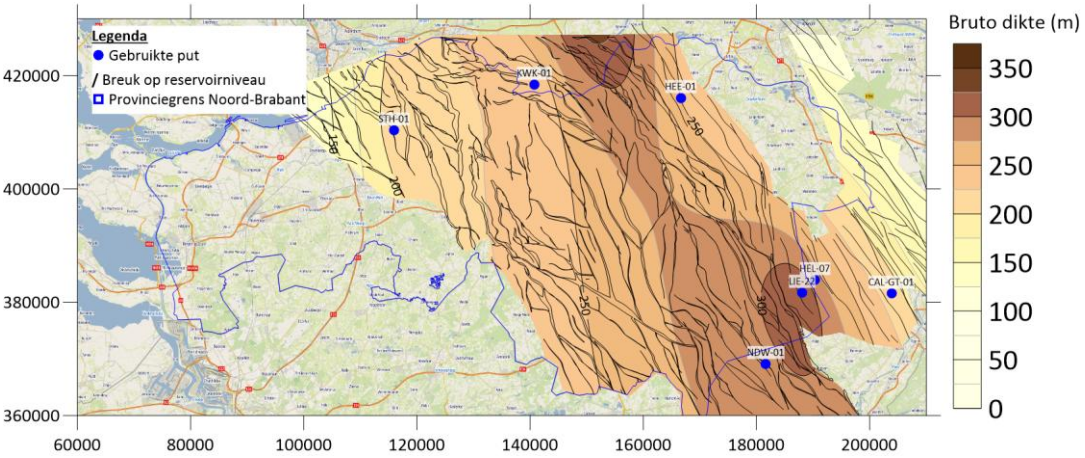
De diepte van de Nederweert Zandsteen Formatie is erg afhankelijk van de locatie. In het midden van de Roerdalslenk ligt dit reservoir dieper dan 4000 meter, terwijl deze aan de randen van het bekken (e.g. bij STH-01) op minder dan 2000 meter ligt. In oost Brabant en Limburg ligt de Nederweert Zandsteen Formatie veelal op minder dan 1000 meter.



Figuur 5.103 | Mid-reservoir diepte van de Nederweert Zandsteen Formatie.

Bruto dikte

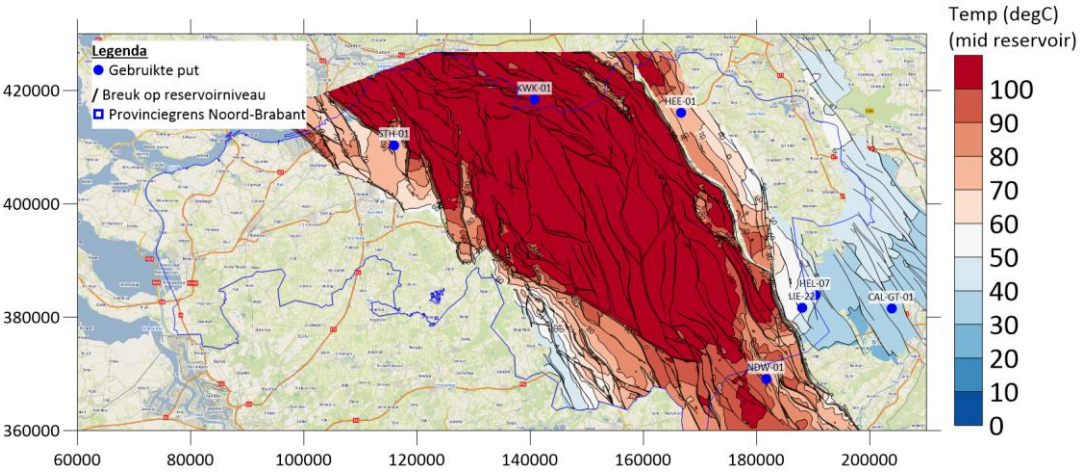
De Nederweert Zandsteen Formatie is relatief dik. De bruto dikte van deze formatie varieert van ongeveer 300 m tot ongeveer 150 m. Richting het noorden en noordwesten neemt de hoeveelheid klei sterk toe.



Figuur 5.104 | Bruto dikte van de Nederweert Zandsteen Formatie.

Temperatuur (mid-reservoir)

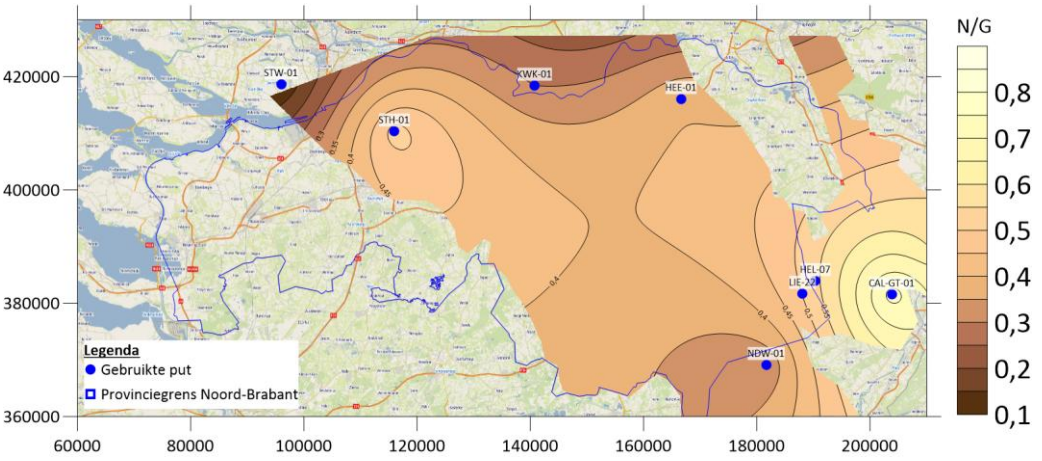
De temperatuur volgt eenzelfde patroon als de diepte en neemt toe naar de gebieden waar de Nederweert Zandsteen Formatie dieper ligt. Voor het centrale deel van de Roerdalslenk ligt de temperatuur dan ook veelal boven de 100 °C. Aan de randen liggen te temperaturen veelal tussen 90 en 30 °C. Op het Peel-Maasbommel Complex varieert de temperatuur tussen de 20 en 40 °C.



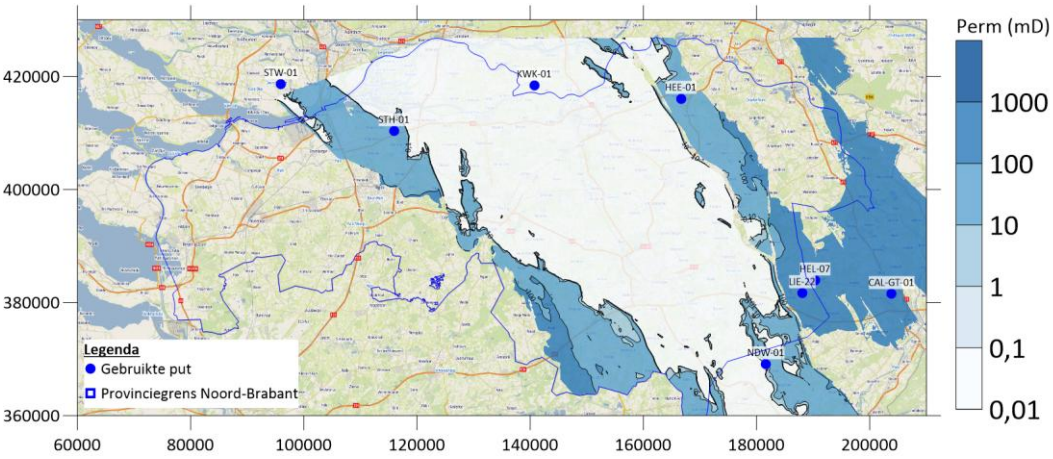
Figuur 5.105 | Mid-reservoir temperatuur van de Nederweert Zandsteen Formatie.

Reservoir eigenschappen

De netto/bruto verhouding varieert tussen de 0.15 en 0.75, waarbij de hoeveelheid netto zand in noordwestelijke richting afneemt. De doorlatendheid is zoals eerder beschreven afhankelijk van de maximale begravingsdiepte. In de dieper begraven delen is permeabiliteit dan ook erg laag (permeabiliteit = 0.01 – 1 mD). Daarmee is het reservoir in deze gebieden ondoorlatend en ongeschikt. Aan de zuidwestelijke en noordwestelijke randen neemt de permeabiliteit iets toe. Maar dit is nog steeds niet voldoende voor de toepassing van geothermie. Op de ondiep gelegen breukblokken ten oosten van de Roerdalslenk en het Peel-Maasbommel Complex kan de permeabiliteit oplopen tot meer dan 100 mD. Vanwege de grote dikte lijkt het reservoir in dit gebied mogelijk geschikt voor de toepassing van (ondiepe) geothermie.

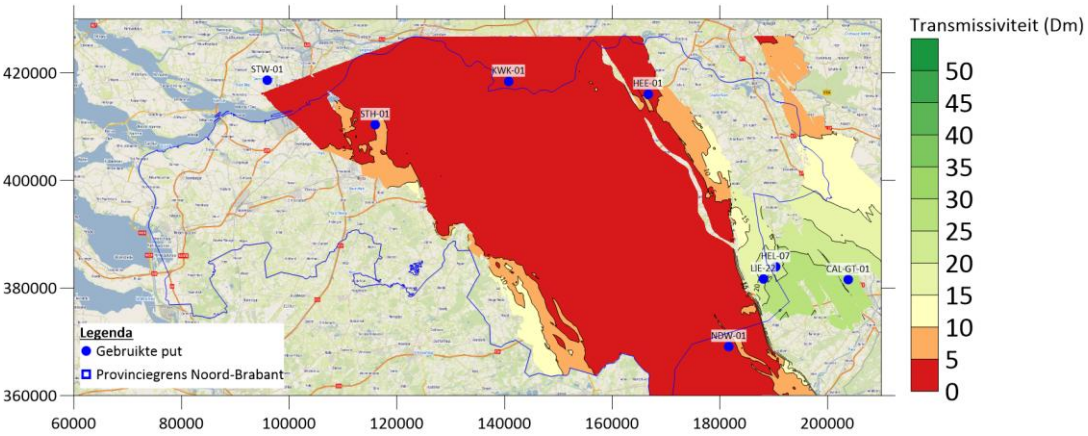


Figuur 5.106 | Netto/Bruto verhouding van de Nederweert Zandsteen Formatie.



Figuur 5.107 | Permeabiliteit van de Nederweert Zandsteen Formatie.

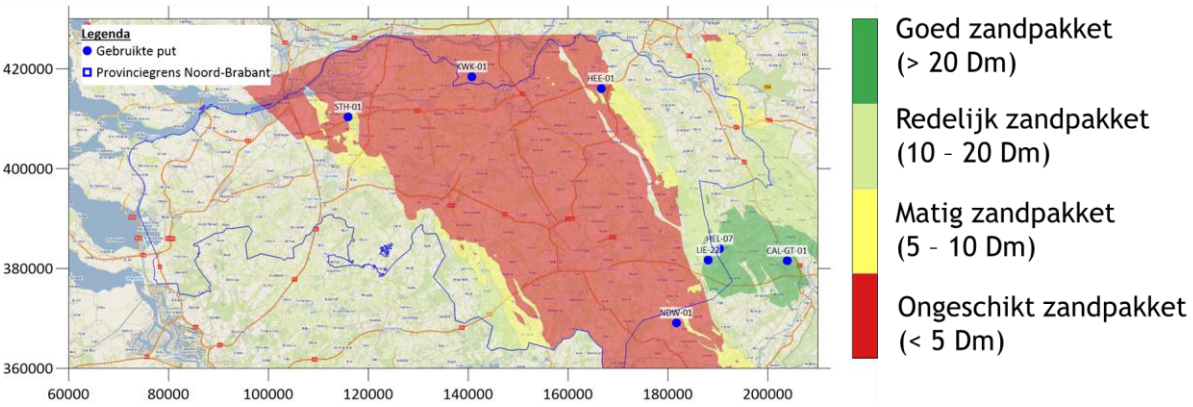
De transmissviteit van de Nederweert Zandsteen Formatie varieert tussen de 0 Dm in het dieper gelegen Roerdalslenk tot ongeveer 20 Dm op de meest ondiepe delen van het Peel-Maasbommel Complex. Deze grote verschillen worden met name veroorzaakt door de grote verschillen in de maximale begravingsdiepte. Op basis van deze kaart lijkt de Nederweert Zandsteen Formatie enkel op de ondiep gelegen breukblokken ten zuidwesten en oosten van het Roerdalslenk en op het Peel-Maasbommel Complex geschikt.



Figuur 5.108 | Berekende transmissiviteit van de Nederweert Zandsteen Formatie.

10.8 RESERVOIRKWALITEIT

De reservoirkwaliteitskaart is afgeleid van de transmissiteitskaart. Deze kaart laat zien dat de Nederweert Zandsteen Formatie vanwege de grote begravingsdiepte in grote delen van Noord-Brabant ongeschikt is. Aan de zuidwest- en oostrand daarentegen ligt het reservoir relatief ondiep waardoor deze mogelijk geschikt is. Ook op het Peel-Maasbommel Complex lijkt de kwaliteit van het zand redelijk tot goed.



Figuur 5.109 | Kwalitatieve reservoirkwaliteit van de Nederweert Zandsteen Formatie. Voor deze kaart is de transmissiviteitskaart gebruikt.

10.9 UITGANGSPUNTEN POTENTIE BEREKENINGEN

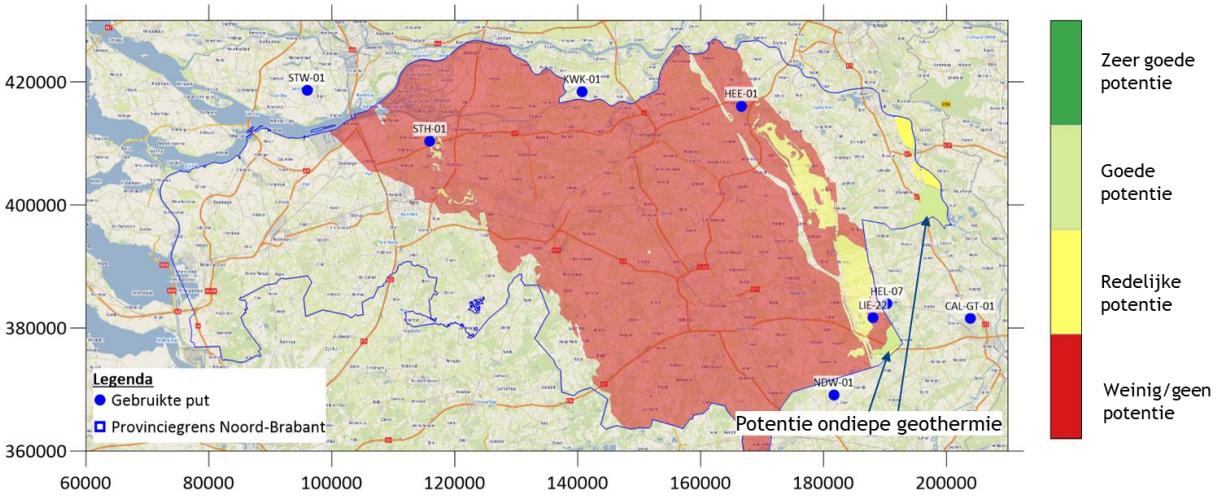
Voor de potentieberekeningen zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd. Deze uitgangspunten komen uit data, zijn standaard voor inschattingen in deze fase van een haalbaarheidsstudie of komen voort uit technische expertise. Deze uitgangspunten kunnen nog verder worden geoptimaliseerd voor specifieke casussen en verdiepende studies.

Parameter	Eenheid	Grid/waarde	Bron
Diepte	[m]	Grid	Mid-reservoir dieptekaart
Dikte	[m]	Grid	Netto zanddikte. Combinatie van N/G-kaart met bruto diktekaart
Temperatuur	[°C]	Grid	O.b.v. dieptekaart en een regionale temperatuurgradiënt
Doorlatendheid	[mD]	Grid	Op basis van dieptekaart + begravingsanomalie en de permeabiliteit-diepte relatie
Saliniteit	[g/l]	100	o.b.v. HEE-01
Putafstand	[m]	1100	Standaard afstand
COP	[-]	15	COP = Coëfficiënt of Performance, 15 is een standaardwaarde voor een geothermiesysteem
Injectietemperatuur	[°C]	20, 15	Standaard voor geothermiesystemen. Injectietemperatuur is voor de dieper delen ook constant gehouden. Voor de delen waar het reservoir ondieper dan 1000 m ligt is het model ook gedraaid met injectie temperatuur van 15 °C.
Pomprendement	[-]	0,7	Standaard waarde
Skin	[-]	0	Er wordt geen skin aangenomen
Maximale injectiedruk	[bar/m]	0,135	SODM-norm. Deze norm is het eerste uitgangspunt. Hier kan van worden afgeweken mits je kan aantonen dat dit veilig kan.

10.10 POTENTIEKAARTEN

De Nederweert Zandsteen Formatie heeft overwegend ‘weinig tot geen’ potentie. Langs de oostelijke rand van de Roerdalslenk is een gebied waar de geothermische potentie ‘redelijk’ is. In dit gebied is relatief veel zand aanwezig ten opzichte van de rest van de Roerdalslenk. Meerdere putten (HEE-01, CAL-GT-01, NDW-01) laten echter zien dat dit zand veelal fijnkorrelig is, waardoor de doorlatendheden waarschijnlijk relatief laag zijn.

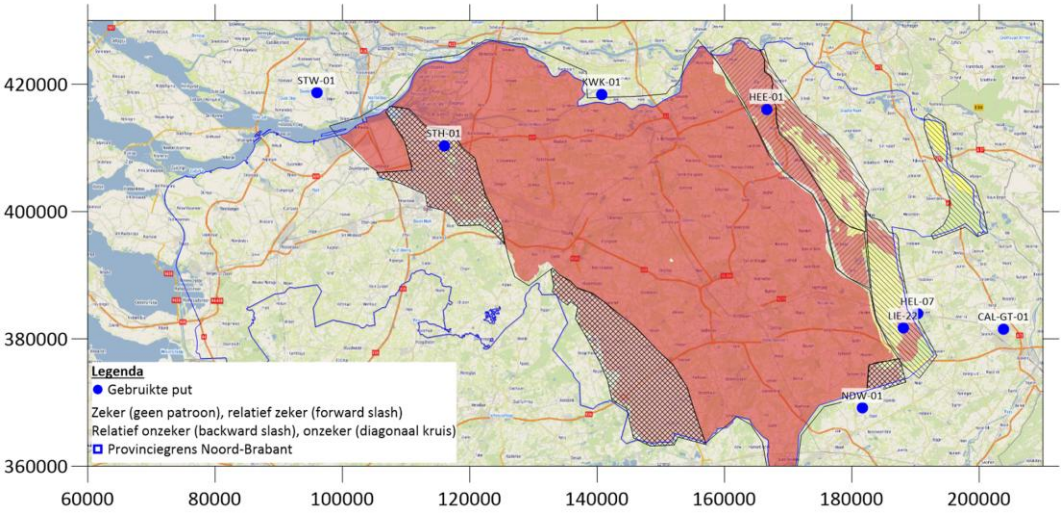
Ten oosten van de Roerdalslenk ligt het Peel-Maasbommel Complex, waar de Nederweert Zandsteen Formatie meestal op minder dan 1000 m diepte voorkomt. Er liggen daar kansen voor ondiepe geothermie omdat de potentie wordt ingeschat op redelijke tot goed.



Figuur 5.110 | *Kwalitatieve potentiekaart van de Nederweert Zandsteen Formatie.*

10.11 ONZEKERHEDEN

Voor de Nederweert Zandsteen Formatie bestaan er aanzienlijke onzekerheden. Deze variëren van gebied tot gebied en staan in het onderstaande figuur en in de onderstaande tabel uiteengezet.



Figuur 5.111 | *Onzekerheidskaart van de Nederweert Zandsteen Formatie als overlay op de geothermische potentiekaart.*

Tabel 5.32 | Inschatting en onderbouwing van de onzekerheid voor de Nederweert Zandsteen Formatie in de verschillende gebieden. Zie hoofdstuk 4.6 voor meer informatie over het inschatten van de onzekerheid.

	Gebied 1	Gebied 2	Gebied 3	Gebied 4
Gebiedsbeschrijving	Ondiepe breukblokken aan de ZW zijde van het RVG	Dieper gelegen delen van het RVG	Ondiep gelegen deel ten oosten van de RVG. Inclusief het breukblok bij Milheeze. Dit deel bevind zich grotendeels op de PMC.	Ondiep gelegen breukblokken aan de NO zijde van het RVG
1) Gebruikte data	Er is een enkel put STH-01 geïnterpreteerd in dit gebied. Deze put bevatte goede data en geeft een redelijk beeld. Het is echter onduidelijk in welke mate deze put representatief is voor het gebied.	Er is één put geïnterpreteerd in dit gebied (NDW-01). Deze put en de gehanteerde modellen geven een duidelijk beeld voor dit gebied.	Er zijn meerdere putten in dit gebied aanwezig en geïnterpreteerd (CAL-GT-01, NVG-01). Deze putten bevatten redelijke data. Ze geven echter ook een wisselend beeld waardoor er onzekerheid in de interpretatie zit.	Er is een enkel put HEE-01 geïnterpreteerd in dit gebied. Deze put bevat uitstekende data en geeft een duidelijk beeld. Het is echter onduidelijk in welke mate deze put representatief is voor de meer ondiep gelegen blokken.
2) Geologische complexiteit	Dit gebied is redelijk verbreukt en bevindt zich aan de rand van de erosielijn van de Onder Trias Groep. Ook is het onduidelijk in welke mate de Nederweert Zandsteen Formatie doorloopt in dit gebied. Hier zijn alleen indicaties voor. Dit maakt het gebied geologisch complex en inschattingen zeer onzeker.	De maximale begravingsdiepte is één van de belangrijkste criteria en wordt voor dit gebied goed begrepen.	In het gehele gebied ligt de Nederweert Zandsteen Formatie ondiep en is die relatief dik. Wel geven putten een wisselend beeld over de reservoireigenschappen, wat de onzekerheid vergroot.	Dit gebied is verbreukt en kent grote diepte verschillen. Het is daarmee relatief complex en onzeker, zeker op afstand van de geïnterpreteerde putten.
3) Correlaties en modellen	Er lijkt een duidelijke trend te bestaan tussen maximale begraving en permeabiliteit. Wel laten de putten een wisselend beeld zien en zit er daardoor onzekerheid op het gebruikte perm-diepte model. Zeker voor delen waar de Nederweert Zandsteen formatie ondiep ligt.	De maximale begravingsdiepte is één van de belangrijkste criteria en er lijkt een duidelijke trend te bestaan tussen maximale begraving en permeabiliteit.	Er lijkt een duidelijke trend te bestaan tussen maximale begraving en permeabiliteit. Wel laten de putten een wisselend beeld zien en zit er daardoor onzekerheid op het gebruikte perm-diepte model. Zeker voor delen waar de Nederweert Zandsteen formatie ondiep ligt.	Er lijkt een duidelijke trend te bestaan tussen maximale begraving en permeabiliteit. Wel laten de putten een wisselend beeld zien en zit er daardoor onzekerheid op het gebruikte perm-diepte model. Zeker voor delen waar de Nederweert Zandsteen formatie ondiep ligt.
Uiteindelijke zekerheid	**Onzeker**	**Zeker**	**Relatief onzeker**	**Relatief zeker (dieper dan HEE-01), Onzeker (ondieper dan HEE-01)**

6 Referenties

Cecchetti, E. (2025). An integrated geological characterisation of the Lower Triassic Main Buntsandstein Subgroup for geothermal applications in the southern Netherlands. TU Delft.

de Haan, H., Ten Veen, J. H., Houben, S., & Kruisselbrink, A. (2020). Mapping of the Brussels Sand Member in the Netherlands. 61.

Geel, K., & Foeken, J. (2021). Formation Evaluation of the Brussels Sand Member in the Netherlands. 47.

J.G. Veldkamp, C.R. Geel, & E. Peters. (2022). Characterization of aquifer properties of the Brussels Sand Member from cuttings. TNO.

Juhasz, I. (1986). Conversion of routine air-permeability data into stress brine-permeability data. Society of Professional Well Log Analysts, Aberdeen Chapter, 10th European Formation Evaluation Symposium Transactions, (paper Y), 1-15.

M. C. Geluk. (2005). Stratigraphy and tectonics of Permo-Triassic basins in the Netherlands and surrounding areas (Faculty of Geosciences, p. 171). University of Utrecht.

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

Peters, E., Foeken, J. P. T., Geel, C. R., & Veldkamp, J. G. (2022, december 22). Characterization of and production from the Breda Formation in the Roer Valley Graben. TNO.

Schumacher, S., & Moeck, I. (2020). A new method for correcting temperature log profiles in low-enthalpy plays. Geothermal Energy, 8(1), 27. https://doi.org/10.1186/s40517-020-00181-w

Smit, F. (2022). An overlooked aquifer in the Netherlands: Geothermal potential of the Breda Formation in the Zuiderzee Low [Msc thesis].

Willems, C. (2017). Doublet deployment strategies for geothermal Hot Sedimentary Aquifer exploitation. TU Delft. https://doi.org/10.4233/uuid:2149da75-ca29-4804-8672-549efb004048 ISBN

Willems, C. J. L., Vondrak, A., Mijnlieff, H. F., Donselaar, M. E., & van Kempen, B. M. M. (2020). Geology of the Upper Jurassic to Lower Cretaceous geothermal aquifers in the West Netherlands Basin – an overview. Netherlands Journal of Geosciences, 99, e1. https://doi.org/10.1017/njg.2020.1

IF Technology **Creating energy**

Velperweg 35
6824 BE Arnhem
Postbus 605
6800 AP Arnhem

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

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

IF Technology **Creating energy**