



WARM

De mogelijkheden en potentie om aardwarmte op te schalen vanuit een ondergrond perspectief



Auteurs: Han van Gils, Jan de Jager en Francesco Vinci
Gecontroleerd door: Coen Leo en Jan Willem Pronk
Deze studie is uitgevoerd door Panterra, in opdracht van EBN

September 2020

Berenschot



Inhoudsopgave

1. Introductie	6
1.1 Aanleiding	6
1.2 Onze opdracht	6
1.3 Leeswijzer	7
2. Bepalen van het geothermisch potentieel	10
2.1 De “Common Risk Segment” Kaarten	10
2.2 De “Combined CRS-Kaart” (CCRS)	12
2.3 Data aanwezigheid op de CCRS-kaart	13
2.4 Combineren van de CCRS-kaarten tot de Super CCRS-kaart	13
3. De Dinantien Play	15
3.1 Permeabiliteit en Afzettingsmilieu	16
3.2 Diepte en dikte van het Dinantien	18
3.3 Temperatuur	18
3.4 De Dinantien Kanskaart	19
4. De Rotliegend Play	20
4.1 Permeabiliteit en Afzettingsmilieu	20
4.2 Dikte van het Rotliegend	21
4.3 Temperatuur	22
4.4 De Common Risk Segment (CRS) kaarten	22
4.5 Rotliegend Combined Common Risk Segment CCRS-Kaart	25
4.6 De Rotliegend Sub-plays onderverdeling	26
4.7 Effect van gegevensdichtheid/kwaliteit op het gebruikte CRS- en CCRS-model	28
5. De Trias Play	30
5.1 Permeabiliteit en Afzettingsmilieu	30
5.2 Dikte van het Trias	32
5.3 Trias Temperatuur	33
5.4 De Common Risk Segment Kaarten	34
5.5 Trias Combined Common Risk Segment CCRS-kaart	36
5.6 De Trias Sub-plays onderverdeling	37
5.7 Effect van gegevensdichtheid/kwaliteit op het gebruikte CRS- en CCRS-model	39
6. De Jura Play	40
6.1 Permeabiliteit en Afzettingsmilieu	40
6.2 Dikte van de Jura	41
6.3 Jura Temperatuur	42
6.4 De Common Risk Segment Kaarten	43
6.5 Jura Combined Common Risk Segment CCRS-kaart	45
6.6 De Jura Sub-plays onderverdeling	45
6.7 Effect van gegevensdichtheid/kwaliteit op het gebruikte CRS- en CCRS-model	46

7.	De Onder-Krijt Play	47
7.1	Permeabiliteit en afzettingsmilieu	47
7.2	Dikte van de Onder Krijt	49
7.3	Onder Krijt temperatuur	50
7.4	De Common Risk Segment kaarten	50
7.5	Onder-Krijt Combined Common Risk Segment CCRS-Kaart	52
7.6	Onder-Krijt Sub-Play onderverdeling	52
7.7	Effect van gegevensdichtheid/kwaliteit op het gebruikte CRS- en CCRS-model	53
7.8	Het West-Nederlandbekken en de Rijnland zandsteen Members	54
8.	De Paleogeen Play	58
8.1	De Permeabiliteitskaart	59
8.2	De Diktekaart	60
8.3	De Temperatuurkaart	61
8.4	De CCRS-Kaart	62
9.	Samengestelde CCRS-kaart	64
10.	Additionele ondergrondgegevens	65
10.1	De Basisgegevens	65
10.2	Seismische interpretatie en gegevens correlatie	67
10.3	SCAN	68
11.	Referenties	70

Figuren

Figuur 1-1: Versimpelde geologische tijdskolom	9
Figuur 3-1: Dieptekaart van de Dinantien Kalksteen met de boringen die het Dinantien bereikt hebben	155
Figuur 3-2: Vereenvoudigde kaart van de mogelijke verspreiding van Dinantien kalksteen reservoir	17
Figuur 3-3: Kansenskaart van het Dinantien	19
Figuur 4-1: De Rotliegend faciëskaart	21
Figuur 4-2: De Rotliegend permeabiliteitskaart	21
Figuur 4-3: Rotliegend reservoir diktekaart	22
Figuur 4-4: Rotliegend temperatuurkaart	222
Figuur 4-5: Rotliegend CRS kaart van de permeabiliteit	23
Figuur 4-6: Rotliegend CRS kaart van de dikte	23
Figuur 4-7: Rotliegend CRS kaart van de temperatuur	255
Figuur 4-8: Combined CRS (CCRS) kaart van het Rotliegend	25
Figuur 4-9: Rotliegend Sub-Play gebieden	26
Figuur 4-10: Witte vlekken kaart gepositioneerd op de Rotliegend CCRS kaart	28
Figuur 5-1: Samengestelde Trias reservoir en facies kaart	30
Figuur 5-2: Trias zandontwikkeling van Zuid naar Noord-Nederland	311
Figuur 5-3: Trias permeabiliteitskaart	33
Figuur 5-4: Trias dikte kaart	33
Figuur 5-5: Trias Temperatuurkaart	34
Figuur 5-6: Trias CRS kaart van de Permeabiliteit	355
Figuur 5-7: Trias CRS kaart van de dikte	355
Figuur 5-8: Trias CRS kaart van de Temperatuur	366
Figuur 5-9: Combined CRS (CCRS) kaart van het Trias	37
Figuur 5-10: Trias Sub-plays	37
Figuur 5-11: Witte vlekken kaart gepositioneerd op de Trias CCRS kaart	39
Figuur 6-1: Delft en Alblasserdam (Jura) reservoir en afzettingmilieu	411
Figuur 6-2: Delft en Alblasserdam (Jura) permeabiliteitskaart	41
Figuur 6-3: Delft en Alblasserdam (Jura) dikte kaart	422
Figuur 6-4: Links: Delft en Alblasserdam (Jura) Temperatuurkaart	43
Figuur 6-5: Delft en Alblasserdam (Jura) CRS-Permeabiliteitskaart	444
Figuur 6-6: Delft en Alblasserdam (Jura) CRS kaart van de dikte	444

Figuur 6-7: Delft en Alblasserdam (Jura) CRS kaart van de temperatuur	45
Figuur 6-8: Combined CRS (CCRS) kaart van de Delft en Alblasserdam (Jura)	45
Figuur 6-9: Delft en Alblasserdam (Jura) Sub-play	46
Figuur 6-10: Witte vlekken kaart gepositioneerd op de Delft en Alblasserdam (Jura) CCRS kaart	46
Figuur 7-1: Paleogeografie van het Onder Krijt	48
Figuur 7-2: De individuele zanden van het Onder Krijt	48
Figuur 7-3: Rijnland zanden permeabiliteit kaart	49
Figuur 7-4: Rijnland zanden dikte kaart	49
Figuur 7-5: Rijnland zanden temperatuur kaart	50
Figuur 7-6: Rijnland zanden CRS permeabiliteitkaart	51
Figuur 7-7: Rijnland zanden CRS diktekaart	51
Figuur 7-8: Rijnland zanden CRS temperatuurkaart	52
Figuur 7-9: Combined CRS (CCRS) kaart van de Rijnland zanden	52
Figuur 7-10: Onder Krijt Sub-plays	53
Figuur 7-11: Witte vlekkenkaart gepositioneerd op de Rijnland zanden	53
Figuur 7-12: Rijnland Groep – Rijswijk zandsteen	54
Figuur 7-13: Rijnland Groep – Berkel zandsteen	55
Figuur 7-14: Rijnland Groep – IJsselmonde zandsteen	55
Figuur 7-15: Rijnland Groep – Holland & Spijkenisse zandsteen	56
Figuur 7-16: Rijnland Groep – De Lier zandsteen	57
Figuur 8-1: Paleogeografie van het Paleogeen	58
Figuur 8-2: Midden- & Onder- Noordzee Groep permeabiliteitkaart	600
Figuur 8-3: Midden- & Onder- Noordzee Groep diktekaarten	611
Figuur 8-4: Midden- & Onder- Noordzee Groep temperatuurkaarten	62
Figuur 8-5: Midden- & Onder- Noordzee Groep CCRS-kaarten	63
Figuur 9-1: Samengestelde super-CCRS geothermie kansenkaart	64
Figuur 10-1: Overzicht van de geplande seismische lijnen	69

1. Introductie

1.1 Aanleiding

Nederland staat aan de vooravond van een grote transitie met als doel minder CO₂-uitstoot. Deze transitie heeft, onder andere impact op de manier waarop we de gebouwde omgeving verwarmen. Momenteel is het merendeel van alle 7,8 miljoen woningen in Nederland nog aangesloten op aardgas. Om de klimaatdoelen uit het Reageerakkoord Rutte III te halen moeten ongeveer 1,5 miljoen woningen verduurzaamd worden. Dit resulteert in een reductie van zo'n 3,4 Mton CO₂ per jaar vanaf 2030¹. Naast de gebouwde omgeving dienen ook andere sectoren (bijv. de glastuinbouw en de industrie) hun uitstoot terug te brengen.

Met elkaar is afgesproken dat gemeenten een regierol nemen in deze verduurzaming; de zgn. wijkgerichte aanpak. Hiervoor stellen gemeenten (in samenspraak met lokale partijen, zoals bijv. de glastuinbouw) uiterlijk eind 2021 een Transitievisie Warmte vast². In de Transitievisie Warmte staat het tijdpad voor de (stapsgewijze) aanpak richting aardgasvrij. Ter ondersteuning van dit proces is door het Expertise Centrum Warmte (ECW) en het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) voor elke buurt in Nederland een technisch-economische doorrekening uitgevoerd (de Startanalyse). In de Startanalyse zijn vijf alternatieve energie-infrastructuren (hierna: strategieën³) met elkaar vergeleken. De Startanalyse geeft hiermee een eerste inzicht in de verschillen tussen alternatieven voor aardgas.

Voor twee van de strategieën geldt dat geothermie (hierna: aardwarmte) een potentiële bron is om een midden- tot hoge temperatuurnet, of een lage temperatuurnet mee te voeden (als basislast of geheel met eventueel ophoging van de temperatuur middels een warmtepomp). Recente geologische studies hebben de kennis over de ondergrond verbeterd. Mede door deze nieuwe inzichten neemt de interesse naar aardwarmte als voeding voor warmtenetten (in combinatie met een aanvullende piekbron) toe. Momenteel ontbreekt echter in veel gebieden met een verduurzamingsvraag voldoende up-to-date kennis over de potentie van de ondergrond (per bodemlaag), en over de wijze waarop geothermische exploratie kosteneffectief uitgevoerd dient te worden.

1.2 Onze opdracht

In het rapport "Play-based portfolio benadering, eerste inzicht in zes voordelen voor veilig en verantwoord, kosteneffectief versnellen van geothermie" (EBN, 2018) en het rapport "Opschaling aardwarmte in warmtenetten", (Berenschot, 2018), wordt de play-based portfolio benadering benadrukt om geothermische plays⁴ geclusterd te exploreren. Daarnaast is in het Masterplan Aardwarmte (EBN, 2018) de potentie van aardwarmte als duurzame warmtebron op nationaal niveau geschetst, alsook welke acties nodig zijn om de beoogde opschaling te realiseren.

Deze studies benadrukken onder andere het belang van de play-based portfolio benadering om aardwarmte integraal te exploreren en uit te voeren en een aantal voordelen te behalen⁵. Ze geven aan dat er onder andere nog winst te behalen valt op gebied van geologische risicoreductie door optimale play (sub-play) ontwikkeling (punt 1 van de geïdentificeerde te behalen voordelen).

¹ Ecorys, 2019. De financiële gevolgen van de warmtetransitie.

² PBL, 2019. Startanalyse voor aardgasvrije buurten.

³ "Een strategie is een plan om iets te bereiken, in dit geval: verwarmen zonder aardgas". PBL, 2019.

⁴ Definitie van een geothermisch play: Aardwarmtepotentieel gebaseerd op de aanwezigheid van warm water in een gesteenteformatie met vergelijkbare geologische eigenschappen en omstandigheden. Bron: EBN, 2018.

⁵ Deze 6 voordelen zijn: Geologische risicoreductie door optimale play (sub-play) ontwikkeling; Veiligheid & integrale projectontwikkeling; Kostenreductie door synergie, standaardisatie en efficiëntie; Optimalisatie warmtevraag en -infrastructuur; Structurele opzet R&D en innovatie; en Financieringsvoordelen.

Dit rapport gaat in op bovengenoemd punt en deelt, op grond van geologische gegevens en kennis, Nederland in verschillende (geothermische) plays en sub-plays in. De gedefinieerde sub-plays zijn gebieden waarin optimaal gezamenlijk onderzoek of ontwikkeling van geothermie zou kunnen plaatsvinden onafhankelijk van administratieve bovengrondse grenzen. De ondergrond kent namelijk geen bovengrondse gedefinieerde Gemeente, Provincie of RES-regio's grenzen.

Dit rapport (uitgevoerd in opdracht van Energie Beheer Nederland (EBN)) heeft als doel de kennis over het ondergronds potentieel te verbeteren, zodat deze kennis in het rapport 'Potentie van aardwarmte in Nederland' als input gebruikt kan worden. Gecombineerd verkleinen de rapporten de bestaande kennislacunes (zoals aansluiting vraag- en aanbod), zodat een goede afweging gemaakt kan worden over de inzet van aardwarmte als alternatieve warmtebron in de gebouwde omgeving, de glastuinbouw en de industrie.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt eerst de aanpak besproken hoe het geothermisch potentieel van een play⁷ ingeschat wordt op basis van bestaande ondergrondkaarten (TNO, ThermoGIS v2.1) van de voornaamste drie ondergrondse eigenschappen (zie kader). Aan de hand van een kaartbewerkingsproces worden deze kaarten omgezet in een eenvoudig stoplicht kleurenschema welke de kans op het geothermische potentieel aangeven.

De belangrijke ondergrondse eigenschappen die het geothermische potentieel sterk beïnvloeden zijn, voornamelijk de *permeabiliteit* (gesteente doorlaatbaarheid) en in mindere mate de *temperatuur* (correlatie met de laagdiepte) en de *dikte* van de aardlaag.

De doorlaatbaarheid van de laag (*permeabiliteit*) geeft aan hoe makkelijk water door de gesteentelaag kan stromen en bepaalt daarmee de mate van productiviteit en injectiviteit van een geothermisch doublet (het debiet). Hoe dieper de aardlaag hoe warmer het water. Dus de diepte van het ondergronds water bepaalt in grote mate de *temperatuur* van het productiewater. De *dikte* van de aardlaag is ook van belang voor de hoeveelheid water dat geproduceerd kan worden. Als een laag te dun wordt, is er te weinig contactoppervlak tussen de put en de laag en kan er onvoldoende water de put in stromen. Daarnaast geeft een dunne laag een groot risico op een versnelde waterdoorbraak tussen productie- en injectieboring waardoor de levensduur van het doublet aanzienlijk verkort wordt, hetgeen niet gewenst is.

In deze ondergrondstudie is nog geen rekening gehouden met ondergrondse beperkingen door olie & gasvelden en aanwezige breuken, welke mogelijk geïnduceerde aardbevingen zouden kunnen veroorzaken. Eventuele ondergrondse en ook de bovengrondse beperkingen (zoals bijvoorbeeld Natura 2000, drinkwatergebieden, etc.) worden besproken in het hoofdrapport (Berenschot, 2020).

In de hoofdstukken 3 tot en met 8 worden de verschillende geologische lagen (reservoirs), en de resulterende stoplichtkaarten van Nederland besproken. Deze geologische lagen zijn bekend in de geologie onder de volgende namen (van oud naar jong en dus van diep naar ondiep) en afgezet in hun geologische tijdsperiode welke tussen haakjes staat:

- Dinantien: oude kalkstenen (vroeg Carboon periode).
- Rotliegend zandstenen (Perm periode).
- Trias zandstenen (Trias periode).
- Jura zanden (Jura periode).
- Onder Krijt zanden en mergel (Krijt periode).

⁶ Sub-plays zijn veelal groter dan de zgn. RES (Regionale Energie Strategie) regio's, waardoor samenwerking tussen RES-gebieden noodzakelijk kan zijn om het geothermisch potentieel vast te stellen en samen vervolgstappen te ondernemen.

⁷ Een geothermisch play is gedefinieerd als "aardwarmtepotentieel gebaseerd op de aanwezigheid van warm water in een gesteenteformatie met vergelijkbare geologische eigenschappen en omstandigheden" (TNO et al, 2018).

- Paleogeen zanden (Tertiair periode).

Er wordt in dit rapport geen uitgebreide gesteentebeschrijving gegeven van deze verschillende lagen afgezet in verschillende geologische perioden. Hiervoor wordt verwezen naar de websites van TNO (TNO, NLOG.nl) en (TNO, www.dinoloket.nl). Hieronder wordt ingezoomd op de geologisch belangrijke eigenschappen en omstandigheden welke zorgen voor mogelijk geothermisch potentieel. Dit wordt gepresenteerd in verschillende kaarten en besproken in termen van geologische risico's voor geothermische ontwikkeling. De geologische plays worden regionaal onderverdeeld in sub-plays waarbinnen de eigenschappen in hogere mate vergelijkbaar zijn, dit is ook op de kaart aangegeven.

Alle kaarten gepresenteerd in dit rapport zijn landelijke kaarten. Aan de hand van deze kaarten wordt de kans op geothermisch potentieel op hoofdlijnen bepaald. TNO heeft in haar ThermoGIS-kaarten op de schaal van heel Nederland niet alle gegevens kunnen meenemen. Een voorbeeld hiervan is dat niet alle breuken meegenomen zijn waardoor de dieptecontouren van de reservoirs niet overal helemaal correct zijn. Het viel buiten de context van deze studie hiervoor te corrigeren, en dit zal, waar nodig, op detail- of lokaalniveau nader onderzocht dienen te worden.

In hoofdstuk 9 wordt de finale geothermie kansen kaart gepresenteerd, de zgn. Super CCRS-kaart. Deze kaart zal in eerste instantie gebruikt worden om de geothermiekans te koppelen aan de bovengrondse warmtevraag. Deze vraag- en aanbodkaart wordt gepresenteerd in het hoofdrapport van Berenschot (Berenschot, 2020). Tevens wordt daar ook de warmtevraag kaart gecombineerd met de individuele aardlagen beschreven in de hoofdstukken 4 tot en met 8.

Hoofdstuk 10 geeft een korte beschrijving van de basisgegevens van de Nederlandse ondergrond en hoe deze gebruikt worden voor een geothermisch potentieel bepaling door de geoloog. De gegevens komen veelal uit seismische data en uit boringen naar olie en gas. Hierbij zijn ook enkele geothermie boringen meegenomen. De kans op potentieel is natuurlijk mede afhankelijk van de hoeveelheid beschikbare gegevens. Wanneer onvoldoende gegevens beschikbaar zijn is de geologische kans voor aardwarmte/geothermie vaak te klein. Deze kan ook zelfs onbekend zijn door de afwezigheid van gegevens. De analyse en correlatie van alle ondergrond gegevens wordt in een geologische detailstudie uitgevoerd wat resulteert in kaarten van de plays, gegevensdichtheid en gegevenskwaliteit. Uiteindelijk wordt het geothermisch potentieel van de ondergrond bepaald. In hoofdstuk 10 wordt dit proces kort beschreven tezamen met de resultaten van een detail geologische studie. Daarnaast wordt het SCAN-project beschreven. Het is een meerjarig programma dat onderzoekt waar de Nederlandse ondergrond, in de gebieden waar nu te weinig gegevens zijn, geschikt zou kunnen zijn voor de winning van aardwarmte.

Om een goed beeld te krijgen van de Nederlandse ondergrond en de in de geologie gehanteerde namen voor de verschillende lagen is er hieronder een geologische tijds kolom toegevoegd. Deze namen zullen in dit rapport vaker genoemd worden bij de betreffende tijdsperiode.

Geologische Tijdschaal & Geologische Nomenclatuur

TijdPeriode	Serie	Groep	Formatie/Laagpakket	
(Mj)				
	Tertiair	Plioceen	Laagpakket Someren Laagpakket Voort Laagpakket Steensel Laagpakket Vessem Brussel Zand Basale Zand van Dongen Laagpakket Reusel Laagpakket Heers	
		Mioceen		
23.0		Paleogeen		Oligoceen
				Eoceen
				Paleoceen
65.5	Krijt	Laat	Holland Groenzand & Spijkenisse Groenzand Gildehaus Zandsteen De Lier Zandsteen IJsselmonde Zandsteen Berkel Zandsteen Rijswijk Zandsteen Friesland & Bentheim Zandsteen	
		Vroeg		
100.0		Chalk Groep - CK		
	Jura	Malm	Delft Zandsteen Formatie Alblasserdam Zandsteen	
		Dogger		
		Lias		
145.5	Trias	Laat	Röt Formatie Solling Formatie Hardegsen Formatie Detfurth Formatie Volpriehausen Formatie Bontzandsteen Formatie	
		Midden		
199.6		Vroeg		
228.0	Perm	Laat	o.a. Slochteren Zandsteen	
		Vroeg		
245.0		Zechstein Groep - ZE		
251.0	Carboon	Silesiën	Strijen & De Lutte Formatie Hellevoetsluis & Tubbergen Formaties	
		Dinantiën		
		Limburg Groep - DC	o.a. Zeeland Formatie	
326.0		Carboon Kalksteen Groep - CL		

Mj = Miljoen jaar

= Geothermisch reservoir

Figuur 1-1: Versimpelde geologische tijds kolom met de geologische aardlaagnamen en tijdsperioden genoemd in dit rapport.

2. Bepalen van het geothermisch potentieel

Veel van de geologische parameter kaarten die in de volgende hoofdstukken worden besproken zijn afgeleid van ThermoGIS v2.1. Dit is een landelijke database die is opgezet door TNO en publiekelijk toegankelijk gemaakt op het internet (www.thermogis.nl). Deze landelijke kaarten en interpretaties zijn van uitstekende kwaliteit waarmee voor grotere gebieden zoals steden en provincies betrouwbare inschattingen kunnen worden gemaakt. Echter de interpretatie is weergegeven op een landelijke schaal met kaartpixels van 500m bij 500m. Dit betekent dat er veel detail verloren gaat als er gekeken wordt op de lokale schaal van bijvoorbeeld een wijk of een gemeente. Doordat deze kaarten voor landelijk niveau gemaakt zijn, zijn er lokaal incorrecte contouring artefacten. Dit komt omdat de contouren van gelijke diepte, temperatuur en permeabiliteit worden gegenereerd door computerprogramma's waarbij niet alle breuken meegenomen zijn. De artefacten die zo ontstaan geven dus niet altijd de werkelijkheid weer, en zijn soms zichtbaar als zgn. bulls-eyes. Bovendien komen in uitzonderingsgevallen de diepten en dikten van de lagen niet overeen met de waarden zoals die gevonden zijn in boringen.

In dit rapport zijn een aantal nieuwe facies kaarten en (sub) play area's gedefinieerd voor de verschillende aardlagen. Deze kaarten en play gebieden zijn gebaseerd op "De Geologische Atlas" (TNO, Doornenbal, & Stevenson) en de kennis van Professor Jan de Jager en PanTerra. Aanvullend hierop zijn ook de SCAN-Dinantien resultaten meegenomen die tijdens de uitvoering van deze studie beschikbaar waren.

2.1 De "Common Risk Segment" Kaarten

De ondergrondkaarten van de eerdergenoemde geologische eigenschappen die het geothermische potentieel grotendeels bepalen zijn permeabiliteit, dikte en temperatuur. Deze kaarten worden van ThermoGIS v2.1 overgezet naar QGIS-software. In QGIS worden de kaartwaarden in bandbreedten ingedeeld waarbij drempelwaarden aangehouden zijn. Deze drempelwaarden, zoals gedefinieerd in Tabel 2-1, zijn gebaseerd op inschattingen door PanTerra en op de ervaringen van eerder uitgevoerde projectevaluaties van geothermische doubletten, en overeengekomen met de betrokken EBN staf.

De basiskaarten van permeabiliteit, dikte en temperatuur worden hiermee omgezet in zgn. Common Risk Segment (**CRS**) kaarten. Hiervoor is een simpel stoplicht kleurschema gebruikt van groen-geel-oranje op onderstaande wijze:

- Groen geeft aan dat er een **hoge** kans bestaat dat de parameter hier geschikt is voor een geothermisch project.
- Geel geeft aan dat er een **redelijke** kans bestaat dat de parameter hier geschikt is voor een geothermisch project. Echter, er bestaat wel gerede onzekerheid waarbij gedetailleerd geologisch werk, een exploratieprogramma of nieuwe gegevens zouden kunnen bijdragen om de onzekerheden rond die parameter te verkleinen.
- Oranje geeft aan dat er een **lage** tot **zeer lage** kans bestaat dat de parameter hier geschikt is voor een geothermisch project, afhankelijk van de kleur oranje. In sommige gebieden zijn de geologische parameters ongeschikt, in andere gebieden kan er grote onzekerheid bestaan over de parameter (bv. geen gegevens beschikbaar), waarbij gedetailleerd geologisch werk, een exploratieprogramma of nieuwe gegevens mogelijk zouden kunnen bijdragen om de bestaande onzekerheden te verkleinen.

De grenzen tussen oranje en geel en tussen geel en groen zijn niet exact en onzekerheden over de exacte grenzen blijven bestaan. De kleurgrenzen kunnen wel een locatie-onzekerheid hebben van enkele kilometers.

De uiteindelijke kans voor geothermie is niet gebaseerd op één enkele geologisch aspect, maar op drie: permeabiliteit, dikte en temperatuur. Daarom bestaat de uiteindelijke gecombineerde “Combined-CRS” kaart (CCRS-kaart) uit de optelling van alle drie de geologisch aspecten. Hiermee wordt de individuele grens van één enkel geologisch aspect minder belangrijk.

Ter informatie, de ondergrenswaarden van waar geothermie zou kunnen werken (de grens tussen geel en oranje) zijn altijd afgeleid van de zgn. **P10** ThermoGIS kaarten, d.w.z. de meest optimistische of positieve kaart die aangeeft waar er tenminste een 10% kans is dat de waarde hoger is dan de minimum waarde. Dit is gedaan om gebieden niet te snel af te schrijven op basis van één enkele geologische parameter. De waarden voor de grens waarboven geothermie zeker zou moeten werken (de grens tussen geel en groen) zijn steeds van de meest waarschijnlijke zgn. **P50** ThermoGIS kaarten genomen (50% kans dat de waarde hoger is dan de minimum waarde).

Deze drempelwaarden blijven natuurlijk arbitrair en kunnen mogelijk lokaal iets anders zijn, afhankelijk van de interactie van alle geologische parameters. Bijvoorbeeld, de dikte drempelwaarde is ingeschat op minimaal 30 m. Dat wil niet zeggen dat een laag van 29 m dik niet kan werken, want succesvolle geothermie hangt niet alleen van de dikte af maar ook van de permeabiliteit. Een dunnere laag kan een veel betere permeabiliteit hebben en dan kan geothermie toch mogelijk blijken in een laag van 29 m dik. De grenzen zijn dus geen hele harde grenzen, maar betekenen wel dat als ze onder deze grens blijven er meer detail gekeken dient te worden of geothermie op deze locatie niet te risicovol blijkt. Mogelijk kan ook latere exploratie of ontwikkeling in andere nabije gebieden geologische informatie geven over een nauwkeurigere drempelwaarde. De oppervlakte omstandigheden kunnen ook hun invloed hebben op de gekozen drempelwaarden. Daarnaast heeft de hoeveelheid beschikbare data waarop de parameterkaart gebaseerd is een grote invloed op de ligging van de drempelwaarden. Daarom geven de kaarten een goede eerste inschatting, maar lokaal onderzoek is altijd nodig om deze grove inschatting lokaal te bevestigen of eventueel aan te passen.

Geologische aardlaag	Dinantien	Rotliegend	Trias	Jura	Krijt	Paleogeen
Dikte (m)	Niet van belang	<30 oranje 30 – 60 geel >60 groen	<20 oranje 20-50 geel >50 groen	<30 oranje 30 – 60 geel >60 groen	<30 oranje 30 – 60 geel >60 groen	<30 oranje 30 – 60 geel >60 groen
Primaire Permeabiliteit (mD)	Hoog risico (Weinig primaire permeabiliteit)	<60 oranje 60-120 geel >120 groen	<50 oranje 50-110 geel >110 groen	<60 oranje 60-120 geel >120 groen	<60 oranje 60-120 geel >120 groen	<60 oranje 60-120 geel >120 groen
Temperatuur (°C)	Voldoende >100	<35 oranje 35-70 geel >70 groen	<35 oranje 35-70 geel >70 groen	<35 oranje 35-70 geel >70 groen	<35 oranje 35-70 geel >70 groen	<25 oranje 25-40 geel >40 groen

Tabel 2-1: Drempelwaarden voor de CRS-kaarten.

De permeabiliteit (doorlaatbaarheid) van een gesteente wordt uitgedrukt op de schaal van Darcy in zgn. milliDarcy (mD) waarbij een lage waarde een slechte doorlaatbaarheid weergeeft. Een zeer goed reservoir kan een permeabiliteit van enkele Darcy hebben. De ondergrens voor bijvoorbeeld de permeabiliteit in de Rotliegend play is in Tabel 2-1 gesteld op 60mD. Een permeabiliteit lager dan 60 mD wordt beschouwd als risicovol voor geothermie en zijn oranje gekleurd. Tussen de 60-120 mD is er een kans dat een geothermisch project zou kunnen werken en deze waarde verdeling is daarom geel gekleurd. Boven de 120 mD (gekozen op de P50 ThermoGIS kaart) wordt de kleur groen en kan men gevoeglijk aannemen dat een Rotliegend reservoir hier geschikt is voor geothermie. De drempelwaarden zijn zoveel mogelijk gelijk gehouden voor de verschillende reservoirs voor consistentie en om het eenvoudig interpreteren en vergelijken van de kaarten te faciliteren.

Uitzondering hierop zijn de Trias zanden welke door zijn goede permeabiliteit een dikte van 20 m als ondergrens en 50 m als bovengrens genomen is. Tevens zijn de drempelwaarden van permeabiliteit daardoor ook iets lager.

Tot slot zijn voor de ondiep liggende Paleogeen zanden de temperatuurwaarden geschaald naar de diepte waarop dit reservoir voorkomt. Daar een 70 °C als bovengrens hier onhaalbaar is. De Paleogeen zanden lenen zich daarom voornamelijk voor ondiepe, lage temperatuur geothermie.

De drempelwaarden zijn gekozen op basis van huidige technieken en inzichten. Als er nieuwe technologieën worden ontwikkeld (bijvoorbeeld het ondergronds radiator principe) of bestaande technieken worden significant verbeterd (denk bijvoorbeeld aan de efficiency van warmtepompen) dan kunnen mogelijk de gekozen drempelwaarden verschuiven.

2.2 De “Combined CRS-Kaart” (CCRS)

De drie bovengenoemde CRS-kaarten voor permeabiliteit, dikte en temperatuur worden bij elkaar opgeteld om een totale gecombineerde geothermische potentiekaart te creëren per geologische laag of combinatie van enkele lagen. Zo ontstaat de gecombineerde Combined Common Risk Segment (**CCRS**) kaart. Hierin worden de drie belangrijkste geologische aspecten samengevoegd en komen er gebieden uit waar alle belangrijke geologische aspecten in de kleuren groen, variaties van geel en oranje zijn. De optelcombinaties van de CRS-kaart kleuren worden weergegeven in de CCRS-kaarten volgens onderstaand schema (Tabel 2-2):

Donkergroen	De optelling van 3x groen. Hier is de ondergrond geschikt voor geothermie.
Middelgroen	De optelling van 2x groen en 1x geel. Hierbij is het niet van belang welke kaart een gele kleur geeft: De dikte, permeabiliteit of de temperatuurkaart. In deze gebieden is er dus een klein beetje onzekerheid over één geologische parameter welke door verder onderzoek mogelijk uitsluitel kan geven.
Lichtgroen	De optelling van 1x groen en 2x geel. Hier komt er iets meer onzekerheid omdat 2 geologische parameters verder onderzoek vergen.
Geel	De optelling van 3x geel. Geothermie is zeker nog mogelijk en verder onderzoek is noodzakelijk om de geologische parameters in het gebied beter te begrijpen en de onzekerheden te kennen.
Oranje	De optelling van 2x geel en 1x oranje of 2x groen en 1x rood. De kansen nemen af wanneer er een geologische parameter roodgekleurd is. Daar er een bepaalde cut-off gebruikt is, is het hier zinnig om in detail te kijken of de gebruikte cut-off misschien op deze locatie verschoven kan worden door bijvoorbeeld meer data te verzamelen. Er dient wel opgelet te worden omdat de risico's voor geothermie groter worden naarmate er meer rode geologisch parameters aangemerkt worden
Donkeroranje	De optelling van 2x oranje en 1x geel of 1x groen. De aanwezigheid van 2 oranje geologische parameters geeft aan dat de kans momenteel klein is en dat als eerste gekeken moet worden wat de achterliggende reden is hiervoor. Vervolgens kan worden bepaald of mogelijk nieuwe informatie deze kans kan verbeteren. Dit kan het geval zijn als er bijvoorbeeld in een nabij, en geologische soortgelijk gebied, een succesvol geothermisch project is uitgevoerd.
Rood	De optelling van 3x oranje. Alle geologische parameters lijken ongeschikt voor geothermie. Het ligt voor de hand om in de rode gebieden naar alternatieve mogelijkheden te zoeken omdat geothermie hier hoogstwaarschijnlijk niet gaat werken

Tabel 2-2: Kleurencode voor de CCRS-kaart opgebouwd uit de CRS-kaart kleuroptelling.

2.3 Data aanwezigheid op de CCRS-kaart

De olie en gasindustrie heeft veel geïnvesteerd in ondergrondgegevens van Nederland door o.a. seismiek, boringen en productiegegevens. Daardoor is de Nederlandse ondergrond redelijk tot zeer goed bekend. Er bestaan in Nederland echter ook gebieden waar de olie en gasindustrie weinig tot geen gegevens heeft verzameld omdat er weinig of geen kans op olie- of gasvoorkomens was door verschillende geologische omstandigheden. Dat wil echter niet zeggen dat geothermie ook uitgesloten is in deze gebieden. Er is alleen een gebrek aan ondergrondgegevens waardoor het moeilijker wordt om een goed onderbouwde uitspraak over de mogelijkheid van geothermie te doen. ThermoGIS v2.1 heeft deze gebieden in kaart gebracht als zgn. "witte vlekken". Deze witte vlekken zijn overgenomen op de kaarten in dit rapport. Op basis van kennis van de algemene geologie van Nederland en extrapolatie van goede gegevensgebieden naar gebieden waar minder bekend is, kunnen geologen vaak toch een redelijke voorspelling doen van de te verwachte geologie in deze relatief lage gegevensgebieden. Desalniettemin is een nadere evaluatie in deze witte vlekken aan te raden om duidelijk te krijgen of de onzekerheid in de CCRS-kaart veroorzaakt wordt door te weinig data, of door onzekerheid in de geologische parameters. Als de onzekerheid op CCRS-kaart veroorzaakt wordt door gebrek aan gegevens, dan kan men nieuwe gegevens verzamelen; wanneer de geologische parameters onvoldoende zijn is hier weinig aan te doen.

ThermoGIS kent tien onderverdelingen van witte vlekken. In dit rapport is ervoor gekozen om de witte vlekken gradaties te vereenvoudigen tot één enkele witte kleur samengesteld uit de ThermoGIS klasse 1 en 2 (TNO, ThermoGIS v2.1, 2019), welke over alle kaarten gelegd kan worden. Hiermee kan een snel beeld verkregen worden van gebieden met (te) weinig gegevens voor een betrouwbare geologische interpolatie.

Overwogen kan worden om in dit soort gebieden gegevens in te winnen waarbij het gegevens type afgestemd moet worden op de vraag die beantwoord moet worden. Bijvoorbeeld door een seismisch onderzoek uit te voeren als er te weinig bekend is over diepte en geologische structuur, of een exploratieput te boren indien weinig bekend is over de reservoirkwaliteit.

In de overige gebieden (ThermoGIS wit 3-9) zijn meer gegevens voorhanden variërend van redelijk recente 2D-seismiek en enkele boringen tot moderne 3D seismische gegevens. Doordat de seismische lijnen in 2D gebieden ver uit elkaar kunnen liggen blijft er een mate van onzekerheid bestaan. In eerste instantie lijkt het erop dat er over het algemeen in deze witte gebieden 3-9 voldoende informatie is om een geothermisch project te kunnen plannen na detailonderzoek. Binnen SCAN wordt op dit moment een seismische 2D survey uitgevoerd om in de witte vlekken gebieden meer ondergrondse gegevens te verkrijgen welke deels een gegevensinvulling of gegevensverbetering van de witte vlekken gebieden kan geven. Het is van belang deze nieuwe gegevens mee te nemen wanneer deze beschikbaar komt (zie ook Hoofdstuk 10).

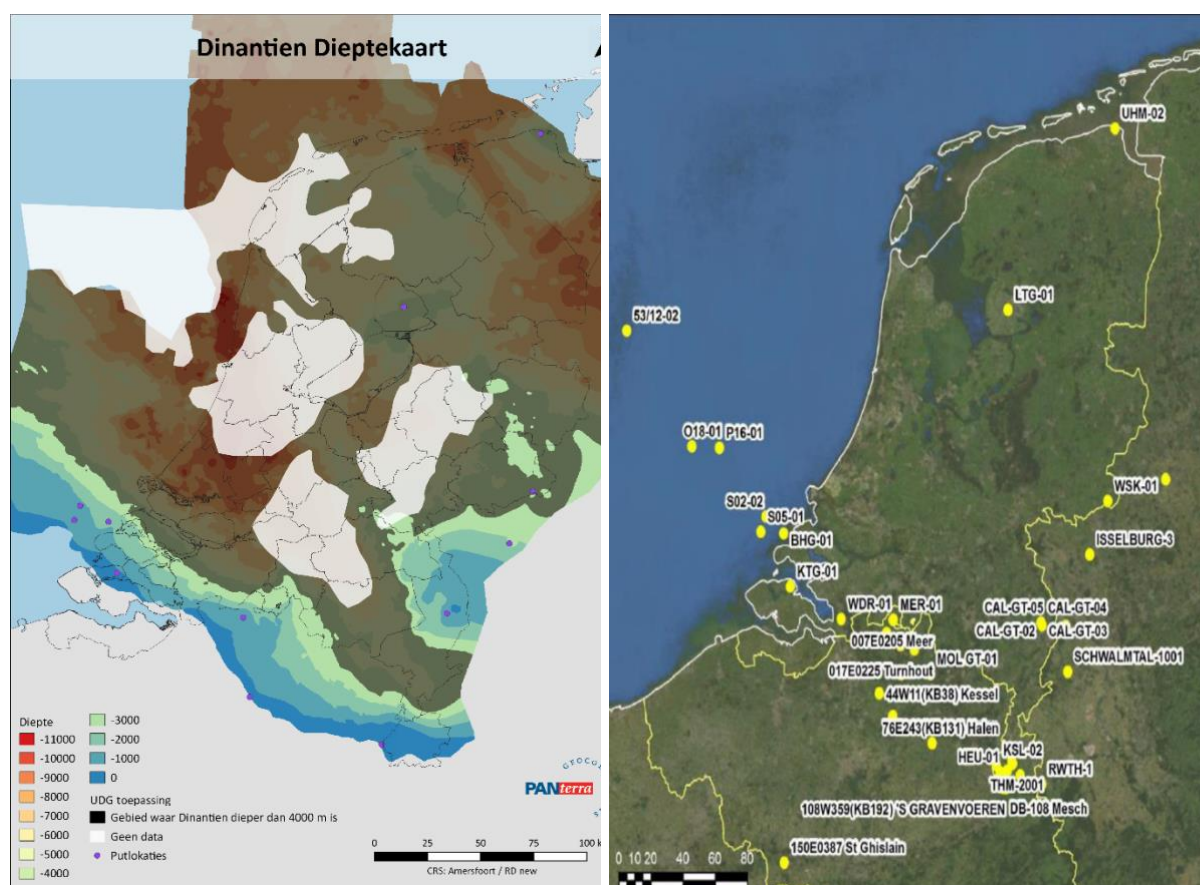
2.4 Combineren van de CCRS-kaarten tot de Super CCRS-kaart

Om warmtevraag en -aanbod te kunnen combineren (Berenschot, 2020) worden alle CCRS-kaarten samengevoegd tot één samengestelde" super CCRS-kaart. Deze samengestelde kaart is gemaakt door alleen de hoogste geothermiekans uit alle lagen te nemen. Let wel, zowel de Dinantien play als ook de Paleogeen play ondieper dan 500 m zijn niet meegenomen in deze samengestelde super CCRS-kaart. Als er in één van de plays een hoge kans op geothermie is (donker groen op de enkelvoudige CCRS-kaart per play), wordt deze op de samengestelde kaart ook weergegeven als donker groen. Per pixel wordt dan de beste geothermiekans genomen uit de verschillende geologische plays.

De super CCRS-kaart wordt in eerste instantie gebruikt om de warmtevraag te koppelen aan de kans op geothermie zoals aangegeven op deze kaart. . In het Berenschot rapport (Berenschot, 2020) wordt de warmtevraag en aanbodkans in meer detail gepresenteerd door de betreffende geothermie kanskaart (CCRS-kaart) van het betreffende geologische play te combineren met de warmtevraag. De samengevoegde geothermie kanskaart wordt in hoofdstuk 9 besproken.

3. De Dinantien Play

Het Dinantien refereert naar het oudste tijdvak van het Carboon en is tussen 360-326 miljoen jaar geleden afgezet. In België komen de kalkgesteenten van het Dinantien aan de oppervlakte, o.a. in het Maasdal bij Visé. Deze kalkstenen zijn in de ondergrond van Nederland relatief slecht bekend. In de grensgebieden van Nederland en omliggende landen zijn slechts 26 boringen in deze reservoirs met bruikbare gegevens voor Nederland. Slechts 12 van deze boringen zijn op Nederlands (onshore/offshore) grondgebied (Figuur 3-1). De meeste van deze boringen staan in het zuiden van Nederland waar de Dinantien niet zo diep is. Slechts drie boringen staan in het noorden in de diepere kalkstenen. Gegevens over het Dinantien zijn (nog) niet beschikbaar in ThermoGIS. Dit hoofdstuk vat de laatste stand van zaken samen op basis van de beschikbare rapporten uit het SCAN-programma (www.scanaardwarmte.nl) (SCAN, 2019), (Ten Veen, 2019). Er wordt hier enkel gekeken naar het Dinantien waarvan de top op **minder** dan 4000 m diepte ligt (Figuur 3-1). Dinantien dieper dan 4000 m heeft een grotere onzekerheid en valt in het UDG-domein. Hiernaar wordt onderzoek gedaan binnen de Green Deal (Greendeal, 2017). Dit rapport beschrijft dus alleen het Dinantien dat in Zuid-Nederland en in het zuidoosten gelegen platformgebieden aanwezig is.



Figuur 3-1: Dieptekaart van de Dinantien Kalksteen met de boringen die het Dinantien bereikt hebben. Aangepast van “Seismic Interpretation and Depth Conversion of the Dinantian Carbonates in the Dutch sub-surface” (SCAN, 2019) & (Ten Veen, 2019) en kaart met de 26 boringen naar het Dinantien.

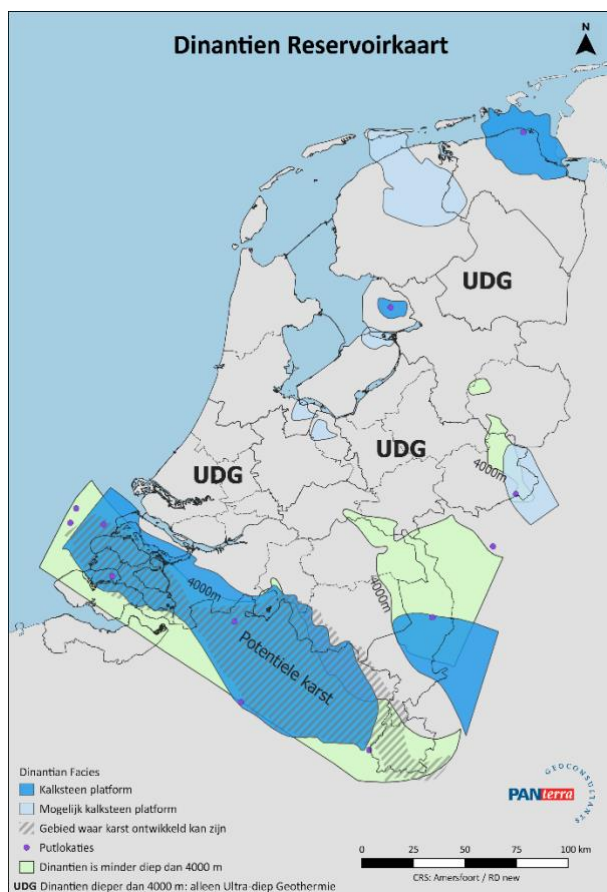
Het grote gebrek aan voldoende gegevens geeft grote onzekerheden voor de exploratie en ontwikkeling van het Dinantien. De grootste onzekerheid in deze kalkstenen is of er enige *porositeit en permeabiliteit* bewaard gebleven is om geothermie te kunnen laten werken. De Californië doubletten bij Venlo betreffen twee geothermische projecten waar het Dinantien een goede productie van warm water geeft. De goede reservoir eigenschappen daar

zijn het gevolg van hoge porositeit (primair & secundair), verbreuking en karstificatie die zo ver is gegaan dat het mogelijk tot grotvorming heeft geleid. De productie van deze doubletten is op dit moment voorlopig stopgezet zodat er geen nieuwe informatie meer ingewonnen wordt.

Gezien de schaarse hoeveelheid gegevens kunnen er over het Dinantien geen kwantitatieve uitspraken over de permeabiliteit gedaan worden. Wel kan worden gezegd dat er in geen enkele bestaande Dinantien kalksteen boring voldoende matrix permeabiliteit is gevonden voor een geothermische ontwikkeling, en dat het niet waarschijnlijk is dat er gebieden zijn met hogere (primaire) matrix permeabiliteit. De voorlopige conclusie is dat er secundaire permeabiliteit zoals karst- of fracture permeabiliteit (zoals aangetroffen in de Californië (Venlo) boringen) nodig is voor een succesvolle geothermische ontwikkeling. Secundaire permeabiliteit speelt behalve in Californië ook een grote rol bij de gasopslag in Loenhout (B) en bij de geothermie projecten in Mol (B), Beerse (B) en Venlo.

3.1 Permeabiliteit en Afzettingmilieu

Het afzettingmilieu is voor een kalksteen reservoir een zeer belangrijke factor voor porositeit en permeabiliteit. Kalkafzettingen bestaan uit kalkmateriaal dat door verschillende organismen wordt geproduceerd, zoals algen en koralen. Het precieze afzettingmilieu en de organismen die daar leefden bepalen hoe het gesteente er primair uitziet. Op een platform in ondieper water zorgt de flora en fauna vaak voor een kalkgesteente met een goede primaire porositeit en permeabiliteit (platformkalkstenen), terwijl in diepere zeeën kalkresten als fijn materiaal naar beneden dwarrelen en daar een dichte mergel modder afzetten met weinig porositeit en permeabiliteit (bekkenafzettingen) (Figuur 3-2). Doordat deze kalkmodder na afzetting diep wordt begraven en samengedrukt, blijft er van de primaire porositeit weinig over. Als de kalksteen later weer wordt opgeheven kan porositeit en permeabiliteit ontstaan, bijvoorbeeld door oplossing van de kalksteen (karstificatie). Dit is een van de zogenaamde secundaire processen. Oplossing van kalk kan ook voorkomen langs kleine breuken (fractures) in het gesteente. In de geothermische kalksteenprojecten in bij Venlo en bij Mol (België), is de permeabiliteit door secundaire processen ontstaan (Figuur 3-2). Boringen Luttelgeest (LTG-01) en Uithuizermeeden (UHM-02), beiden geboord in een Dinantien platformkalksteen hebben helaas geen tot zeer weinig permeabiliteit aangetoond. Ook de zuidelijke putten en de putten offshore laten in het algemeen een zeer lage matrix/primaire porositeit/permeabiliteit zien (Carlson, 2019). Onvoldoende permeabiliteit is dus een groot risico voor de (diepe) Dinantien-play. De dynamiek van afzettingmilieu, gecombineerd met begravings- en opheffingsgeschiedenis en de gevolgen daarvan voor de ontwikkeling van de permeabiliteit worden nu onderzocht in de UDG Green Deal (Mozafari, 2019). Door het gebrek aan gegevens zullen de conclusies voorlopig onzeker blijven. Toekomstige exploratie programma's kunnen hier mogelijk meer duidelijkheid over geven.



Figuur 3-2: Vereenvoudigde kaart van de mogelijke verspreiding van Dinantien kalksteen reservoir. De platform facies is aangegeven in blauwe en lichtgroene vlakken, het resterende gebied is geïnterpreteerd als bekken facies. De kaart is gebaseerd op gegevens van het SCAN-rapport (Mozafari et al., 2019).

Het Dinantien is voor haar permeabiliteit dus sterk afhankelijk van *secundaire* processen die de permeabiliteit kunnen hebben verbeterd.

Karstificatie is het oplossen van kalksteen door doorstroming van (regen)water, wat kan resulteren in spleten, gaten en zelfs grotten: zoals de bekende Belgische Grotten van Han. Voor karstificatie is het in het algemeen essentieel dat de kalkstenen dicht bij het oppervlak gelegen hebben, waar bij platformkalkstenen meer kans op geweest is. Er zijn drie hoofdsoorten karstificatie geobserveerd aan de rand van het bekken in Zuid-Nederland

1. De karstificatie *nét* na de afzetting van het Dinantien, ten tijde dat het gesteente nog heel dicht aan het oppervlak lag (*Numarien karstificatie*).
2. Karstificatie na opheffing en erosie in het Krijt. Door grootschalige erosie van het bovenliggende gesteente, kwam in het Krijt een gedeelte van het Dinantien weer aan het oppervlak te liggen. Dit wordt *Onder-Krijt karstificatie* genoemd.
3. Zgn. hydrothermale karstificatie in breukzones waarbij kalksteen oplost in (warme) vloeistoffen die door breukzones stromen. Deze processen kunnen ook op grotere diepte plaatsvinden. Mogelijk is de karstificatie in de Tegelen breukzone bij Venlo ook op deze manier tot stand gekomen. (Mozafari et al., 2019) (Poty E., 2014).

Behalve het identificeren van welke soort karstificatie plaatsgevonden heeft, is het tot nu toe moeilijk om een voorspelling te doen waar exact deze karstificatie plaatsgevonden heeft en welke permeabiliteit hier toegekend kan worden. Dit is voornamelijk het gevolg van het gebrek aan ondergrondgegevens, zoals putgegevens en 3D seismiek. Wel is het mogelijk ongeveer aan te geven waar de Basis Krijt-afsnijding het Dinantien geërodeerd heeft, waardoor hier de kans op karstificatie vergroot aanwezig is (Mozafari et al., 2019). Deze erosie heeft alleen in het zuiden plaatsgevonden, en niet op de noordelijk gelegen platformen.

Een analoog kan wel getrokken worden met de Dinantien kalkstenen die in België aan de oppervlakte liggen en met de twee diepere putten in het noorden. Deze kalkstenen laten allen zeer weinig matrix/primair permeabiliteit zien maar hebben een hoge secundaire doorlatendheid waardoor de projecten succesvol zijn.

Tektoniek (breukvorming) is de invloed van tektonische bewegingen die het gesteente breken, zowel op kilometerschaal (breukzones) als op millimeter schaal (fractures). Zulk een breukzone kan een goede stroomweg voor water zijn en bevordert lokaal de permeabiliteit. Voor deze verbreuking maakt het soort kalksteen niet uit, hoewel eerdere verbreuking ook een mogelijke latere karstificatie positief beïnvloed.

Er kan kwalitatief ingeschat worden waar karstificatie en breukvorming mogelijk te verwachten zijn, maar er zijn niet genoeg gegevens beschikbaar om dit te kwantificeren op lokale (project) schaal. Voor interpretatie van permeabiliteit door karstificatie en/of door verbreuking is goede kwaliteit 3D-seismiek een vereiste, gecombineerd met putgegevens. Dit vereist het vergaren van nieuwe gegevens.

3.2 Diepte en dikte van het Dinantien

Op veel plaatsen is het mogelijk om de top van het Dinantien te karteren (Figuur 3-1, Ten Veen et al., 2019). Alleen in Zuid-Nederland ligt het Dinantien ondieper dan 4000 m. Hier is destijds een groot kalksteencomplex afgezet aan de bekkenrand. In het noorden van Nederland zijn een aantal kalksteenplatformen gekarteerd, maar die liggen allemaal dieper dan 4000 m. Voor dit rapport is de diepte van 4000 m als grens gesteld. Dieper dan 4000 m geldt als UDG (Ultra Diepe Geothermie).

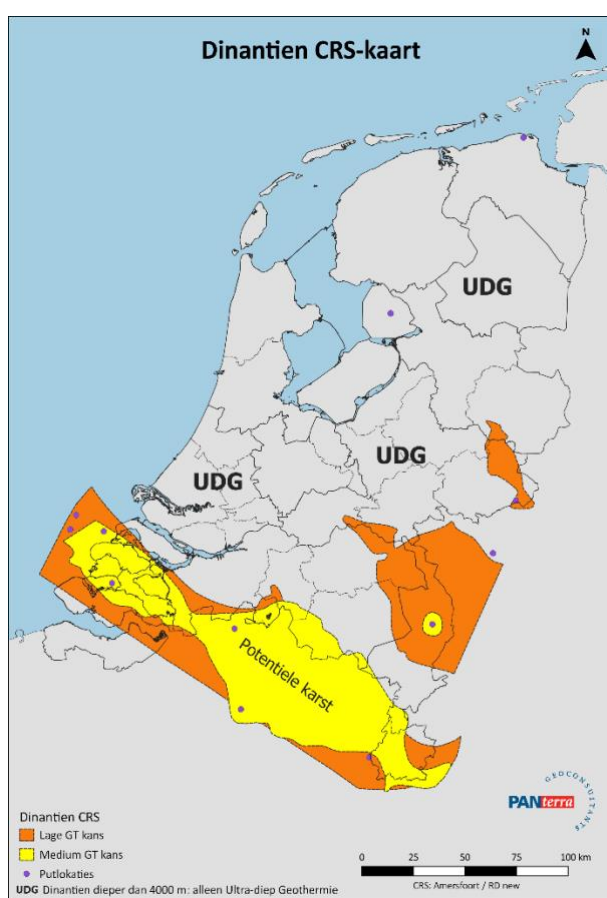
Er zijn onvoldoende gegevens beschikbaar om de dikte van het Dinantien over heel Nederland aan te geven, met uitzondering van Zuid-Nederland waar de dikte redelijk bekend is. Hier kan zowel de top als de basis van het Dinantien gekarteerd worden. Ten Veen et al., 2019 laten zien dat het Dinantien in Zuid-Nederland in dikte varieert tussen ongeveer 500 m en 1000 m. Echter, de dikte van het hele Dinantien is niet altijd representatief voor de bruikbare dikte voor geothermie. Het gaat in het Dinantien om de dikte van het gedeelte van het totale pakket dat als effectief permeabel reservoir beschouwd kan worden. Het Dinantien kan zeer dik zijn, maar door de secundaire permeabiliteitsverdeling hierboven beschreven (paragraaf 3.1) is soms een relatief dun interval van de kalksteen al genoeg om uitstekende debieten te krijgen. Dit komt door de zeer goede permeabiliteit van fractures en karst kenmerken.

3.3 Temperatuur

Het Dinantien is over het algemeen diep gelegen met uitzondering van het zuiden van Nederland (Zeeland en Zuid-Limburg), en levert dan ook altijd een hoge temperatuur. Met name de diepere secties van meer dan 3 km kunnen boven de 100°C leveren. Het is aangetoond dat in verschillende diepe kalksteenputten de temperatuur hoger is dan berekend vanuit een normale temperatuurgradiënt (temperatuur toename van ongeveer 3°C/100m), (Veldkamp, 2020) Dit kan komen door de isolerende werking van de schalies die boven op de kalken liggen. Hoewel er door het gebrek aan gegevens nog geen temperatuurkaart beschikbaar is, hier wordt op moment van schrijven aan gewerkt, is er geen twijfel dat overal waar het Dinantien op een grotere diepte voorkomt dan twee kilometer, de temperatuur ruim voldoende is voor een geothermisch project.

3.4 De Dinantien Kansenkaart

De risicokaart voor het Dinantien kan alleen kwalitatief bepaald worden vanwege de gelimiteerde hoeveelheid ondergrondse gegevens. De grootste onzekerheid van het Dinantien is zoals eerder vermeld de reservoirkwaliteit ofwel porositeit en permeabiliteit. De kalkstenen van het Dinantien hebben in het algemeen een heel lage primaire permeabiliteit van nature en zijn dus geheel afhankelijk van een secundaire permeabiliteit. Er zijn echter te weinig ondergrondgegevens voorhanden om deze secundaire porositeit te kunnen voorspellen. Daardoor blijft de kans op een succesvol project beperkt op basis van de huidige gegevens en technologie. Door het gebrek aan gegevens is de kansenkaart beperkt tot het gebied waar putten geboord zijn en waar het Dinantien ondieper is dan 4000 m. Waar de kans op karstificatie groter is, bijvoorbeeld in gebieden waar de top van de kalken geërodeerd is, krijgt dat gebied een redelijke kans (geel) voor het ontwikkelen van een project. Dat betekent wel dat er nog lokaal onderzoek nodig is naar de mogelijke locatie van de karsten.



Figuur 3-3: Kansenkaart van het Dinantien. De gele gebieden zijn afhankelijk van de aanwezigheid van karsten en breuken, de lage kans gebieden (oranjekleur) enkel van breuken.

4. De Rotliegend Play

De Boven-Rotliegend Groep (RO), afgezet in het geologische Perm tijdperk (meer dan 250 miljoen jaar geleden), is het belangrijkste reservoir voor gas in Nederland, en is dan ook veel aangeboord door de olie & gas industrie. Ook het grote Groningen gasveld produceert gas uit deze geologische formatie welke voor een groot deel bestaat uit een redelijk tot goed doorlatende (permeabele) zandsteen (de zgn. "Slochteren" zandsteen) die tot wel 250m dik kan zijn. De Slochteren zandsteen is niet overal in Nederland afgezet waardoor er vooral in het zuiden en oosten van het land geen Rotliegend play aanwezig is (Figuur 4-3). Op sommige andere plaatsen is deze zandsteen, nadat hij was afgezet, weg geërodeerd gedurende een latere geologische periode, zodat dit reservoir daar nu ook deels of geheel afwezig is.

4.1 Permeabiliteit en Afzettingmilieu

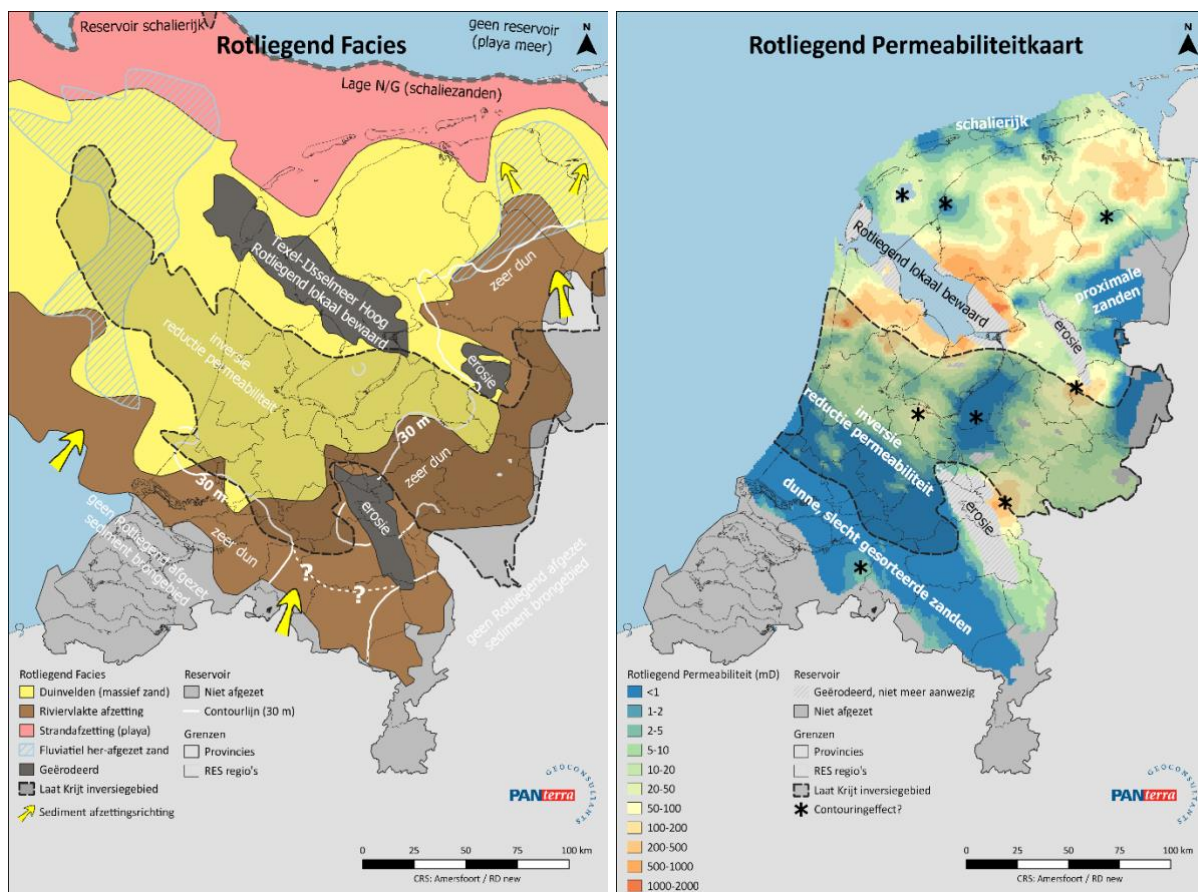
Het afzettingmilieu waarin zanden zijn afgezet is vaak bepalend voor de primaire permeabiliteit; de doorlaatbaarheid van het gesteente. De Slochteren zandsteen is afgezet in een droog woestijnlandschap met zandduinen en "wadi's" (meestal droge rivierbeddingen). De woestijnduinen hebben een betere doorlaatbaarheid doordat de wind voor een betere zandkorrelsortering zorgt in vergelijking met de "wadi" afzettingen. Als alle korrels dezelfde grootte hebben, blijven er grotere ruimtes over tussen de zandkorrels, waardoor de doorlaatbaarheid van het gesteente groot is. De duinafzettingen zijn vaak vrij homogeen, wat zorgt voor een goede reservoir kwaliteit en continuïteit.

Is de zandsteen afgezet in een meestal droge rivierbedding (wadi), dan krijg je een relatief slechtere korrelsortering waardoor er kleinere ruimtes tussen de korrels overblijven (de kleinere korrels nemen deels de ruimtes in tussen de grotere korrels). De permeabiliteit is dan lager, waardoor het water minder makkelijk door het gesteente kan stromen (debiet). Bovendien variëren de afzettingen van een rivier sterk, denk bijvoorbeeld aan de Betuwe waar rivieren met zandstranden worden afgewisseld door kleiige uiterwaarden. Een goede rivier zandafzetting kan dus zomaar overgaan in een kleiige formatie, waardoor goede permeabiliteit dus heel lokaal kan zijn.

Het afzettingmilieu bepaalt, via de permeabiliteit, voor een belangrijk deel de productie/injectiekwaliteit van de aardlaag. Dit is schematisch aangegeven op de facies kaart (Figuur 4-1).

In het uiterste noorden van Nederland is de Rotliegend als kustafzetting (playa) geïnterpreteerd. In dit gebied zijn de verwachtingen voor een goede permeabiliteit laag.

De Rotliegend permeabiliteitskaart (Figuur 4-2) is de P50 ThermoGIS v2.1 kaart. Annotaties refereren aan specifieke aspecten die de permeabiliteit kunnen hebben beïnvloed. Bijvoorbeeld, in het grijs gearceerde gebied is een slechtere permeabiliteit geïnterpreteerd dan op grond van de huidige diepte verwacht kan worden. Dit komt doordat het reservoir aanvankelijk tot vrij grote diepte was begraven, waarna het omhooggekomen is (inversie). Het reservoir lag in het geologische verleden op grotere diepte dan vandaag. Bij een diepere begraving wordt het gesteente steeds dichter doordat de poriën tussen de korrels dichtgedrukt worden. Bij dit proces neemt de doorlaatbaarheid (permeabiliteit) onomkeerbaar af. Hierdoor kan het geothermische potentieel sterk verminderen. Ook in dunnere, slecht gesorteerde zanden aan de zuidelijke en oostelijke randen van het bekken wordt een permeabiliteitsreductie verwacht (Figuur 4-2).



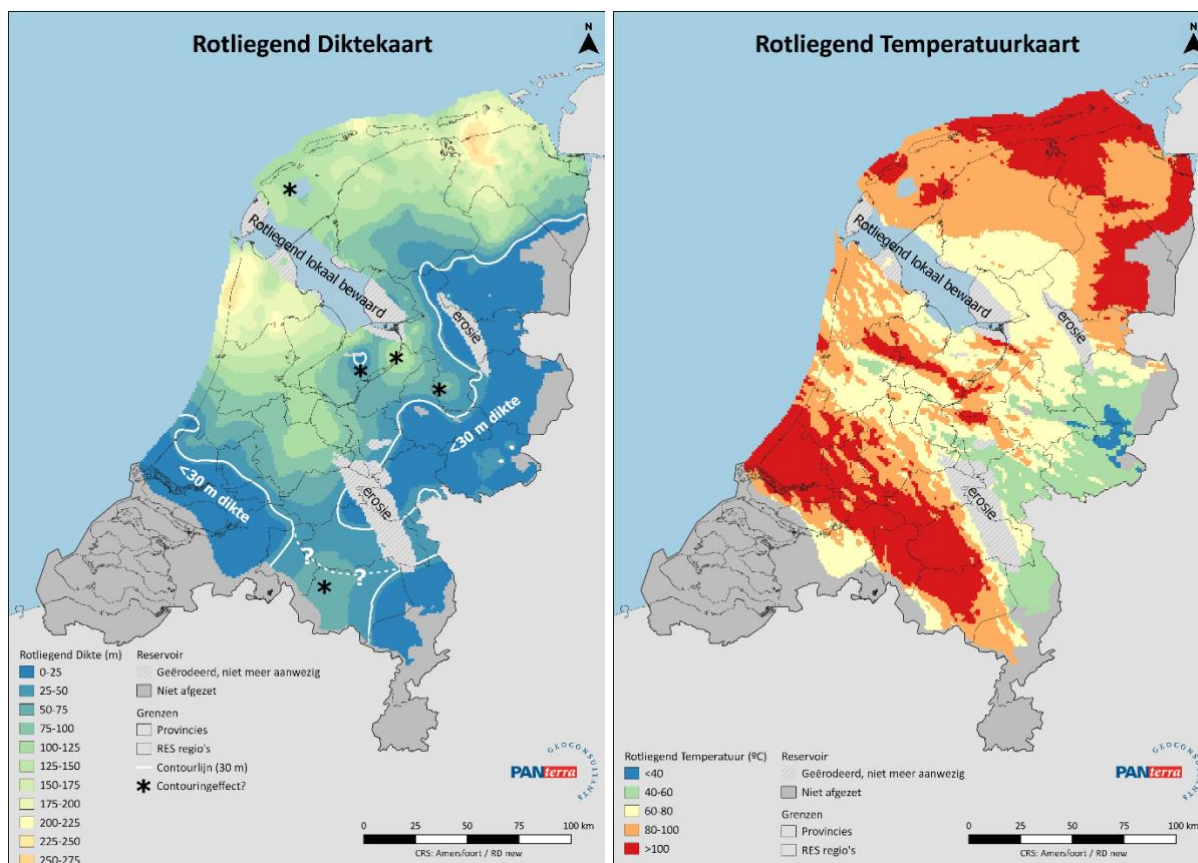
Figuur 4-1: De Rotliegend faciëskaart geeft schematisch aan in welk afzettingmilieu de Slochteren zanden zijn afgezet. De beste reservoir kwaliteit wordt verwacht in de lichtgele duinvelden. Gebaseerd op gegevens van de Southern Permian Basin Atlas (TNO, Doornenbal, & Stevenson, Petroleum Geological Atlas of the Southern Permian Basin Area, 2010)

Figuur 4-2: De Rotliegend permeabiliteitskaart afgeleid van TNO (ThermoGIS v2.1, 2019). De * geeft aan dat de kaart hier onzeker is (vanwege een contouring effect).

4.2 Dikte van het Rotliegend

De Rotliegend diktevariatie is natuurlijk van groot belang voor geothermie. In zijn geheel vormt de Slochteren zandsteen (voor het eerst aangeboord in de Slochteren-1 boring nabij het dorp Slochteren, vandaar de naam) de geothermische play binnen de Rotliegend Groep. Voor een accurate beschrijving van het Rotliegend en de Slochteren zandsteen verwijzen we graag naar de eerdergenoemde TNO-website (TNO, www.dinoloket.nl).

De Rotliegend diktekaart (Figuur 4-3) is afgeleid van de P50 ThermoGIS v2.1 kaart. De annotaties op de kaart geven geologische aspecten weer welke de dikte en kwaliteit beïnvloeden, en ook onzekerheden (* op kaart) in de gegevens. Wanneer het Rotliegend dunner dan 30 m is wordt geothermie moeilijk te ontwikkelen. Uit dunne lagen valt minder water te produceren en te injecteren. Daarbij kan het ook voorkomen dat wanneer de doorlaatbaarheid van de dunne lagen goed is, geïnjecteerd water de productieput relatief snel zal kunnen bereiken (kortere doorbraaktijd). De levensduur van een geothermisch doublet wordt daardoor verkort.



Figuur 4-3: Rotliegend reservoir diktekaart afgeleid van TNO (ThermoGIS v2.1, 2019). De * geeft aan dat de kaart hier onzeker is (vanwege een contouring effect).

Figuur 4-4: Rotliegend temperatuurkaart afgeleid van TNO (ThermoGIS v2.1, 2019).

4.3 Temperatuur

De temperatuur van de aardlaag staat in direct verband met de laagdiepte. Hoe dieper de aardlaag nu begraven ligt hoe hoger de temperatuur.

De basis van de vereenvoudigde Rotliegend temperatuur kaart (Figuur 4-4) is de P50 ThermoGIS v2.1 temperatuur kaart. De kaart is zeker in het noorden nauwkeurig door de grote hoeveelheid boringen die het Rotliegend aangeboord hebben en waarop de temperatuurkaart is gebaseerd. In het zuiden en midden van het land is de kaart minder nauwkeurig omdat de meeste putten het Rotliegend niet bereiken.

4.4 De Common Risk Segment (CRS) kaarten

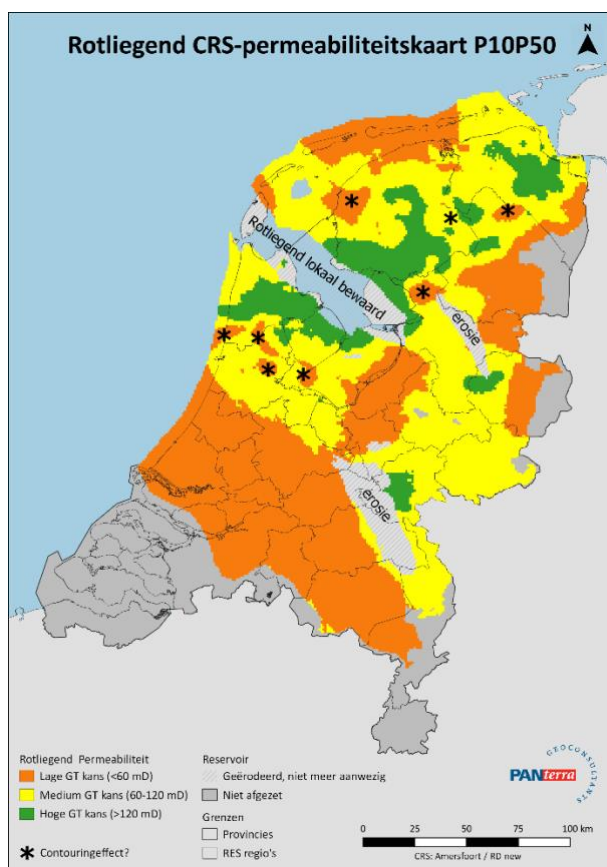
De basiskaarten permeabiliteit, dikte en temperatuur worden omgezet in CRS-kaarten. Dit wordt gedaan op dezelfde wijze als beschreven in Hoofdstuk 2.1, de CRS-kaarten en Tabel 2-1: Drempelwaarden voor de CRS-kaarten. Er worden kleuren groen, geel en oranje aangegeven voor de individuele kaarten om hier de kans op geothermie per geologische parameter in te schatten. De volgende individuele Rotliegend Common Risk Segment kaarten zijn gemaakt:

4.4.1 Rotliegend CRS Permeabiliteitskaart

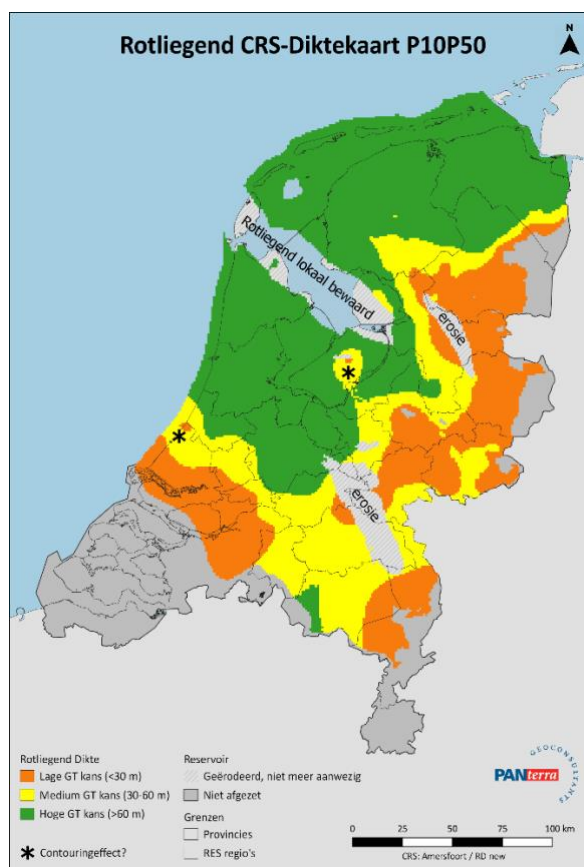
Figuur 4-5 laat de CRS permeabiliteitskaart in de drie kleuren zien. Permeabiliteit onder de 60mD worden als lage kans voor geothermie beschouwd en zijn hier oranje gekleurd. Tussen de 60-120 mD (geel) is er een medium kans op geothermie. Boven de 120 mD (groen) is er een hoge kans dat het reservoir geschikt is voor geothermie.

De asterix (*) op de kaart (Figuur 4-5) laten plekken zien waar mogelijke contouring problemen anomalieën veroorzaken in de risicokaart, bijvoorbeeld onder de regio Amsterdam. De betere en slechtere zones zijn hier vermoedelijk gerelateerd aan slenk en horst vorming en lokale begravingsgeschiedenis. De gridcel grootte van ThermoGIS laat het niet toe om deze kleine structuren beter in kaart te brengen op de schaal van heel Nederland. Hier zal in een latere fase in meer detail naar gekeken moeten worden mocht er hier een geothermisch project overwogen worden.

De kaart laat duidelijk zien dat in Zuid-Nederland de permeabiliteit onvoldoende is. De groene zones liggen vnl. in Groningen, Friesland, Noord-Holland en de randen van het IJsselmeer.



Figuur 4-5: Rotliegend CRS kaart van de permeabiliteit afgeleid van TNO (ThermoGIS v2.1, 2019). De *geeft aan dat de kaart hier onzeker is (vanwege een contouring effect).



Figuur 4-6: Rotliegend CRS kaart van de dikte afgeleid van TNO (ThermoGIS v2.1, 2019). Annotaties geven gebieden aan waar de dikte minder betrouwbaar is. De *geeft aan dat de kaart hier onzeker is (vanwege een contouring effect).

4.4.2 Rotliegend CRS Diktekaart

Figuur 4-6 laat de CRS Diktekaart in drie kleuren zien. Als de dikte minder is dan 30 m (op de ThermoGIS P10 kaart) is er een lage kans op geothermisch potentieel (paragraaf 4.1), en krijgt de kaart een oranje kleur. Daar waar de zandsteen niet is afgezet wordt de kaart grijs, maar staat erbij dat de zandsteen hier niet afgezet is (geen potentieel). Tussen de 30-60 m dikte bestaat er een medium kans dat er geothermisch potentieel is en is de kaart geel gekleurd. Bij diktes groter dan 60 m bestaat er een hoge kans op geothermisch potentieel en krijgt de kaart een groene kleur. Daar waar er geen informatie is over de Slochteren zandsteen, maar deze wel aanwezig zou zijn op basis van regionale geologie staat dat ook op de kaart aangegeven.

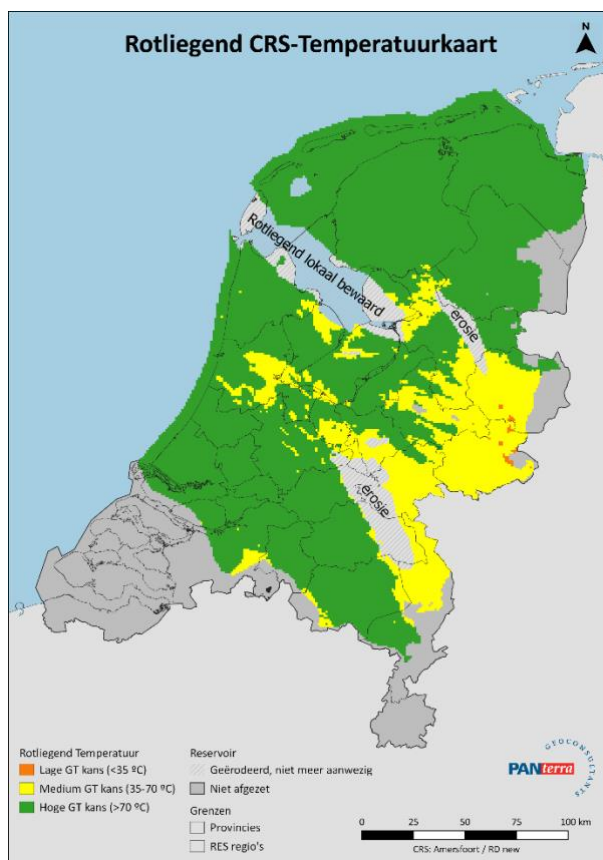
Met een asterix (*) worden op de kaart anomalieën aangegeven die nader onderzocht moeten worden. Bijvoorbeeld ten westen van Biddinghuizen ligt een ietwat vreemde verdunning welke aantoonbaar niet op feiten gebaseerd is (zie * op diktekaart Figuur 4-6).

Een snelle blik laat zien dat twee boringen Knardijk-01 en Oost Flevoland-01 in dit gebied liggen. Knardijk-01 heeft niet in de Rotliegend geboord en Oost Flevoland-01 heeft maar 52 m in de Rotliegend geboord en is toen gestopt. De laatste put heeft dus niet de gehele dikte van het Rotliegend geboord, en waarschijnlijk is de dikte hier ongeveer 70m (dus groen). Dit laat alweer zien dat een detail analyse noodzakelijk is en dat de kaarten in ThermoGIS vrij grof zijn omdat niet alle gegevens meegenomen konden worden.

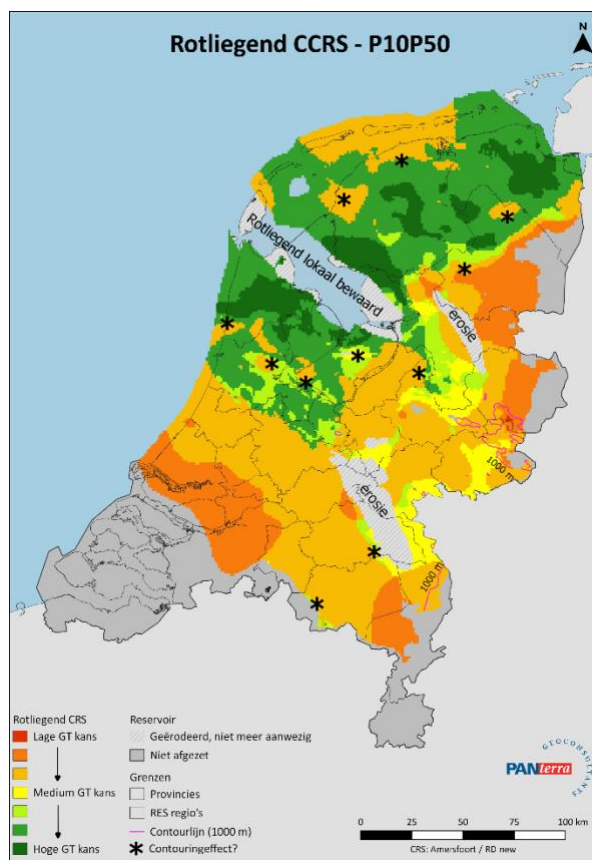
4.4.3 Rotliegend CRS Temperatuurkaart

De CRS temperatuurkaart wordt opgesplitst in 3 grote kleurgebieden. Daar waar de temperatuur lager dan 35 °C (oranje) is bestaat er een kleine kans op een geothermische ontwikkeling in het Rotliegend. Bij temperaturen tot 70 °C (geel) bestaat er een medium kans dat er potentieel aanwezig kan zijn, maar is verdere studie noodzakelijk om het geothermisch potentieel in combinatie met andere factoren te bewijzen. Of deze temperatuur uiteindelijk kansen biedt voor een geothermisch project hangt sterk af van de bovengrondse warmtevraag en temperatuur vereisten. Bij temperaturen boven de 70 °C (groen) is er een hoge kans op geothermisch potentieel. De kans op een goed geothermisch project hangt echter niet alléén van de temperatuur af, zoals eerder besproken.

De kaart (Figuur 4-7) laat zien dat de verwachte temperatuur van het Rotliegend in een groot gedeelte van Nederland hoger dan 35°C is. In Oost Nederland nabij de grens met Duitsland bevinden zich enkele gebieden met temperaturen lager dan 35°C. Deze plekken behoeven nadere studie daar deze ook artefacten kunnen zijn van gebruikte methode.



Figuur 4-7: Rotliegend CRS kaart van de temperatuur afgeleid van TNO (ThermoGIS v2.1, 2019).



Figuur 4-8: Combined CRS (CCRS) kaart van het Rotliegend. De annotaties geven gebieden aan waar sommige parameters minder betrouwbaar zijn. De * geeft aan dat de kaart hier onzeker is (vanwege een contouring effect).

4.5 Rotliegend Combined Common Risk Segment CCRS-Kaart

Uiteindelijk worden de drie bovenstaande CRS-kaarten gecombineerd en ontstaat de zgn. Combined Common Risk Segment (**CCRS**) kaart (Figuur 4-8) zoals beschreven in Hoofdstuk 2.2 en Tabel 2-2.

Deze kaart geeft aan waar geothermie toegepast kan worden met hoge kans (groene tinten), medium (geel) en lage kans (oranjerood) op ondergronds succes. In alle gevallen is een detailstudie noodzakelijk voor de potentieel berekeningen en put trajectplanning om de beste ondergrondse locaties te kunnen bepalen voor de geothermische putten.

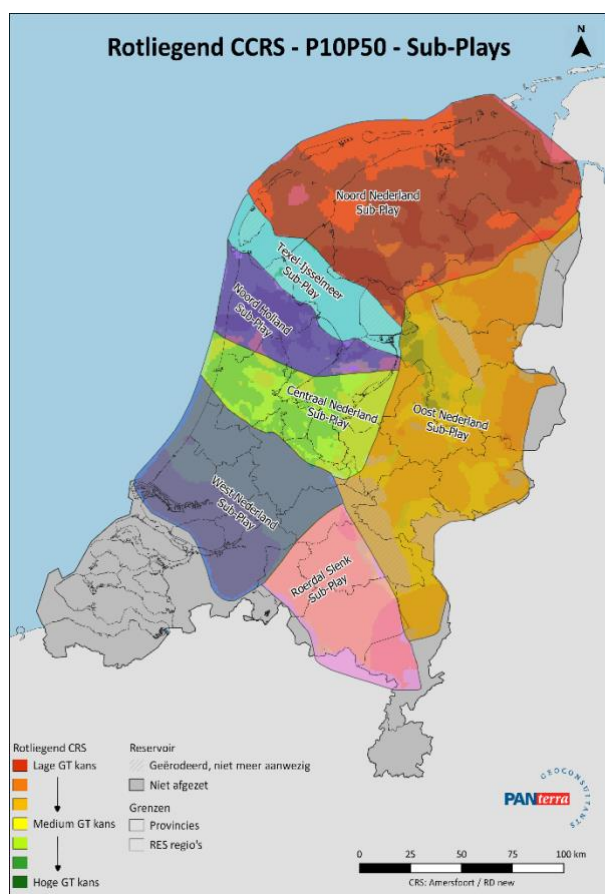
In de donkergroene gebieden worden alle parameters als voldoende beoordeeld voor een geothermisch project. In de andere groen getinte gebieden zijn de kansen nog steeds goed, maar is er enige twijfel aan een of twee van de parameters. In de geel getinte gebieden kan geothermie mogelijk werken, maar is meer studie en/of zijn meer gegevens noodzakelijk om een betere grip op de parameters en risico's te krijgen. De oranje gebieden hebben een lage kans omdat een of meerdere van de parameters onvoldoende zijn en hier zullen door studie en gegevens vergaring bekeken moeten worden of dit daadwerkelijk zo is. Mogelijk is één van de parameters zo goed dat geothermie toch nog toegepast kan worden. In donkeroranje, rode en grijze gebieden zijn zeer waarschijnlijk ongunstig voor geothermie in het Rotliegend. Zie ook Hoofdstuk 2.2.

Als extra opmerking dient vermeld te worden dat in het noorden van Friesland, in het Lauwersmeer gebied en langs de oostgrenzen van Groningen en Drenthe overdrukken voorkomen in het Rotliegend. Dat wil zeggen dat de druk van het water in het reservoir hoger is dan normaliter verwacht kan worden op die diepte. Dit kan de

bruikbaarheid voor geothermie op een negatieve manier beïnvloeden omdat injectie van afgekoeld water meer energie zal vergen. Hier zal extra aandacht aan geschonken moet worden in de gedetailleerde evaluatie.

4.6 De Rotliegend Sub-plays onderverdeling

Op basis van gebieden met gelijkwaardige geologische parameters kunnen binnen de Rotliegend play zes verschillende Rotliegend Sub-plays gedefinieerd worden (Figuur 4-9). De sub-plays definiëren gebieden waar mogelijk een gecombineerd exploratie- of onderzoeksprogramma het risico voor het hele sub-play gebied kan verminderen.



Figuur 4-9: Rotliegend Sub-Play gebieden

De Rotliegend sub-play gebieden zijn:

4.6.1 De Noord-Nederland Sub-Play

Dit gebied strekt zich uit van Groningen over Friesland, en de kop van Drenthe. De zuidwestelijke begrenzing is het Texel-IJsselmeer Hoog, een zone waar de Rotliegend grotendeels afwezig is door erosie. Het Rotliegend reservoir in de Noord-Nederland play bestaat in hoofdzaak uit dikke, vrij massieve duinzanden met goede permeabiliteit. De diepte varieert van meer dan 3500 m plaatselijk in Groningen tot ongeveer 1500 m aan de zuidwestgrens van de sub-play.

De Lauwersmeer Trog welke net iets dikkere zanden heeft, maar mindere permeabiliteit wordt hierdoor niet als aparte sub-play gezien en past goed in de hele Noord-Nederlandse sub-play. In het zuidoosten is er een gebied waar duinzanden grotendeels afwezig zijn en het Rotliegend voornamelijk uit rivierzanden bestaat. Uit tal van gasboringen weten we dat het reservoir goed is ontwikkeld (zowel dikte alsook kwaliteit). Daarom is ervoor

gekozen dit gebied bij de Noord-Nederland Sub-Play te rekenen. Het noordelijkste deel van dit gebied is afgezet als playa afzettingen (Figuur 4-1). Hier worden mindere reservoir kwaliteiten verwacht. Dit gebied ligt echter weliswaar onder de Waddenzee en noordelijker, maar is toch ter volledigheid meegenomen in deze sub-play.

4.6.2 De Texel-IJsselmeer Sub-Play

Dit gebied bevindt zich grotendeels in het IJsselmeer, wat voor geothermie nu niet interessant is. De kuststranden van het IJsselmeer zoals aan de Noordoostpolder, Flevoland en stukken van Noord-Holland kan in deze sub-play mogelijkheden bieden. In het verleden was de Rotliegend geïnterpreteerd als geheel afwezig. EBN heeft in het kader van het SCAN-project deze sub-play gebied in meer detail (seismische interpretaties) bekeken en komt tot de conclusie dat de Rotliegend niet totaal afwezig is in dit sub-play gebied. Een detailstudie is gepast in deze sub-play om het geothermisch potentieel van deze relatief dunne zanden met goede permeabiliteit lokaal te evalueren.

4.6.3 De Noord-Holland Sub-Play

Dit gebied strekt zich voornamelijk uit boven het noordelijk deel van de provincie Noord-Holland. Ook hier bestaat het reservoir grotendeels uit dikke massieve duinzanden met goede permeabiliteit. De diepte is omstreeks 1500 tot 2500 m. De conclusie is dat de geologische condities hier goed zijn voor de ontwikkeling van geothermie, zoals ook al bewezen door de voortvarende ontwikkeling van o.a. het Middenmeer gebied.

4.6.4 De Centraal Nederland Sub-Play

Dit gebied ligt ten zuiden van de Noord-Holland Sub-Play en bestrijkt ook het noordelijk deel van Zuid-Holland een groot deel van de provincie Utrecht. Het kenmerkende geologisch karakteristieke element van deze play is de tektonische inversie die aan het eind van de geologische Krijttijd (ongeveer 70 miljoen jaar geleden) plaatsvond. Hierdoor is de huidige diepte veelal niet de maximale begravingsdiepte die dit reservoir ooit heeft gehad, waardoor de permeabiliteit vaak lager is. Ook bevindt deze Sub-Play zich in een overgangsgebied voor wat betreft de dikte. Naar het zuiden toe neemt de dikte van het reservoir af. Een geothermisch doublet in Heemskerk bewijst op basis van putgegevens dat met een permeabiliteit van 67 mD (geel op de permeabiliteitskaart) geothermie in deze sub-play werkt. Dat is eigenlijk een eerste doublet in deze sub-play en toont aan dat de geologie op die locatie goed genoeg is hoewel de ThermoGIS kaart dit nog niet aangeeft. In dit sub-play gebied kan de kleur dus licht groen gekleurd worden op basis van deze positieve resultaten. In deze sub-play is van belang dat de begravings- en opheffingsgeschiedenis beter wordt begrepen, omdat hierdoor lokaal permeabiliteit verschillen kunnen optreden. Met gegevens vergaring en studies zullen mogelijk betere voorspellingen gemaakt kunnen worden. Hetgeen zal kunnen leiden tot meerdere geothermische ontwikkel mogelijkheden.

4.6.5 De West-Nederland Play

Het gebied van de West Nederland Play valt grofweg samen met het zuidelijke deel van Zuid-Holland tot net in Zeeland, en het westelijk deel van Noord-Brabant, en komt overeen met het geologisch bekende West Nederland Bekken. Het noordelijke deel van dit bekken is zeer sterk structureel geïnverteerd, en heeft daardoor een zeer lage permeabiliteit. Op de permeabiliteitskaart is een sterk contrast te zien met het aangrenzende Centraal Nederland Sub-Play. De dikte van het reservoir neemt sterk af naar het zuiden en is veelal minder dan 50 m, tot haast niets in het uiterste zuiden wat de geschiktheid voor geothermie doet afnemen.

De geologische condities van het Rotliegend reservoir in dit sub-play gebied zijn niet gunstig voor de ontwikkeling van geothermie.

4.6.6 De Oost-Nederland Play

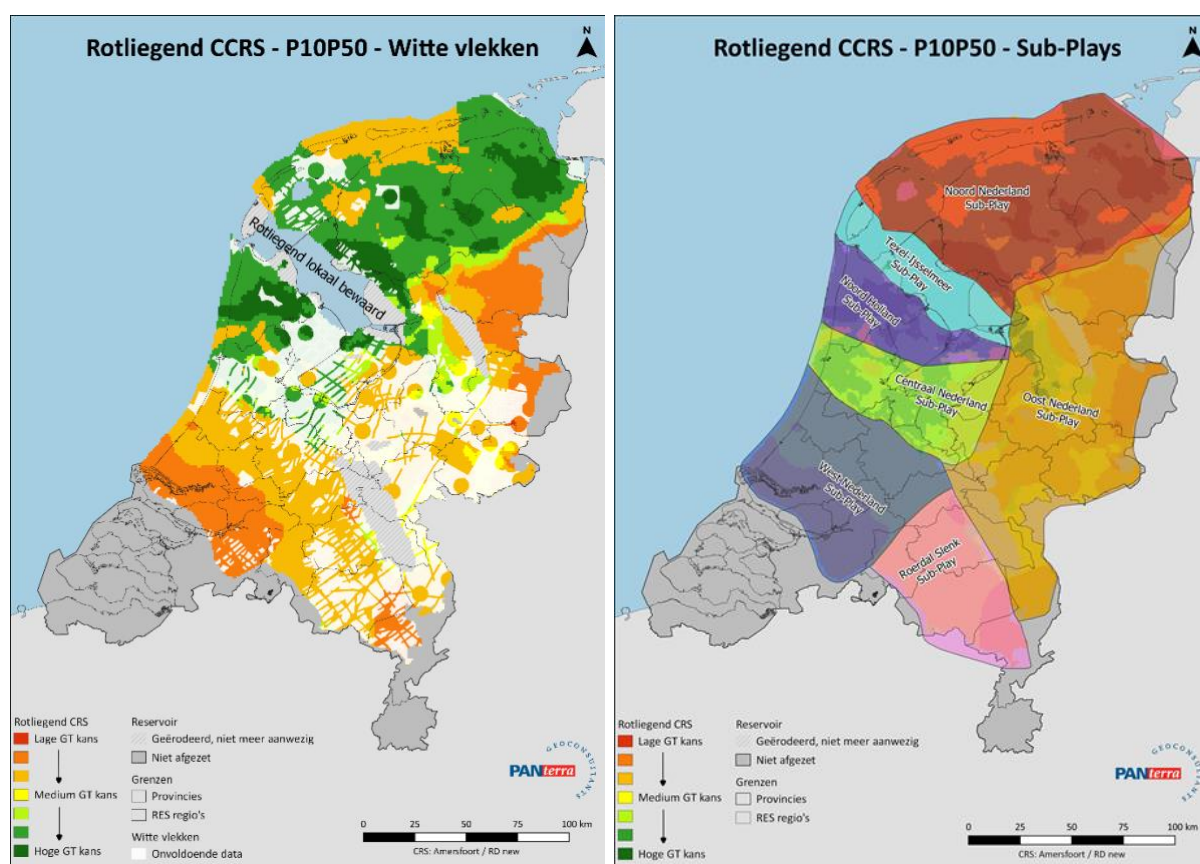
De Oost Nederland Play is een minder prospectieve play in delen van Drenthe, Gelderland, Overijssel en Noord-Limburg. De Rotliegend is hier vrij dun ontwikkeld en meestal fluviatiel (door rivieren) afgezet, met over het

algemeen een geringe permeabiliteit. In het noordwesten van Overijssel is de reservoir kwaliteit iets beter, en daar kan de kans op een succesvol geothermisch project in de Rotliegend zeker niet uitgesloten worden. De permeabiliteit kaart van ThermoGIS laat enkele anomalieën (zgn. bulls-eyes) van hoge en lage permeabiliteit zien. Een initiële controle van putgegevens laat zien dat enkele als datapunten aangegeven boringen de Rotliegend niet hebben bereikt, en doet zo vermoeden dat de kaart hier onnauwkeurig is.

Het verzamelen van gegevens in vooral Overijssel kan dit gebied interessanter maken voor geothermische ontwikkeling van de Rotliegend play.

4.7 Effect van gegevensdichtheid/kwaliteit op het gebruikte CRS- en CCRS-model

Zoals eerder vermeld is de Nederlandse ondergrond redelijk tot goed bekend, maar er zijn gebieden met minder gegevens die zijn aangegeven als witte vlekken (zie paragraaf 2.3). Dit is weergegeven op Figuur 4-10. Grote delen van de sub-play gebieden Centraal en Oost Nederland liggen in het witte vlekken gebied.



Figuur 4-10: Witte vlekken kaart gepositioneerd op de Rotliegend CCRS kaart, vereenvoudigd naar ThermoGIS “witte vlekken” kaart (waarden 0-2) afgeleid van TNO (ThermoGIS v2.1, 2019).

Deze gebieden onder de witte vlekken zijn gedeeltelijk groen en veelal oranje. Rond de seismische lijnen en daar waar putgegevens zijn, zijn de CCRS kleuren nog te zien. In de groene gebieden zal het schieten van seismiek voldoende moeten zijn om geothermie mogelijk te maken. In de oranje gebieden zijn meer onzekerheden dan enkel het gebrek aan gegevens. De geologie lijkt daar minder gunstig en is de kans op geothermische ontwikkeling een stuk kleiner.

Het is in deze witte vlekken gebieden van belang te vermelden dat EBN 2D seismische lijnen laat schieten. Deze gegevens kunnen van belang zijn in deze gebieden om een beter inzicht in de ondergrond te krijgen en deze gegevens zullen zeker meegenomen moeten worden wanneer deze beschikbaar is.

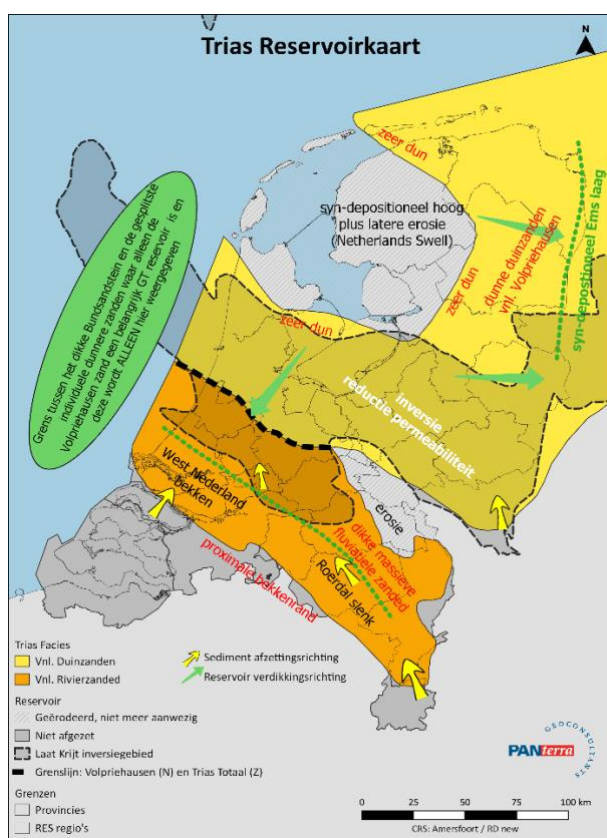
5. De Trias Play

De geologische "Trias Group", afgezet in het Trias tijdperk (200-252 miljoen jaar geleden) is in West Nederland veelal door de olie & gasindustrie aangeboord. De zanden van de "Lower Germanic Trias Group" en het onderste deel van de "Upper Germanic Trias Group" zijn voor geothermie van belang. In dit rapport refereren we dus met Trias-play naar deze specifieke geologische gesteente groep welke in Nederland bestaat uit voornamelijk zandsteenlagen (geologische formaties) van oud naar jong genaamd: de Nederweert zandsteen (alleen in zuidoost Nederland), de Volpriehausen Formatie (Onder & Boven), de Detfurth Formatie (Onder & Boven), de Hardegsen Formatie en de Röt Formatie. De eerste vier van deze reservoirs worden gewoonlijk gezamenlijk de "Main Buntsandstein" genoemd. Om het niet te ingewikkeld te maken praten we dus over de gezamenlijke naam van al deze zandstenen uit het geologische Trias tijdperk. Meer informatie over dit tijdperk en de afgezette gesteenten kan men vinden op de TNO-website (TNO, www.dinoloket.nl).

De afzetting, kwaliteit en dikte van deze zanden laat grote verschillen zien in Nederland. Deze verschillen worden veroorzaakt door afzettingmilieu, bodembewegingen en topografie tijdens het Trias.

5.1 Permeabiliteit en Afzettingmilieu

Een vereenvoudigde geologisch schetskaart (Figuur 5-1) laat zien dan de Trias niet overal aanwezig is. Onder het IJsselmeer gebied zijn de zanden als gevolg van latere tektoniek omhooggekomen (Netherlands Swell) en weg geërodeerd en nu dus niet meer aanwezig.



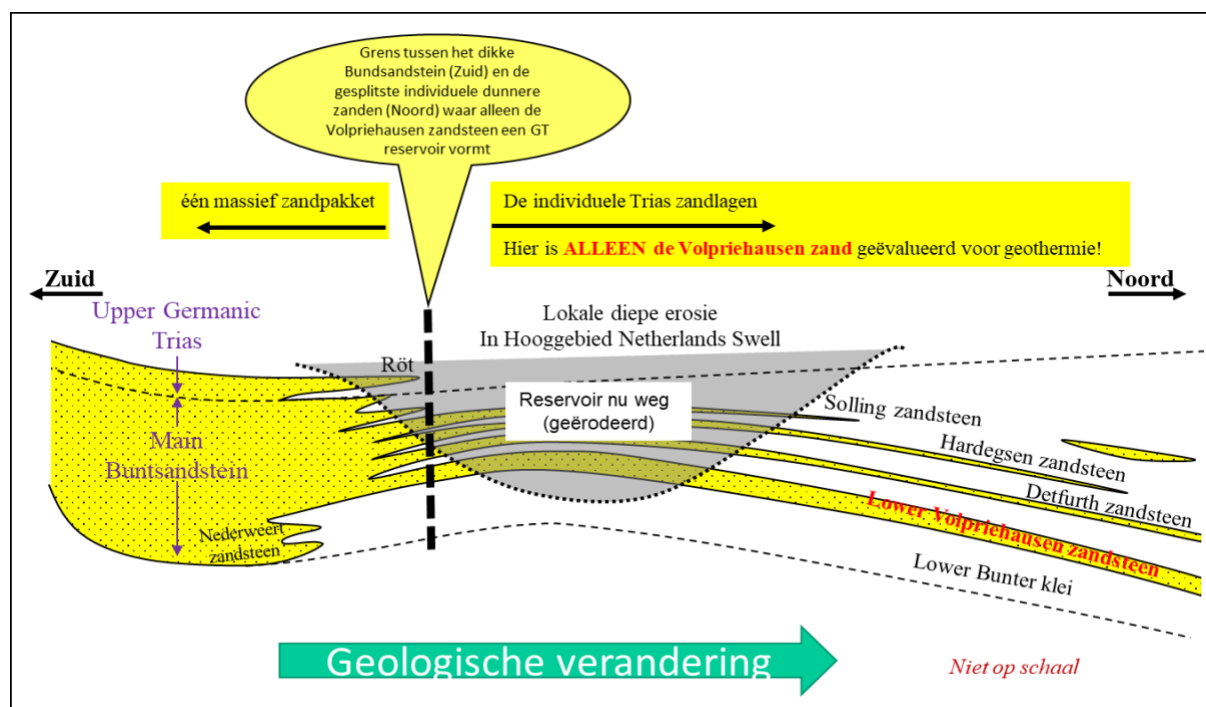
Figuur 5-1: Samengestelde Trias reservoir en facies kaart. Gebaseerd op gegevens van de Southern Permian Basin Atlas (TNO, Doornenbal, & Stevenson, Petroleum Geological Atlas of the Southern Permian Basin Area, 2010)

In Zuid- en West-Nederland lag ten tijde van het Trias tijdperk een dalend gebied, het West-Nederland bekken en de Roerdal slenk. Dit relatief grote bekken is gedurende de Trias tijden opgevuld met veel zanden vanuit het zuiden (de huidige Belgische Ardennen) die voornamelijk via rivieren aangevoerd werden. Dicht bij de zandbron (in het zuiden) zijn de zanden dik ontwikkeld. De massieve zandafzettingen van de gehele "Main Buntsandstein" en de Röt zijn boven op elkaar afgezet, waardoor het één massief zandpakket is geworden (Figuur 5-2).

Rond het IJsselmeer bevond zich een zogenaamd hoog: de Netherlands Swell. Dit was gedurende het Trias een gebied van langzamer bodemdaling dan elders, waardoor de Trias afzettingen daar dunner zijn. Later, gedurende het eind van het Juratijdperk, is dit gebied sterk omhooggekomen en zijn alle Trias lagen weg geërodeerd.

Verder naar het noorden worden de Trias afzettingen dikker, terwijl de zandlagen dunner worden. De individuele zanden van de Trias zijn hier goed te onderscheiden omdat er kleilagen tussen zitten. Helaas zijn deze individuele zanden veelal te dun voor een mogelijk geothermisch project. Richting Duitsland, waar een langzaam dieper wordend bekken lag, het Ems gebied, konden de zanden (deels duinzanden) zich dikker ontwikkelen in oostelijke richting. Ook langs de kust van Noord-Holland zijn die zanden wat dikker ontwikkeld.

De grens tussen de massieve zanden in het zuiden en de dunne individuele zanden in het noorden ligt ongeveer op de zwarte stippellijn in Figuur 5-1, welke ruwweg van Leiden naar Nijmegen loopt. Een schematische Noord-Zuid dwarsdoorsnede is weergegeven in Figuur 5-2. Hierin zijn de massieve zanden in het zuiden zichtbaar, en op de Netherlands Swell, eens een hoger gebied, zijn de zanden weg geërodeerd. Ten noorden van de Swell zijn de individuele zanden gescheiden door impermeabele kleilagen (wit). Het is *belangrijk* te weten dat voor de verdere evaluatie in het noordelijke gedeelte van Nederland niet de totale dikte, permeabiliteit en temperatuur genomen zijn van alle individuele zanden tezamen. Deze zanden worden veelal te dun geacht voor geothermie. In deze studie is gekozen om ten Noorden van de grenslijn alleen de dikkere Volpriehausen zanden te evalueren. De grenslijn op alle Triaskaarten is dus ook de grenslijn tussen de massieve zanden in het Zuiden en het Volpriehausen zand in het Noorden. Echter, in het oostelijk deel van Nederland, zeker in de Achterhoek, vormt de Detfurth ook een potentieel geothermisch reservoir.



Figuur 5-2: Trias zandontwikkeling van Zuid naar Noord-Nederland

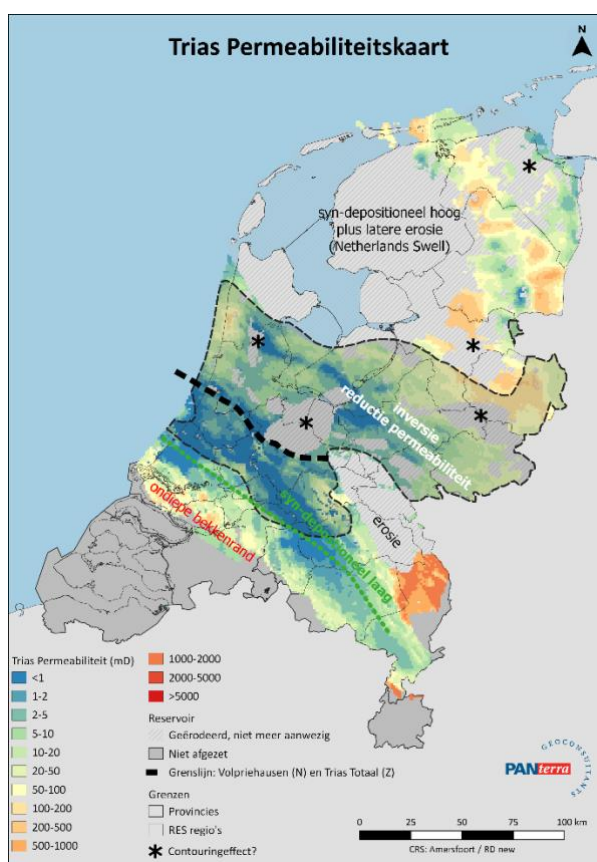
In het inversie gebied heeft de Trias veel dieper gelegen (Figuur 5-2) en is door tektonische bewegingen omhooggeduwd. Door de diepere begraving en hogere druk is het gesteente in elkaar gedrukt, waarbij de poriën (de ruimtes tussen de zandkorrels) in de zanden kleiner zijn geworden en de permeabiliteit is afgenomen. Daarna is door tektonische inversie het gesteente omhooggekomen tot haar huidige diepte.

De permeabiliteit is daardoor lager dan men op basis van de huidige begravingsdiepte zou verwachten. Daarom waren de resultaten van de Trias Westland put minder goed dan verwacht voor het Trias reservoir, en bevestigen dat voor dieper begraven reservoirs een lage permeabiliteit te verwachten valt. De outline van dit inversiegebied is aangegeven in Figuur 5-1.

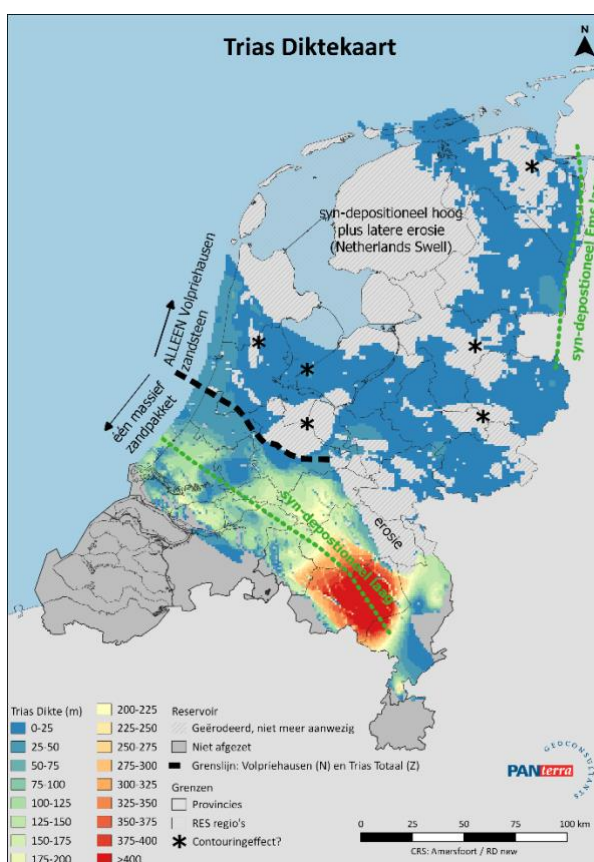
De permeabiliteit van de Trias zanden, welke redelijk gesorteerd zijn, is relatief goed in de niet omhooggekomen gebieden (buiten de inversiegebieden). De Trias permeabiliteitskaart is de P50-ThermoGIS v2.1 permeabiliteitskaart (Figuur 5-3). In Zuid-Nederland, langs de ondiepe bekkenrand varieert de permeabiliteit tussen de 50-200 mD met enkele kleine lokale uitschieters. Noord-Limburg heeft ook een hogere permeabiliteit in de Trias. De permeabiliteit ten oosten van de Roerdal slenk op het platform is vermoedelijk beter dan in de Roerdal slenk waar de begravingsdiepte van het Trias groter is. Uiteraard vertonen de inversiegebieden en de noordelijke bekkenrand van Zuid-Nederland lagere permeabiliteitswaarden. In Noord-Nederland tegen de Duitse grens, waar de Volpriehausen zandsteen dikker ontwikkeld is, is de porositeit ook hoger. Hier kan zelfs de Detfurth zandsteen een potentieel reservoir vormen. De permeabiliteitskaart laat in Noord-Nederland vele "gaten" zien. Deze zijn met een asterix (*) symbool geannoteerd. Deze gaten worden veroorzaakt doordat de Volpriehausen zandsteen hier slechts enkele meters dik is. De contouring software geeft dan abusievelijk gebieden aan waar geen zand meer is. Dat is een limitatie van de in sommige gevallen te grove contouring van ThermoGIS. Indien in deze gebieden een geothermisch project wordt overwogen is de sterke aanbeveling eerst alles in detail te her-evalueren.

5.2 Dikte van het Trias

De dikte van de Trias reservoirs is van groot belang voor de geothermie potentie. Zoals hierboven besproken is de dikte variatie aanzienlijk, met massieve zanden in het zuiden van Nederland en slechts één potentieel prospectief zandsteen (Volpriehausen) in het noorden. De andere (dan Volpriehausen) zanden in het noorden zijn te dun voor geothermie. Ook is het combineren van deze zanden voor een geothermisch project niet ideaal omdat de zanden gescheiden zijn door impermeabele kleien en verschillende permeabiliteit hebben. Dit kan de productie en injectie ernstig hinderen. Zoals eerder aangegeven is daarom alleen de Onder-Volpriehausen zandsteen meegenomen in de kaarten in Noord-Nederland (Figuur 5-4). Slechts lokaal is de Onder Volpriehausen zandsteen dikker dan 25 m en potentieel prospectief voor geothermie. Op enkele plekken in het oosten heeft ook de Detfurth genoeg dikte voor een potentieel geothermisch reservoir. Deze gebieden zijn aangegeven met een *- asterix. De zandsteen ligt hier echter vrij ondiep wat weer lage temperaturen tot gevolg heeft.



Figuur 5-3: Trias permeabiliteitskaart afgeleid van TNO (ThermoGIS v2.1, 2019). De * geeft aan dat de kaart hier onzeker is (vanwege een contouring effect).

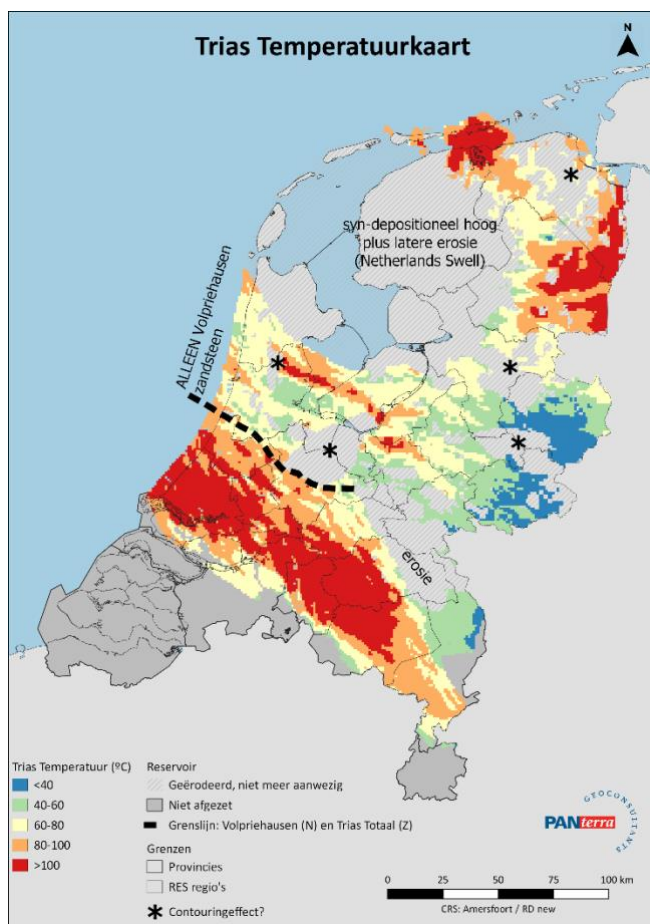


Figuur 5-4: Trias dikte kaart afgeleid van TNO (ThermoGIS v2.1, 2019). De * geeft aan dat de kaart hier onzeker is (vanwege een contouring effect).

5.3 Trias Temperatuur

De Trias temperatuurkaart is de P50 ThermoGIS v2.1 temperatuurkaart (Figuur 5-5). Zoals eerder vermeld staat de temperatuur van de aardlaag in direct verband geeft met de begravingdiepte. Hoe dieper de aardlaag, hoe hoger de temperatuur. In Nederland neemt de temperatuur ongeveer 3°C toe per 100 m diepte. De Trias ligt in Zuid-Nederland op een diepte van ongeveer 3000m. Enige variatie is het gevolg van hogere en lagere breukblokken. In de rest van Nederland ligt de Volpriehausen zandsteen ondieper op 1000-1500m met uitzondering bij Emmen waar de Trias dieper begraven ligt. In de Achterhoek is de verwachte temperatuur van de Trias 20-40°C en in het West Nederland Bekken meer dan 100°C. De Trias samengestelde temperatuur kaart van ThermoGIS is gebaseerd op de temperatuur van de diepste laag, de Volpriehausen. Daarom kan voor de CRS kaart ook in het Noorden, waar alleen naar het Volpriehausen reservoir wordt gekeken, de samengestelde temperatuurkaart van ThermoGIS volstaan.

Het asterix-symbool op de kaart (Figuur 5-5) geeft aan dat contouring effecten hier een rol gespeeld kunnen hebben. Omdat het Triaszand niet aanwezig is, wordt er in ThermoGIS ook geen temperatuur aangegeven.



Figuur 5-5: Trias Temperatuurkaart afgeleid van TNO (ThermoGIS v2.1, 2019). De * geeft aan dat de kaart hier onzeker is (vanwege een contouring effect).

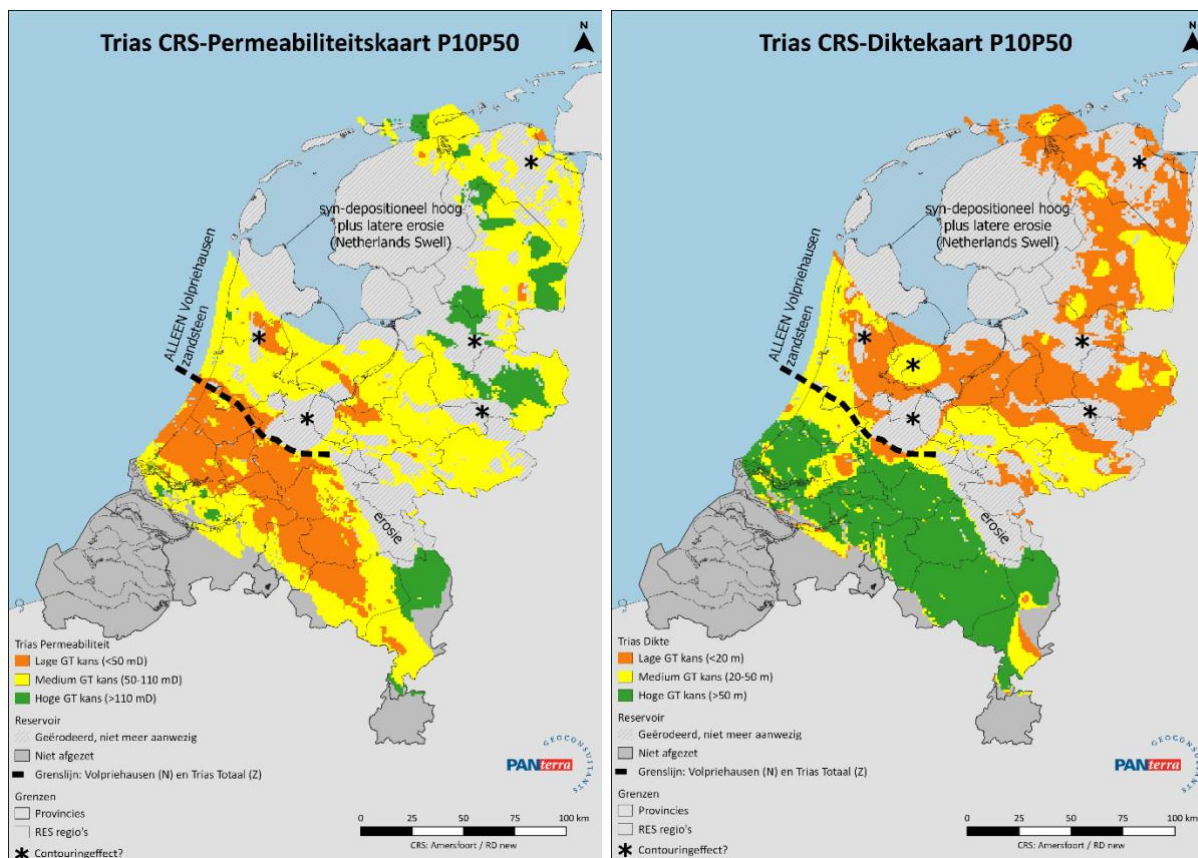
5.4 De Common Risk Segment Kaarten

De basiskaarten permeabiliteit, dikte en temperatuur worden omgezet in CRS-kaarten zoals beschreven in Hoofdstuk 2.1: De CRS-kaarten. Er worden kleuren groen, geel en oranje aangegeven voor de individuele kaarten om hier de kans op geothermie per geologische parameter in te schatten. De volgende individuele Trias Common Risk Segment kaarten zijn gemaakt.

5.4.1 Trias CRS Permeabiliteitkaart

De CRS permeabiliteitkaart (Figuur 5-6) laat de bekende drie kleuren zien. Waarden onder de 50 mD (P10-kaart) worden als lage kans voor geothermie beschouwd en zijn dus oranje gekleurd. Van 50 tot 110 mD is er een medium kans dat een geothermisch project zou kunnen werken en deze range is daarom geel gekleurd. Boven de 110 mD (P50-kaart) groen is er een hoge kans dat het Trias reservoir geschikt is voor geothermie. Het grootste deel van de Trias zanden is in eerste instantie ongeschikt voor geothermie door de lage permeabiliteit. Als de drempelwaarde voor de permeabiliteit in de toekomst verlaagd zou kunnen worden door bijvoorbeeld het ontwikkelen van stimuleringstechnieken, kunnen de relatief dikke Trias zanden in Zuid-Nederland mogelijk toch een interessant reservoir worden.

De CRS-kaart laat zien dat de dikke zanden in het West-Nederland Bekken een permeabiliteit hebben die maar een relatief lage kans voor geothermie (oranje) aanduidt. Aan de randen van dit bekken zien we een gele kleur met enkele groene vlekken erin. De rest van Nederland is voornamelijk geel met in Oost-Nederland meerdere gebieden met goede permeabiliteit (groen).



Figuur 5-6: Trias CRS kaart van de Permeabiliteit afgeleid van TNO (ThermoGIS v2.1, 2019). De * geeft aan dat de kaart hier onzeker is (vanwege een contouring effect).

Figuur 5-7: Trias CRS kaart van de dikte afgeleid van TNO (ThermoGIS v2.1, 2019). De * geeft aan dat de kaart hier onzeker is (vanwege een contouring effect).

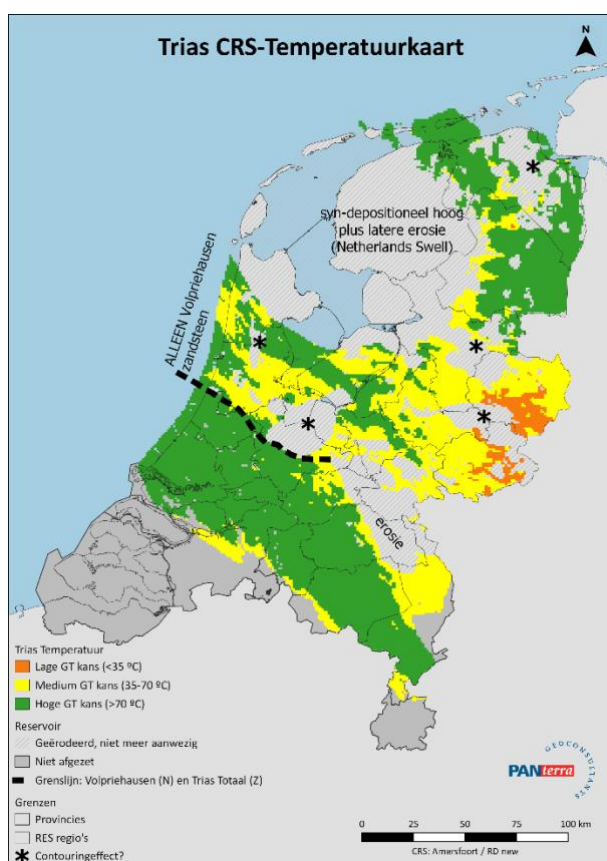
5.4.2 Trias CRS Diktekaart

Figuur 5-7 laat de CRS diktekaart in drie kleuren zien. Er is hier aangenomen dat debieten in de Trias minder zullen zijn dan in het Rotliegend. Daardoor zal een dünnere zandsteen later waterdoorbraak zal laten zien, en daarom is er hier geen 30 m (Rotliegend), maar 20 m dikte als ondergrens voor een potentiële geothermische ontwikkeling genomen. Als de dikte minder is dan 20 m (op de ThermoGIS P10 kaart) is er een verhoogde kans op vroege waterdoorbraak. Dit effect kan nog versterkt worden als er in zo'n dun reservoir nog enkele intervallen zijn (van hooguit enkele meters dikte) met een hoge permeabiliteit, omdat het water daar dan bij voorkeur doorheen gaat stromen. Gebieden waar het reservoir dünnere is dan 20 m krijgen een oranjekleur. Daar waar de zandsteen niet is afgezet wordt de kaart grijs (geen potentieel). Tussen de 20-50 m dikte bestaat er een medium kans op geothermisch potentieel en is de kaart geel gekleurd. Bij minder dan 50 m op de ThermoGIS P50 kaart bestaat er een hoge kans op geothermisch potentieel en krijgt de kaart een groene kleur. Plekken waar geen informatie is over de Trias zandsteen, maar waar deze wel aanwezig zou zijn op basis van regionale geologie staan op de kaart aangegeven met een asterix-symbool. In het gebied van de zogenaamde "Netherlands Swell" is de Trias grotendeels afwezig door erosie.

De Lower Volprieausen bereikt nog mogelijk interessante dikten aan de grens met Duitsland. In dit gebied is ook de Detfurth dikker (asterix) en kan hier mogelijk bijdragen aan het geothermisch potentieel.

5.4.3 Trias CRS Temperatuurkaart

De CRS temperatuurkaart (Figuur 5-8) wordt opgesplitst in 3 grote kleurgebieden. Waar de temperatuur lager is dan 35 °C (oranje) is er een lage kans op een geothermische ontwikkeling in het Trias. Bij temperaturen van 35 °C tot 70 °C (geel) bestaat er een medium kans dat er potentieel aanwezig is, maar is verdere studie noodzakelijk om dit aan te tonen. Bij temperatuur boven de 70 °C (groen) is er een hoge kans op geothermisch potentieel. Grote gebieden van het Trias zijn diep genoeg om goede temperaturen te genereren voor geothermisch gebruik. In Brabant en in het Westland worden temperaturen van boven de 100 °C gehaald.



Figuur 5-8: Trias CRS kaart van de Temperatuur afgeleid van TNO (ThermoGIS v2.1, 2019). De * geeft aan dat de kaart hier onzeker is (vanwege een contouring effect).

5.5 Trias Combined Common Risk Segment CCRS-kaart

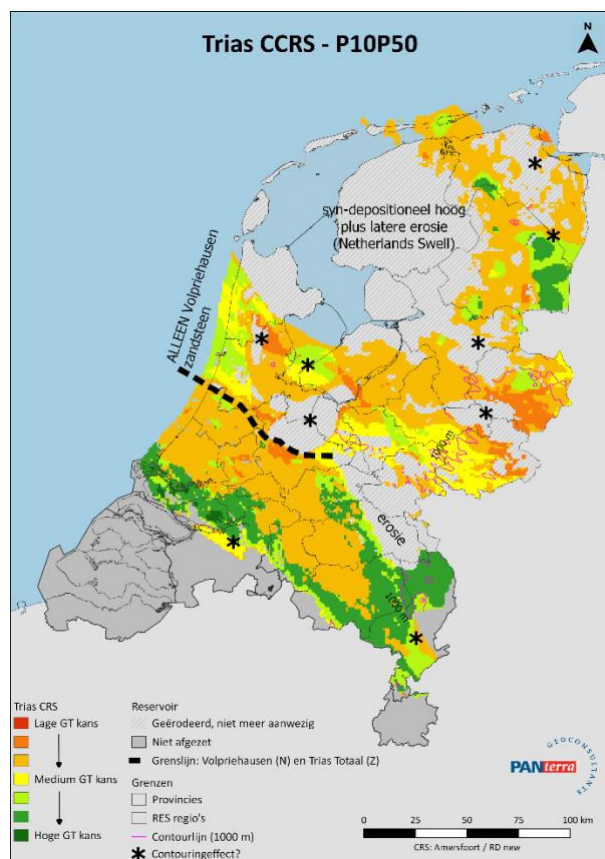
Uiteindelijk worden de 3 bovenstaande CRS-kaarten over elkaar heen gelegd en ontstaat de zgn. Combined Common Risk Segment (CCRS) kaart (Figuur 5-9). Deze kaart geeft aan waar geothermie toegepast kan worden met hogere, medium en lagere kans op succes. Deze kaart op de schaal van heel Nederland geeft onvoldoende detail voor geothermisch potentieel berekeningen en eventuele selectie van een geschikte ondergrondse putlocatie.

In de donkergroene gebieden lijken alle geologische parameters voldoende voor een geothermisch project. In de andere groen getinte gebieden is er een goede kans voor geothermische projecten, maar met enige onzekerheid omtrent een of twee van de geologische parameters.

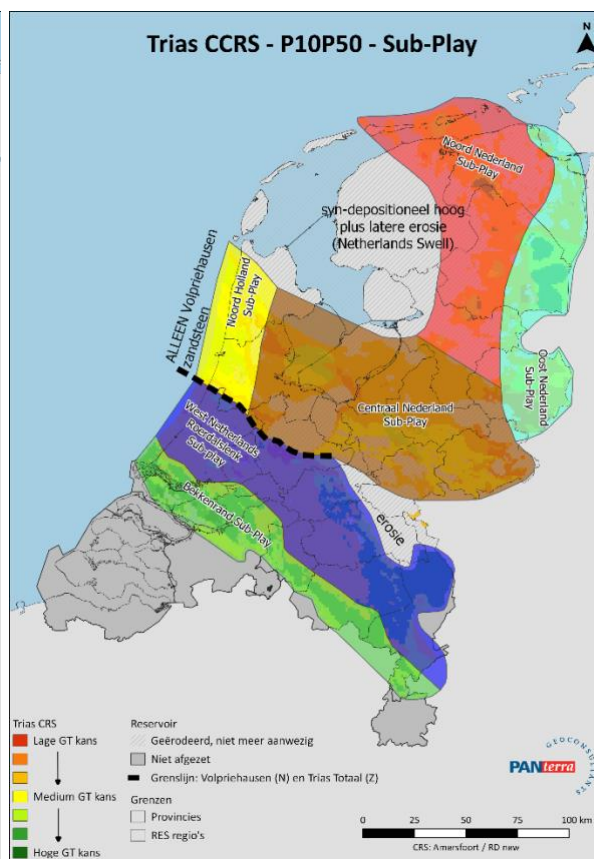
In de geel getinte gebieden kan geothermie werken, maar is meer studie en/of meer gegevens noodzakelijk om de geologische parameters en risico's beter te begrijpen. In de oranje gebieden lijken een of meer geologische parameters onvoldoende en hier zullen door aanvullende studie en gegevens vergaring gekeken moeten worden of er eventueel toch nog een kans bestaat op een redelijk geothermisch project. Mogelijk is één van de

parameters zo goed dat geothermie toch toegepast kan worden. In rode en grijze gebieden is geothermie niet mogelijk in dit reservoir. Zie ook Hoofdstuk 2.2.

De uiteindelijke Trias CCRS-kaart (Figuur 5-9) laat duidelijk zien dat de flanken van het West-Nederland bekken en de Roerdal slenk een hoge kans bieden op geothermisch potentieel (donkergroen). Ook in de omgeving Emmen, tegen de Duitse grens komt de donkergroene kleur voor. Aan de kust in Noord-Holland is ook een gereede kans op geothermisch potentieel. Verder zijn er lokale goede gebieden. Een effect van de optelling van verschillende kleuren in verschillende variaties is dat er enkele vreemde kleurschakeringen voorkomen. Bijvoorbeeld de groen en geelkleuren rond het eiland Pampus en in Noord-Limburg springen de kleuren van oranje naar groen zonder een gele overgang. Dat zien we ook aan de zuidrand van het W-Nederland bekken en is een effect van de optelling van de individuele CRS- kaarten waar contouring artefacten voorkomen. Zoals eerder vermeld is een detailstudie aan te raden in deze gebieden wanneer een geothermisch project gepland wordt.



Figuur 5-9: Combined CRS (CCRS) kaart van het Trias. De *geeft aan dat de kaart hier onzeker is (vanwege een contouring effect).



Figuur 5-10: Trias Sub-plays.

5.6 De Trias Sub-plays onderverdeling

De Trias-Play is op basis van gebieden met gelijkwaardige geologische parameters onderverdeeld in 6 sub-plays (Figuur 5-10). Twee belangrijke sub-plays bevinden zich in het zuidelijk deel van Nederland waar de Trias reservoirs van het massieve Main Buntsandstein interval een dik en vrij massief reservoir vormen: De West-Nederland en de Roerdal-Slenk sub-plays. De andere vier liggen noordelijker.

In deze gebieden heeft de Main Buntsandstein zich opgesplitst in een viertal afzonderlijke zandlagen waarvan de Lower-Volpriehausen Zandsteen het dikst ontwikkeld is en als enig reservoir plaatselijk meer dan 25 m dik is. Het

Noordelijk gebied is opgedeeld in de Noord-Holland, Centraal-Nederland, Noord-Nederland en Oost-Nederland Sub-plays op grond van structurele ligging en facies. Vooral de Oost Nederland Sub-play kan een belangrijke play blijken voor geothermische ontwikkeling.

5.6.1 De West Nederland Roerdal Slenk Sub-Play

Deze sub-play valt grotendeels samen met het gebied van het West-Nederland Bekken in Zuid-Holland en de Roerdal slenk. De Main Buntsandstein vormt hier een dik massief zandpakket, en voor deze sub-play wordt voor de diktekaart dan ook de som van alle Trias zandsteenkaarten genomen. In dit gebied komen er op veel van de structurele hoge locaties gasvelden voor. Het is gebleken dat de reservoir eigenschappen zoals porositeit en permeabiliteit in de gas-houdende Trias reservoirs iets beter zijn dan in de watervoerende reservoirs. De CCRS-kaart geeft overwegend een oranjekleur: niet direct een gebied voor een geothermisch project op basis van de Trias zanden. De bewezen en actieve geothermische reservoirs hier zijn Jura en Krijt zanden.

Het noordelijk deel van het West Nederland Bekken is tijdens het Laat Krijt sterk structureel geïnverteerd. De Trias reservoirs waren voor die inversie al tot grote diepte begraven, waardoor vooral in dat gebied de reservoir eigenschappen veelal zeer minimaal zijn. Het noordoostelijke deel van deze play op het platform ten oosten van de Roerdal slenk zal het reservoir beter zijn omdat het hier minder diep begraven is geweest.

5.6.2 De Bekkenrand Sub-Play

Deze sub-play ligt ten zuidoosten en in het verlengde van het West-Nederland bekken. Hoewel enige structurele inversie hier heeft plaatsgevonden, is die veel minder sterk geweest dan in het noordelijk deel van het West Nederland Bekken. Ook hier, dicht tegen de zuidrand van het afzettingsgebied van de Trias sedimenten, is de Main Buntsandstein een dik zandpakket; dikker dan in het West-Nederland Bekken en minder geïnverteerd waardoor porositeit en permeabiliteit ook veel beter bewaard gebleven zijn. Mogelijk kan een secundaire porositeitverbetering onder de afsnijding (BPU) hieraan bijgedragen hebben. De huidige diepte is groter, waardoor de permeabiliteit weer iets lager is. De kans op een geothermisch project in Trias zanden is hier relatief hoog.

5.6.3 De Oost-Nederland Sub-Play

Deze sub-play ligt tegen de grens met Duitsland in de Provincies Groningen, Drenthe en Overijssel. Dit gebied valt samen met het oostelijk deel van de het Ems Laag; een gebied van iets verhoogde bodemdaling gedurende de afzetting van het Trias, en waar het Onder Volpriehausen reservoir redelijk dik is. Ook de Onder Detfurth zandsteen kan lokaal redelijk goed ontwikkeld zijn. Andere Trias reservoir zanden zijn in het algemeen minder dan 10 m dik en door kleisteen pakketten gescheiden van de Volpriehausen en Detfurth. De kans op een geothermisch project uit de Trias is hier goed mogelijk, met de kanttekening dat de temperatuur wel relatief laag is. Opgemerkt dient nog te worden dat in het gebied tegen de Duitse grens aan overdrukken zijn waargenomen in de Trias zandstenen. Dit heeft een nadelig effect op de geschiktheid als geothermisch reservoir aangezien de benodigde injectiedrukken hoger zullen zijn dan bij hydrostatische druk. Daardoor zal de injectiedruk sneller op door SodM gestelde limieten komen en kan er minder geïnjecteerd worden.

5.6.4 De Noord-Nederland Sub-Play

Deze sub-play bestrijkt voornamelijk delen van Groningen en Drenthe direct ten westen van het Ems Laag. Alhoewel de Onder Volpriehausen hier aanwezig is, is hij slechts dun ontwikkeld en de andere Trias zanden zijn nog dunner. De kans op een geothermisch project uit de Trias is hier minimaal tot afwezig.

5.6.5 Het Centraal Nederland Sub-Play

In het gebied van de Centraal Nederland Sub-Play zijn de Trias reservoirs ook vrij dun ontwikkeld. Bovendien is dit gebied sterk geïnverteerd gedurende het Laat Krijt wat een negatief effect heeft gehad op de permeabiliteit. De

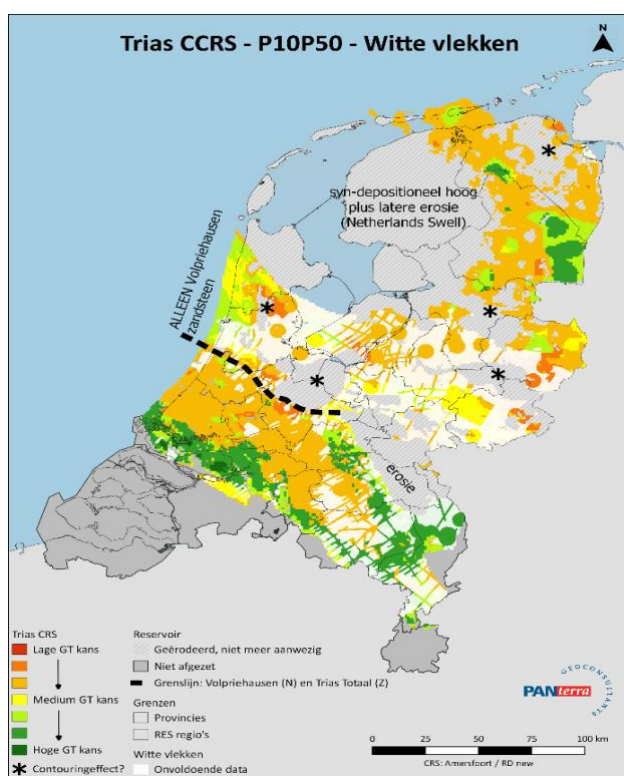
grens met de Nood Nederland Sub-Play komt overeen met de grens van het gebied dat sterk is geïnverteerd. De kans op een geothermisch project uit de Trias is hier minimaal tot afwezig.

5.6.6 De Noord-Holland Sub-Play

Deze sub-play bestrijkt voornamelijk Noord-Holland. Net als in Oost Nederland biedt de Volpriehausen hier enig perspectief. De dikte van dit reservoir neemt toe richting het westen en de permeabiliteit is in het algemeen voldoende. Doordat hier de Trias niet erg diep begraven ligt is de verwachte watertemperatuur relatief laag. Het is hier misschien mogelijk om lage temperatuur geothermie te ontwikkelen.

5.7 Effect van gegevensdichtheid/kwaliteit op het gebruikte CRS- en CCRS-model

Ook voor de Trias zijn gebieden met minder gegevens aangegeven als witte vlekken (zie paragraaf 2.3). De beperkte hoeveelheid gegevens levert extra onzekerheid op betreffende de te verwachten geologie. Extra studies kunnen deze onzekerheid mogelijk verminderen. De data hoeveelheid is weergegeven op Figuur 5-11. Grote delen van de play-gebieden Centraal en West Nederland liggen in het witte vlekken gebied.



Figuur 5-11: Witte vlekken kaart gepositioneerd op de Trias CCRS kaart afgeleid van TNO (ThermoGIS v2.1, 2019). De Trias onder deze witte vlekken is grotendeels niet prospectief, maar er zijn enkele gebieden geel en licht groen gekleurd. Deze gebieden kunnen mogelijk interessant zijn voor nader onderzoek. De * geeft aan dat de kaart hier onzeker is (vanwege een contouring effect).

6. De Jura Play

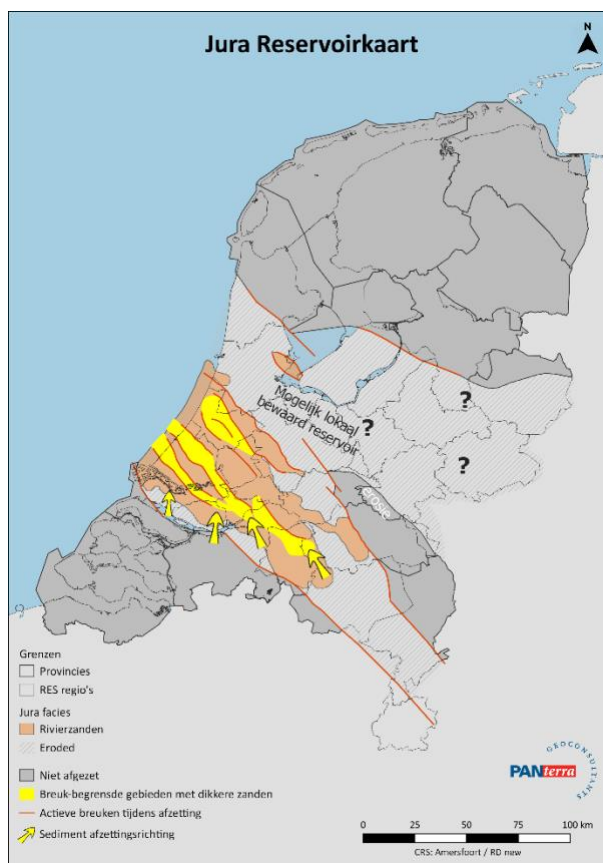
De Jura Play is alleen lokaal aanwezig in Nederland: in het West Nederland Bekken. In het Westland zijn al meer dan tien geothermische doubletten met succes in productie genomen. De gesteenten zijn afgezet in de Jura-periode (199 – 145 miljoen jaar geleden) en bestaan uit kleistenen, zilt, mergel en zandstenen. ThermoGIS heeft enkel informatie over de voor geothermie belangrijke ondergelegen (diepere) Alblasserdam en de bovengelegen (ondiepere) Delft zandstenen van de Nieuwerkerk Formatie afgezet tijdens het Boven Jura (Schieland Groep in Figuur 1-1). Vaak wordt de Onder Krijt Berkel zandsteen ook in geothermische doubletten gebruikt, maar wordt in dit rapport in het hoofdstuk over de Krijt-play beschreven. Meer informatie over dit tijdperk en de afgezette gesteenten kan men vinden op www.dinoloket.nl.

In ThermoGIS worden Delft en Alblasserdam Formaties als één pakket beschreven. Over het algemeen produceren in het Westland de geothermie putten uit de Delftzanden. De Alblasserdamzanden hebben een duidelijk mindere reservoir kwaliteit, en produceren slechts in één doublet in Maasland. De Delft Formatie komt voornamelijk voor in het Westland, en wordt naar het oosten dunner en lastiger te onderscheiden. De Alblasserdam is overal in verschillende diktes aanwezig. De Delft- en de Alblasserdamzanden zijn beide als rivierzanden afgezet.

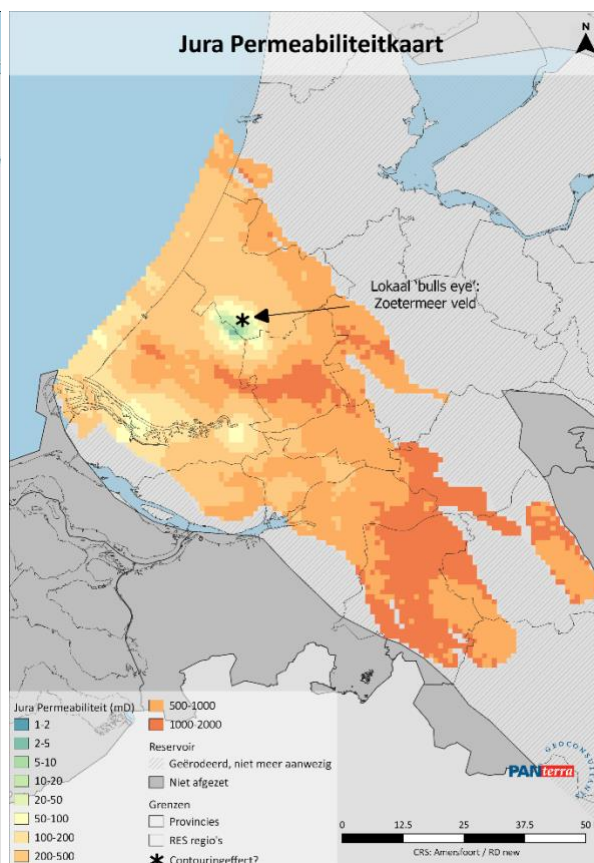
6.1 Permeabiliteit en Afzettingsmilieu

De schematische reservoirkaart van de Jura (Figuur 6-1) laat duidelijk zien dat de rivierzanden alleen in het Westland voorkomen. De sedimentaanvoer kwam uit het zuidoosten vanuit de Roerdal slenk richting het Noordzeebekken. Door lokale breukbeweging ontstonden er hogere en lagere gebieden, zgn. horsten en slenken. In de lagere (slenk) gebieden zijn de rivierzanden grotendeels afgezet. Karakteristiek voor rivierzanden is dat de dikte van de zanden lokaal sterk varieert. Hierdoor kan de hoeveelheid (netto) zand t.o.v. de hoeveelheid klei binnen het gehele Delft- of Alblasserdam Formatie verschillen. Dit geldt vooral voor de Alblasserdam Formatie; de Delft Formatie is wat minder variabel.

Buiten het Westland is de Jura Play niet afgezet of geërodeerd. Mogelijk zijn er ten Noorden van het Westland nog enkele zanden bewaard gebleven, maar daar is onvoldoende duidelijke informatie over. Omdat de Jura-play zich voornamelijk in het West Nederlandbekken bevindt zijn de kaarten in dit hoofdstuk op dit gebied ingezoomd.



Figuur 6-1: Delft en Alblasserdam (Jura) reservoir en afzettingmilieu. Gebaseerd op gegevens van de Southern Permian Basin Atlas (TNO, Doornenbal, & Stevenson, Petroleum Geological Atlas of the Southern Permian Basin Area, 2010).



Figuur 6-2: Delft en Alblasserdam (Jura) permeabiliteitskaart afgeleid van TNO (ThermoGIS v2.1, 2019). De * geeft aan dat de kaart hier onzeker is (vanwege een contouring effect).

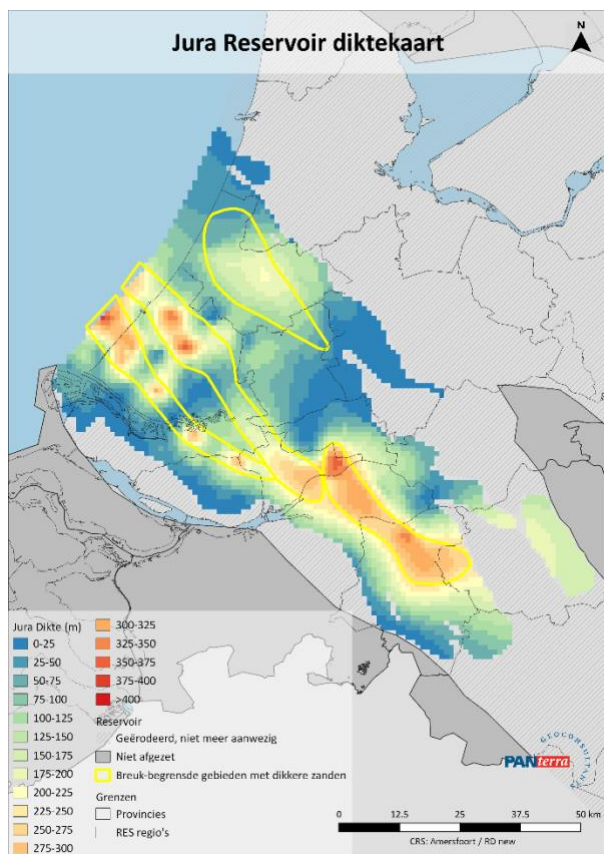
De ThermoGIS permeabiliteitskaart van de gecombineerde Delft en Alblasserdam zanden (Figuur 6-2) geeft aan dat de zanden een redelijke tot zeer goede permeabiliteit hebben. Onzekere contouring laat een zgn. bulls-eye zien rond het oude gasveld Zoetermeer, waar de waarden onder de algemene permeabiliteitswaarden liggen. Hier zal meer aandacht aan gegeven moeten worden wanneer er sprake is van een geothermisch project in dit gebied. Mogelijk is hier de Delft niet aanwezig, of er is mogelijk een andere, niet geologische oorzaak (contouring effect).

Ook de Delft en Alblasserdam zijn door inversie opgeheven en oorspronkelijk dieper begraven geweest. De begravingdieptes hebben voor deze twee formaties echter een minder desastreuze invloed gehad op porositeit en permeabiliteit dan voor de Trias en Rotliegend die dieper begraven zijn geweest.

6.2 Dikte van de Jura

De Jura diktekaart (Figuur 6-3) laat duidelijk grote dikteverschillen zien. De Jura zanden variëren van dik in het centrum van het bekken tot heel dun aan de randen. Op de ThermoGIS-kaart zijn geen breuken aangegeven waardoor er op de dikte contourkaart snelle veranderingen zichtbaar zijn welke in werkelijkheid veroorzaakt worden door dikte variaties tussen de slenken en horstblokken langs NW-ZO lopende breuken. De breuken zijn dus in dit gebied van groot belang omdat ze bepalend zijn voor de zanddikte. Daar waar de zanden afgezet zijn in lage breukblokken zijn ze dik ontwikkeld (geel omrande gebieden). In de hogere breukblokken zijn ze veel dunner (blauwe gebieden). De slenken volgen de structurele noordwest-zuidoost breuktrend.

ThermoGIS neemt de breuken helaas niet volledig mee in de contouring van de dikte waardoor er zo genoemde bulls-eyes in de contouring ontstaan. De grabens, met dikkere zanden, zijn schematisch aangegeven met gele lijnen. Het mag duidelijk zijn dat de ondergrondse informatie in detail geanalyseerd dient te worden wanneer een geothermisch project gepland wordt in het Westland omdat de breukposities en zand dikten van groot belang zijn.

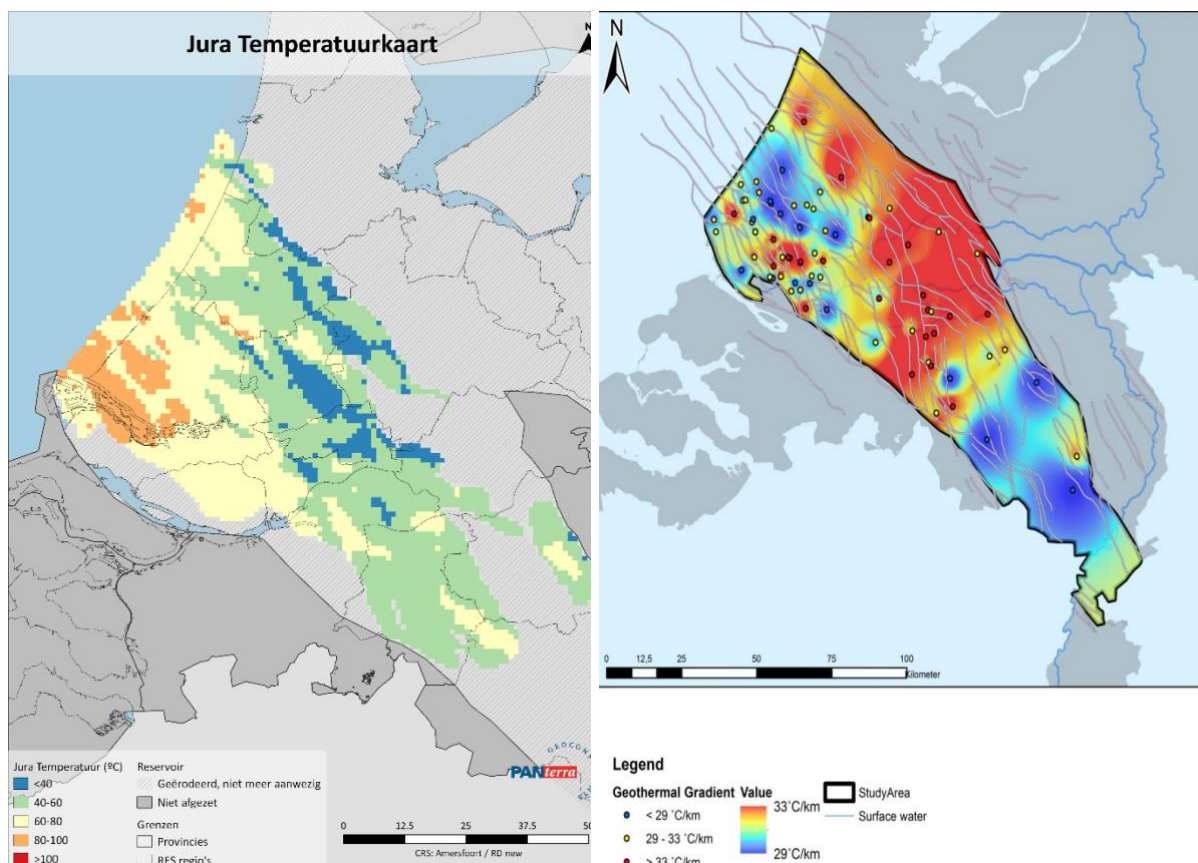


Figuur 6-3: Delft en Alblasserdam (Jura) dikte kaart afgeleid van TNO (ThermoGIS v2.1, 2019).

6.3 Jura Temperatuur

De temperatuurkaart (Figuur 6-4) geeft aan dat de temperatuur tussen de 40 en 100 °C varieert. In het algemeen nemen de diepte en temperatuur toe van het zuidoosten naar het noordwesten. De hogere temperatuur is een gevolg van de grotere diepte van de reservoirzanden tussen Rotterdam en Den Haag. Lokale variaties in temperatuur worden veroorzaakt door de breukblokken waar het Jura zand dieper of ondieper ligt.

De temperatuurgradiënt kan lokaal verschillen, zoals blijkt uit een detailstudie van D. Stegers (Stegers, 2018) voor de kennisagenda van 2018 (Figuur 6-4). Stegers heeft een gradiënt kaart gemaakt voor de Roerdal Slenk en het West-Nederlandbekken die grote verschillen in gradiënten laat zien van minder dan 29°C/1000m tot lokaal meer dan 33°C/1000m. Zelfs een gradiënt van 39°C/1000m is waargenomen. Deze verschillen lijken niet veel, maar op een diepte van 2,500 meter leidt dit diepte verschil al snel tot meer dan 10 °C temperatuurverschil. Daarom is het belangrijk voor lokale studies ook de lokale temperatuurgradiënt mee te nemen omdat de temperatuurgradiënt lokaal kan verschillen over geologische breuken in bekkens en horstblokken.



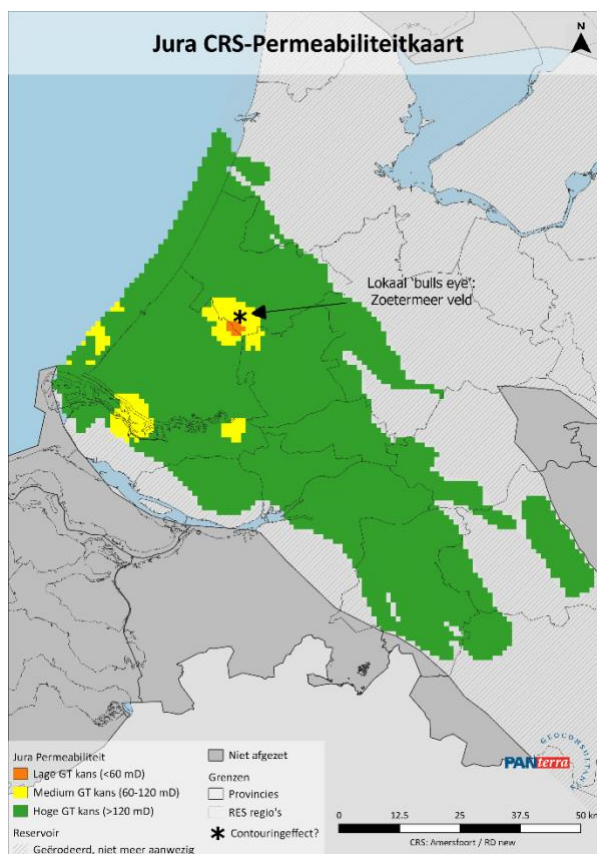
Figuur 6-4: Links: Delft en Alblasserdam (Jura) Temperatuurkaart afgeleid van TNO (ThermoGIS v2.1, 2019). Rechts een temperatuurgradiënt kaart (Stegers, 2018, figuur 38). Deze kaart laat verschillen in gradiënten zien die niet zijn verwerkt in de ThermoGIS kaart

6.4 De Common Risk Segment Kaarten

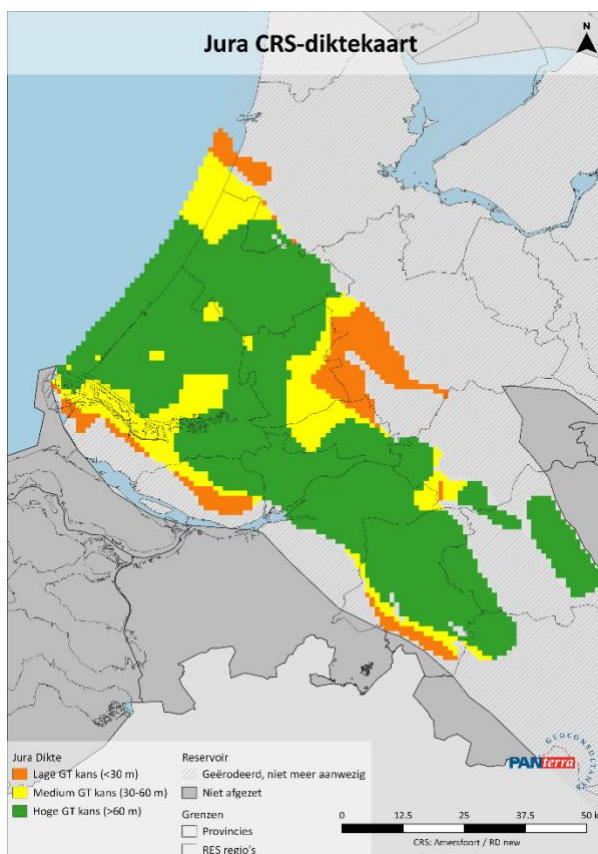
De basiskaarten permeabiliteit, dikte en temperatuur worden omgezet in CRS-kaarten zoals beschreven in Hoofdstuk 2.1: De CRS-kaarten. Er worden kleuren groen, geel en oranje aangegeven voor de individuele kaarten om hier de kans op geothermie per geologische parameter in te schatten. De volgende individuele Jura Common Risk Segment kaarten zijn gemaakt.

6.4.1 Jura CRS Permeabiliteitskaart

De CRS-permeabiliteitskaart (Figuur 6-5) geeft aan dat het gehele Westland met uitzondering van de Zoetermeer gasveld bulls-eye (een contour-artefact) uitstekend geschikt is voor geothermie.



Figuur 6-5: Delft en Alblasserdam (Jura) CRS-Permeabiliteitskaart afgeleid van TNO (ThermoGIS v2.1, 2019). De * geeft aan dat de kaart hier onzeker is (vanwege een contouring effect).



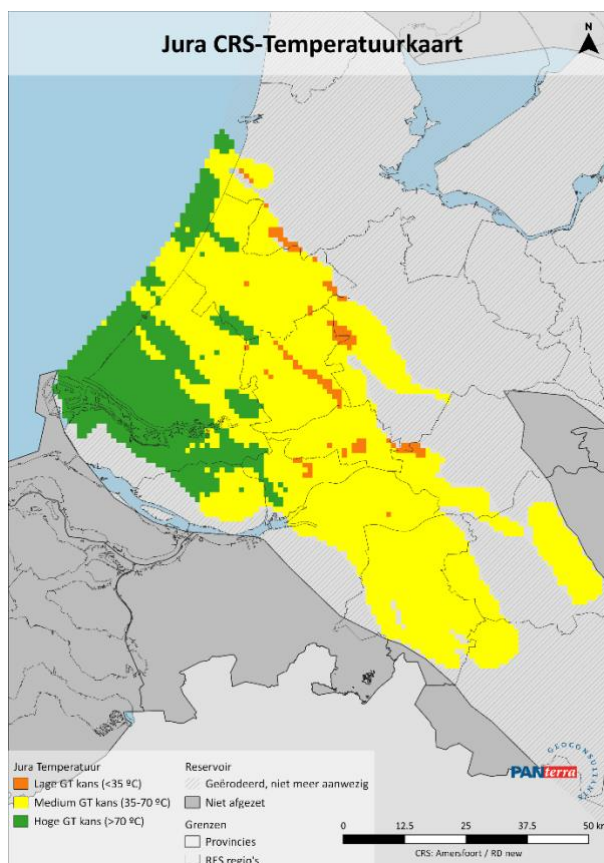
Figuur 6-6: Delft en Alblasserdam (Jura) CRS kaart van de dikte afgeleid van TNO (ThermoGIS v2.1, 2019).

6.4.2 Jura CRS Diktekaart

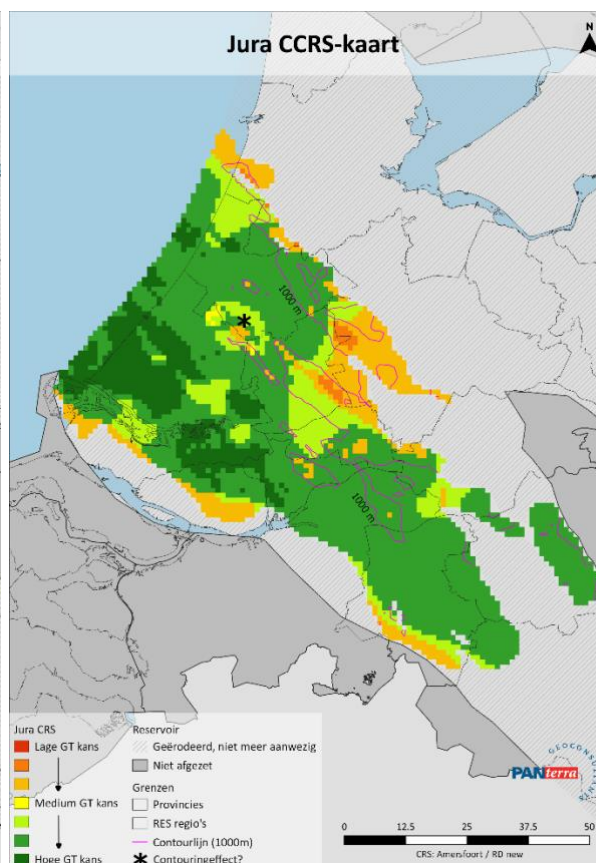
De CRS-diktekaart (Figuur 6-6) laat zien dat er in het midden van het West-Nederlandbekken een hogere kans voor geothermie bestaat en dat aan de randen de kansen kleiner worden. De gele vlekken binnen het grote groen geven aan dat de zanddikte door de lokale breuken beïnvloed is. Dit kan op kaarten van deze schaal uit ThermoGIS niet in detail worden weergegeven zoals eerder vermeld.

6.4.3 Jura CRS Temperatuurkaart

De CRS-Temperatuurkaart (Figuur 6-7) laat zien dat in de diepste delen van het West-Nederlandbekken de temperatuur goed is voor geothermie. De aanwezige doubletten produceren allen met een temperatuur van 60 tot wel 85 °C. De noordwest-zuidoost trend richting wordt door de breukrichting bepaald.



Figuur 6-7: Delft en Alblasserdam (Jura) CRS kaart van de temperatuur afgeleid van TNO (ThermoGIS v2.1, 2019).



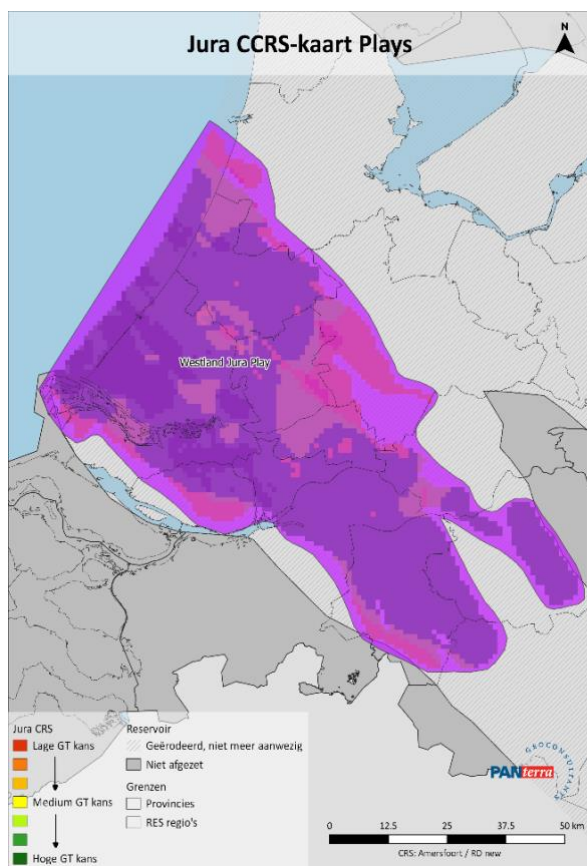
Figuur 6-8: Combined CRS (CCRS) kaart van de Delft en Alblasserdam (Jura). De * geeft aan dat de kaart hier onzeker is (vanwege een contouring effect).

6.5 Jura Combined Common Risk Segment CCRS-kaart

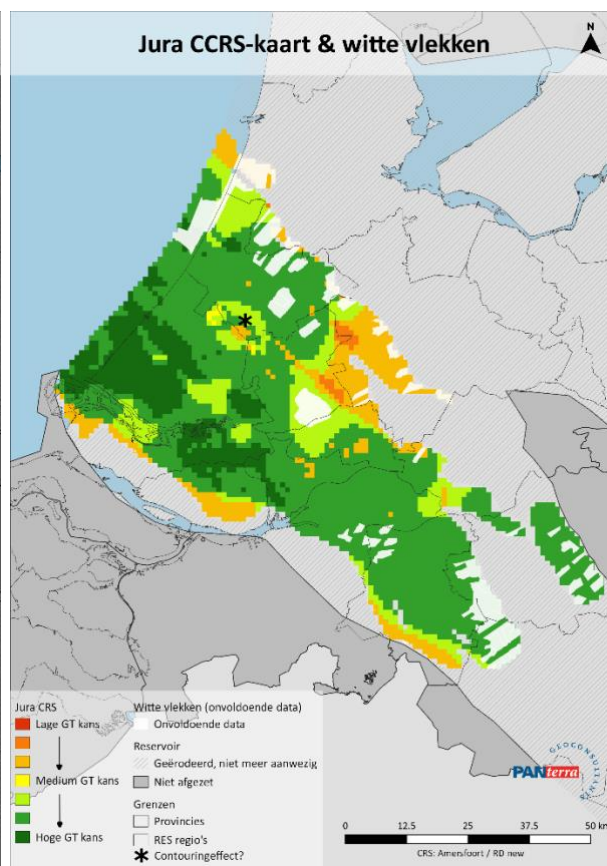
De gecombineerde CCRS-kaart (Figuur 6-8) laat zien dat er in het gehele West-Nederlandbekken een hoge kans is op geothermisch potentieel. Aan de randen van het bekken wordt die kans snel minder. Ook hier hebben de breukblokken invloed op de kans voor geothermisch potentieel. Het blijft dus van belang om een goede detailkaart van eventuele projectlocaties te maken om in dit geval de beste breukblokken te kunnen identificeren. Dit is ook gebeurd voor de meeste geplande en geboorde doubletten.

6.6 De Jura Sub-plays onderverdeling

In het Westland is de geologie van de Boven Jura redelijk regelmatig en zijn er geen sub-plays gedefinieerd. De verwachting is dat verder geothermisch onderzoek zal leiden tot uitsplitsing van Delft en Alblasserdam en de kartering van de begravingsgeschiedenis tot meerdere sub-plays zal leiden. Voorlopig is ervoor gekozen het Westland voor de Jura als één play te zien: De Westland Jura Play.



Figuur 6-9: Delft en Alblasserdam (Jura) Sub-play. In deze groep zijn (nog) geen sub plays gedefinieerd, en het hele play gebied is paars aangegeven.



Figuur 6-10: Witte vlekken kaart gepositioneerd op de Delft en Alblasserdam (Jura) CCRS kaart afgeleid van TNO (ThermoGIS v2.1, 2019).

6.7 Effect van gegevensdichtheid/kwaliteit op het gebruikte CRS- en CCRS-model

In Figuur 6-10 wordt de gegevensdichtheid meegenomen en komen er "witte vlekken" voor in Brabant en in het noorden van het gebied. In het West Nederland zijn er bij de exploratie en productie van gas en olie velden veel geologische gegevens van de ondergrond verzameld. Het gebied is grotendeels bedekt met moderne 3D seismiek waardoor de gegevensdichtheid en kwaliteit uitstekend zijn. Geen wonder dat hier (vooral in het Westland) al vele geothermische doubletten produceren door de combinatie van een goed geothermisch potentieel, goede gegevens en de aanwezigheid van tuinbouw.

7. De Onder-Krijt Play

Tijdens de Onder-Krijtperiode (ongeveer 150-117 miljoen jaar geleden) bleef ten westen van Nederland de zeebodem verder zakken. Dit gebied bleef zich vullen met sedimenten. De aanvoer van het sediment kwam nog steeds voornamelijk uit het zuiden en zuidwesten. In het West Nederlandbekken bleef de sedimentatie van zanden, mergel en kleisteen doorgaan. De Onder-Krijt kustlijn lag veel verder landinwaarts dan de huidige.

Omdat het West-Nederland Bekken nabij de toenmalige kust lag zijn er juist daar kustnabije goed gesorteerde permeabele zanden afgezet. Omdat deze zanden uniek zijn voor het Westland hebben ze hier individuele namen gekregen: de Rijswijk-, Berkel-, IJsselmonde-, de Lier en Holland/Spijkernisse Members (Figuur 7-2). Deze zijn onderdeel van de Onder-Krijt Rijnland Groep. De vijf members zijn weer onderdeel van de Vlieland Zandsteen Formatie en worden later apart besproken in het West-Nederland Bekken beschrijving in Hoofdstuk 7.8.

In de rest van Nederland zijn er tijdens het Onder Krijt alleen in het noordelijke deel van Nederland (zoals o.a. rond Emmen) kustnabije zanden bewaard gebleven welke in ThermoGIS samengevat worden als Friesland & Bentheim Zandsteen. Hier komt zeer plaatselijk in Twente de Gildehaus Zandsteen voor welke in Gildehausen (Duitsland) gewonnen is voor de productie van bouwsteen. ⁸De Bentheim en Gildehaus zandstenen komen alleen in het gebied rond Emmen en Enschede voor. In Groningen, Friesland en Noord-Holland, dus ver weg van de zuidelijke kustlijn in de toenmalige open zee, zijn zanden afgezet op momenten dat er een grotere hoeveelheid zand door de rivieren werd aangevoerd. Deze zanden zijn over het algemeen dun, liggen tussen mariene kleisteen in, en zijn slechts zeer lokaal geschikt voor geothermische ontwikkeling.

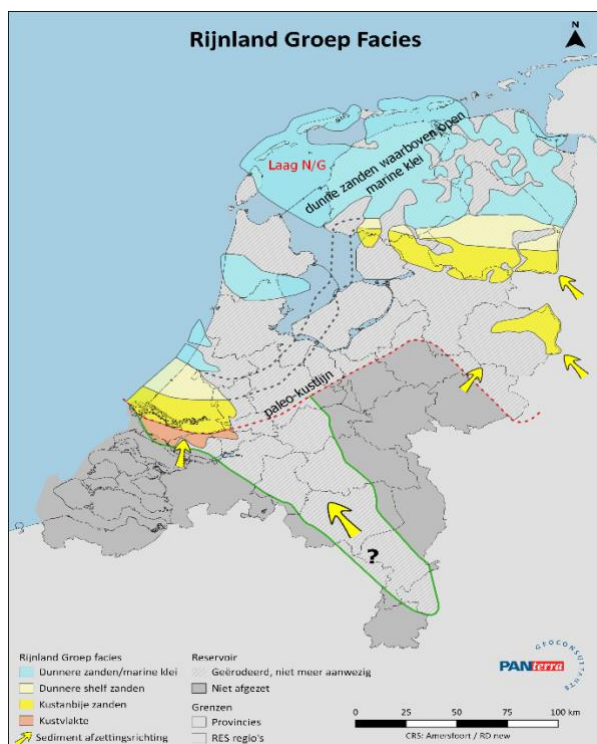
In grote delen van Nederland zijn de Krijtzanden door latere erosie afwezig (lichtgrijs op figuur 7-1) Meer informatie over dit tijdperk en de afgezette gesteenten kan men vinden op www.dinoloket.nl.

7.1 Permeabiliteit en afzettingsmilieu

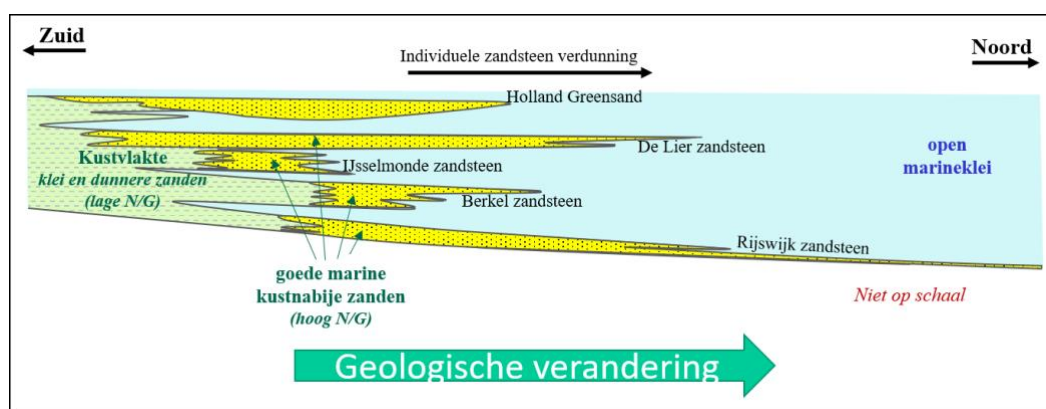
De totale Rijnland Groep zandstenen is afgezet langs de toenmalige kust, de paleo-kustlijn is schematisch aangegeven in Figuur 7-1. Deze zanden zijn goed gesorteerd dicht bij de kust (gele kleur op onderstaand figuur) en verder van de kust komen ze voor als dunnere en slecht gesorteerde zanden waar een lage netto/bruto zandratio te verwachten is (lichtblauwe kleur in onderstaand figuur). In het West-Nederlandbekken heeft een fluctuerende zandaanvoer vanuit de Belgische Ardennen via de Roerdal slenk plaatsgevonden waardoor hier verschillende zanden afgezet zijn (gele kleuren op de onderstaande kaart). Deze zandafzettingen hebben allen een eigen geologische naam gekregen vanwege hun kwaliteit en door de interesse vanuit de olie- en gasindustrie in het West-Nederlandbekken. Figuur 7-2 geeft deze verschillende zanden schematisch weer.

In het noorden van Nederland zijn de Onder-Krijt zanden afgezet in dieper zeewater waardoor de zanden fijnkorrelig zijn, meer klei bevatten en de permeabiliteit (Figuur 7-3) aan de lage kant is. In het gebied rond Emmen levert de relatief goede permeabiliteit van zowel de Gildehaus zandsteen als ook de Bentheim zandsteen een positieve bijdrage aan de Friesland Member (ThermoGIS). Deze twee zanden zijn overigens dicht bij de kust afgezet, net zoals de zanden in het West Nederland Bekken. De laatste zijn afgezet als aan de kust en in een ondiepe zee (strandzanden en zandbanken). De zanden zijn schoon, goed gesorteerd en hebben daardoor goede reservoir kwaliteiten. De permeabiliteit is in het algemeen goed tot zeer goed met waarden van 100 mD tot lokaal 1000 mD.

⁸ De Bentheimer zandsteen was ook een geliefde bouwsteen die in groeves nabij Bad Bentheim is gewonnen. Het Paleis op de Dam in Amsterdam is onder andere van deze Bentheimer zandsteen gebouwd. Deze beide zanden zijn van goede kwaliteit en redelijk poreus waardoor ze makkelijk te bewerken waren.



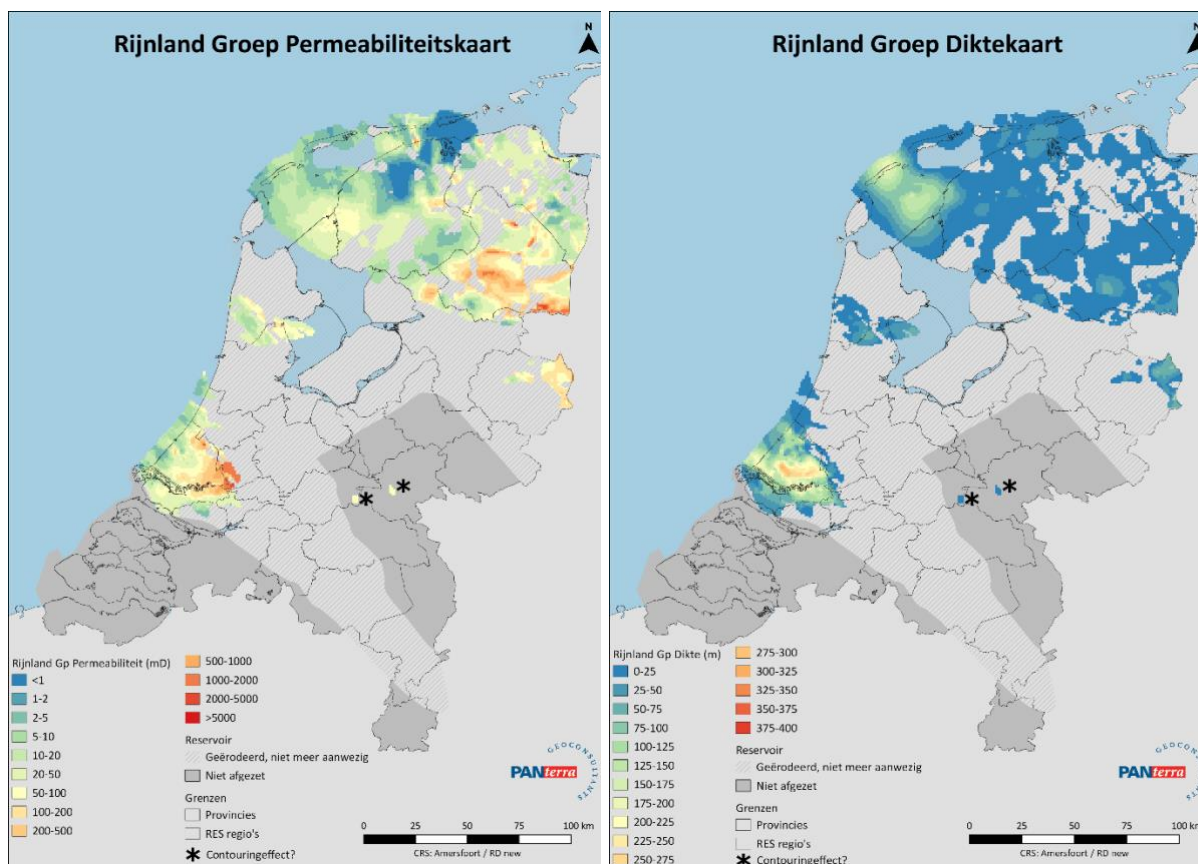
Figuur 7-1: Paleogeografie van het Onder Krijt. Gebaseerd op gegevens van de Southern Permian Basin Atlas (TNO, Doornenbal, & Stevenson, Petroleum Geological Atlas of the Southern Permian Basin Area, 2010).



Figuur 7-2: De individuele zanden van het Onder Krijt

De gezamenlijke kaarten van de twee verschillende gebieden, West-Nederlandbekken en Noord-Nederland worden hieronder besproken en ook wordt de kans op geothermisch potentieel bepaald volgens de aanpak beschreven in Hoofdstuk **Error! Reference source not found.** Daarna zal er in het Westland worden ingezoomd op de individuele zanden van de Rijnland groep (Paragraaf 7.8).

De permeabiliteitskaart (Figuur 7-3: Rijnland zanden permeabiliteit kaart Figuur 7-3) laat in rode en oranje kleuren goede permeabiliteit zien.



Figuur 7-3: Rijnland zanden permeabiliteit kaart afgeleid van TNO (ThermoGIS v2.1, 2019). De * geeft aan dat de kaart hier onzeker is (vanwege een contouring effect).

Figuur 7-4: Rijnland zanden dikte kaart afgeleid van TNO (ThermoGIS v2.1, 2019). De * geeft aan dat de kaart hier onzeker is (vanwege een contouring effect).

7.2 Dikte van de Onder Krijt

In het noorden van Nederland zijn de Onder-Krijt zanden afgezet in dieper zeewater verder van de toenmalige kust waardoor de zanden dun en niet overal gelijkmatig afgezet zijn. Een relatief dikker zand tussen Vlieland en Harlingen is aangegeven in ThermoGIS (Figuur 7-4). In het overige noordelijke gebied zijn deze Friesland zanden dunner ontwikkeld.

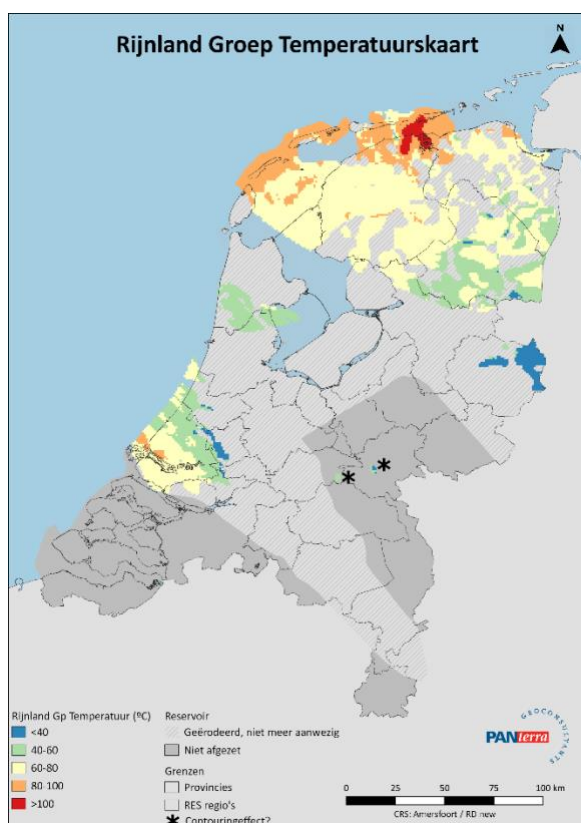
In het West-Nederlandbekken kunnen de verschillende zanden, genaamd de Rijswijk-, Berkel-, IJsselmonde-, de Lier en Holland/Spijkernisse Members (Figuur 7-2) tot wel 100m dik zijn. De zanden zijn afgezet als stroken parallel aan de toenmalige kustlijn, en hebben een beperkte breedte in noord-zuid richting. Hier en daar liggen de zanden boven op elkaar en kan de totale dikte oplopen tot zo'n 300m.

Enkele vraagtekens moeten gesteld worden bij de *-symbolen op de kaart rond het gebied van Nijmegen. De kaart suggereert hier zeer lokale aanwezigheid van de zanden.

7.3 Onder Krijt temperatuur

In Noord-Nederland is de temperatuur (Figuur 7-5) rond de Waddeneilanden met 80-100 °C ruim voldoende voor geothermische toepassing. Ook in het gebied rond Delfzijl worden (zeer) hoge temperaturen verwacht. In het gebied rond Emmen en Enschede liggen de temperaturen van de Gildehaus- en Bentheimer zanden wat lager vanwege de ondiepere begraving van deze zanden.

In het West-Nederland Bekken zijn de temperaturen lager door de geringere diepte van de Onder Krijt lagen. Daardoor is in het Westland de diepere Jura Delft Member een meer geliefd geothermisch reservoir dan de Onder Krijt zanden. Maar zeker in het havengebied van Rotterdam en ten noorden van de Nieuwe-Waterweg kunnen ook de Onder Krijt zanden lokaal temperaturen van meer dan 80 °C bereiken. Deze diepere begraving komt vooral voor in de dieper gedaalde slenken.



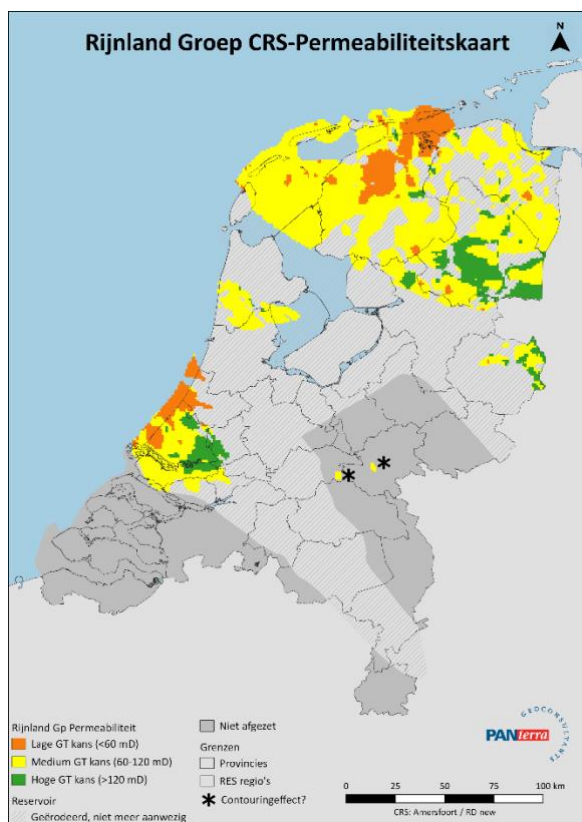
Figuur 7-5: Rijnland zanden temperatuur kaart afgeleid van TNO (ThermoGIS v2.1, 2019). De * geeft aan dat de kaart hier onzeker is (vanwege een contouring effect).

7.4 De Common Risk Segment kaarten

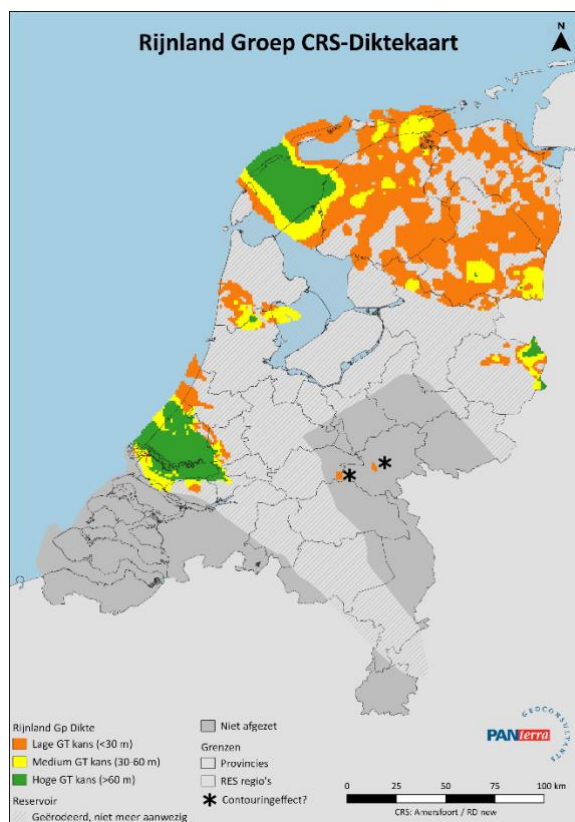
De basiskaarten permeabiliteit, dikte en temperatuur worden omgezet in CRS-kaarten zoals beschreven in Hoofdstuk 2.1. Er worden kleuren groen, geel en oranje aangegeven voor de individuele kaarten om hier de kans op geothermie per geologische parameter in te schatten. De volgende individuele Onder-Krijt Common Risk Segment kaarten zijn gemaakt.

7.4.1 Onder-Krijt CRS permeabiliteitskaart

De CRS permeabiliteitkaart geeft aan dat in het West -Nederland Bekken de permeabiliteit mogelijk tot voldoende is voor geothermie met een wat lagere kans in de gebieden langs de kust. In Friesland en Overijssel is de permeabiliteit eveneens lokaal voldoende.



Figuur 7-6: Rijnland zanden CRS permeabiliteitskaart afgeleid van TNO (ThermoGIS v2.1, 2019). De * geeft aan dat de kaart hier onzeker is (vanwege een contouring effect).



Figuur 7-7: Rijnland zanden CRS diktekaart afgeleid van TNO (ThermoGIS v2.1, 2019). De * geeft aan dat de kaart hier onzeker is (vanwege een contouring effect).

7.4.2 Onder-Krijt CRS Diktekaart

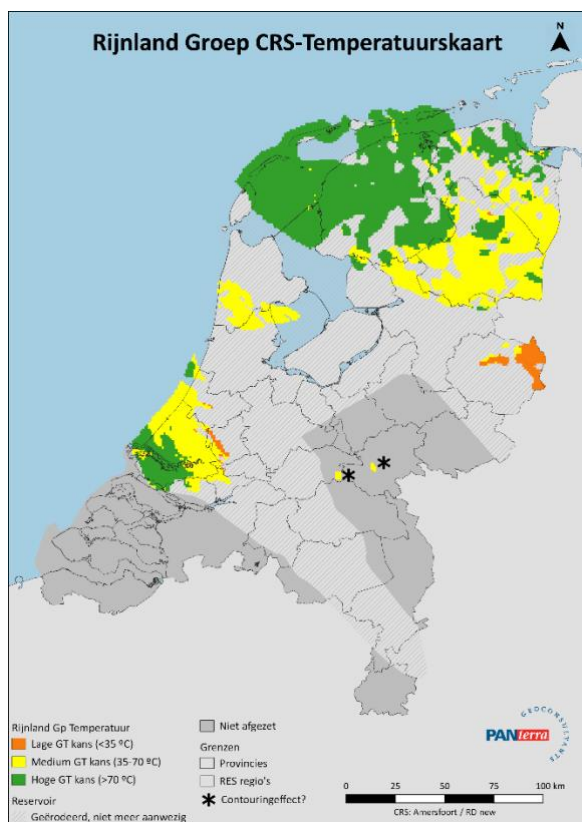
In het West-Nederlandbekken ziet de CRS-dikte kaart er over het algemeen zeer positief uit centraal in het bekken, aan de randen van het bekken neemt de dikte af waardoor ook de kans op een geothermisch project hier verminderd. Wel moet in ogenschouw worden genomen dat het hier om een optelling van vijf verschillende zanden gaat, die waarschijnlijk niet als reservoirs met elkaar communiceren. Voor meer detail wordt verwezen naar de kaarten van de individuele Westland zanden in hoofdstuk 7.8.

In Noord- en Oost Nederland zijn de Friesland zanden over het algemeen te dun waardoor er een kleine kans is op geothermische ontwikkeling in deze reservoirs. Uitzondering zijn lokale kleine gebieden rond Enschede en Emmen waar de Bentheimer en Gildehaus zandstenen voldoende dik zijn. Ook in het Waddenzee gebied tussen Friesland en Vlieland is de dikte van de zanden voldoende.

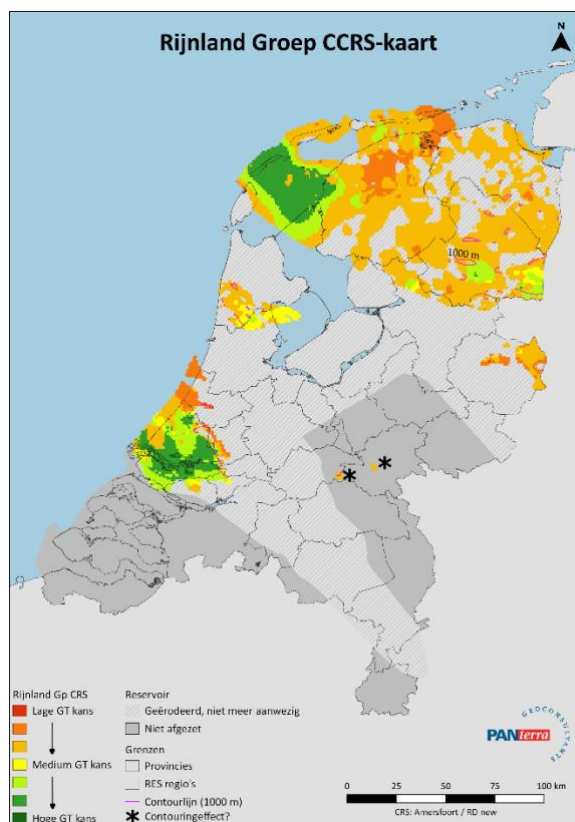
7.4.3 Onder-Krijt CRS temperatuurkaart

De temperatuur is over het algemeen rond de 60-75°C met enkele uitschieters van hogere waarden in het Westland gebied in de buurt van Maassluis en Kwintshul, met verder naar het noorden lagere waarden. De temperatuur hier is over het algemeen voldoende voor een geothermische ontwikkeling.

Dit kan niet gezegd worden voor Noord- en Oost-Nederland waar rond Enschede de Gildehaus en Bentheimer zandsteen onvoldoende diep begraven liggen om een redelijke temperatuur te genereren voor een geothermisch project. Mogelijkerwijs bestaat hier een kans op lage temperatuur geothermie.



Figuur 7-8: Rijnland zanden CRS temperatuurkaart afgeleid van TNO (ThermoGIS v2.1, 2019). De * geeft aan dat de kaart hier onzeker is (vanwege een contouring effect).



Figuur 7-9: Combined CRS (CCRS) kaart van de Rijnland zanden. De * geeft aan dat de kaart hier onzeker is (vanwege een contouring effect).

7.5 Onder-Krijt Combined Common Risk Segment CCRS-Kaart

De kaart laat zien dat het Onder-Krijt in het West-Nederlandbekken en in het gebied tussen Vlieland en Harlingen een hoge geothermische kans heeft. Ook een gebied nabij Emmen in het oosten van Nederland en hier en daar gebieden in Noord-Holland (Hoorn) hebben een kans voor geothermische projecten in het Onder Krijt. Doordat de zanden hier relatief ondiep zijn is de geothermietemperatuur ook relatief laag en komt in het bereik van lage temperatuur geothermie. De kaart van figuur 7-9 geeft daarom de 1000 m contour aan als een rode lijn.

Enkele kleine gebieden ter grootte van enkele kaartpixels zijn zichtbaar op de kaart noordwestelijk van Nijmegen en noordelijk van Oss. Deze gebieden zijn gemarkeerd met een asterisk. Ze liggen in een gebied met zeer weinig data. Verder onderzoek kan mogelijk uitsluitsel geven of hier inderdaad enig potentieel is.

7.6 Onder-Krijt Sub-Play onderverdeling

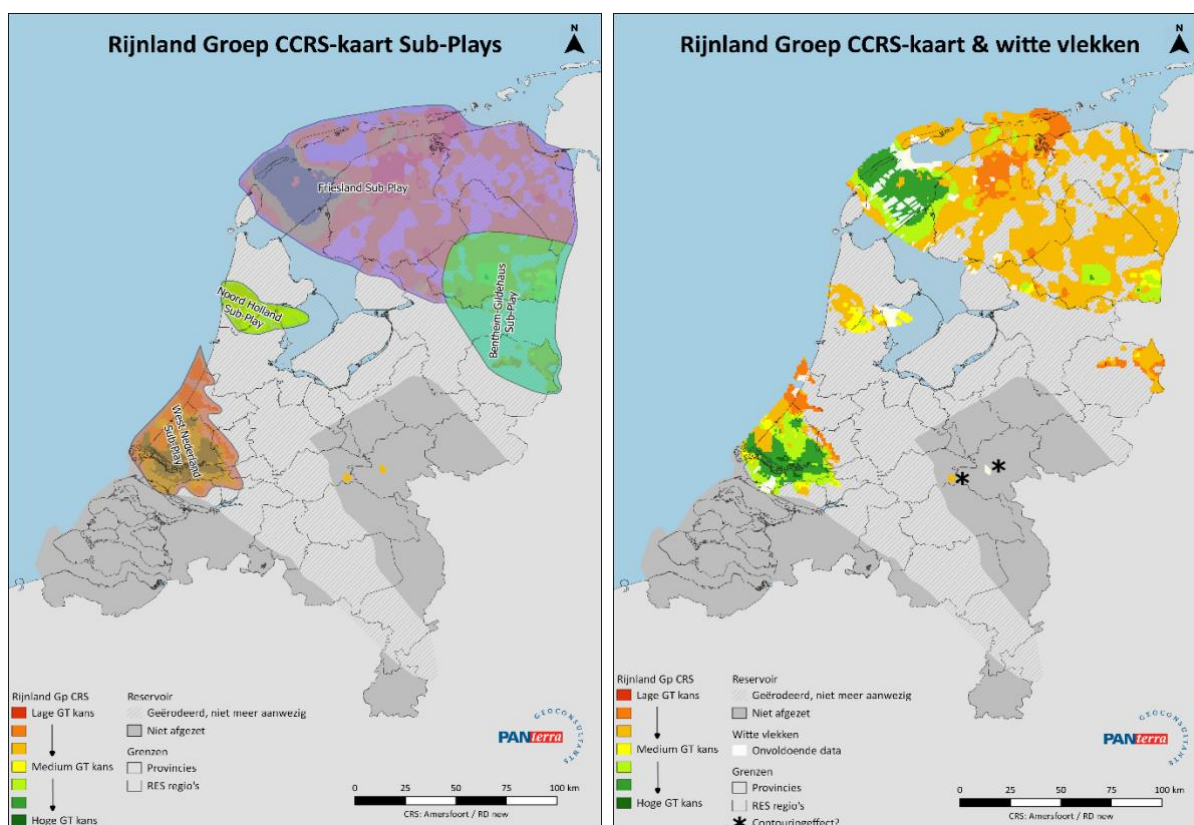
Op basis van bovenstaande indeling van kustzanden en dunnere diepere marine zanden is er een sub-play kaart gemaakt welke het West-Nederland sub-play aangeeft, het Noord-Holland sub-play, het Friesland sub-play en de Bentheim-Gildehaus sub-play (Figuur 7-10). De onderverdeling van deze play in vier sub-plays wordt gedaan op basis van de aanwezigheid van specifieke geologische lagen.

In het *West Nederland sub-play*, zijn vele putten geboord ten behoeve van de olie & gasindustrie. Hier is veel kennis en bovendien waren deze zanden ook een exploratie target voor olie en gas. Daarom hebben individuele zanden hun eigen namen gekregen. De Rijnland Groep bestaat hier uit 5 genaamde zanden welke in paragraaf 7.8 apart besproken zullen worden.

De *Bentheim-Gildehaus sub-play* in het Emmen-Enschede gebied is zo gekozen omdat alleen hier de zogenaamde Gildehausen- en Bentheimer zandstenen voorkomen. In ThermoGIS is de Bentheimer zandsteen samengevoegd met de Friesland zandsteen en zijn daarom niet verder uitgesplitst in dit rapport. Zowel de Bentheimer- als de Gildehaus zandstenen zijn relatief ondiep begraven waardoor de temperatuur beperkt blijft.

De *Friesland sub-play* is bepaald op de aanwezigheid van de Friesland zandsteen. Deze zandsteen is wel relatief dun waardoor het geothermisch potentieel hiervan beperkt is. Een verdikking onder Vlieland en rond Hoogeveen geven daar voldoende dikke zandafzettingen voor geothermie.

In de *Noord-Holland sub-play* komt ook de Friesland zandsteen voor welke hier ook een te beperkte dikte heeft voor geothermisch potentieel. Voor de Friesland zandsteen kan het van belang zijn de drempelwaarden nog eens in detail na te lopen om te evalueren wat de economische dikte zou moeten zijn voor geothermisch potentieel.



Figuur 7-10: Onder Krijt Sub-plays.

Figuur 7-11: Witte vlekkenkaart gepositioneerd op de Rijnland zanden afgeleid van TNO (ThermoGIS v2.1, 2019). De * geeft aan dat de kaart hier onzeker is (vanwege een contouring effect).

7.7 Effect van gegevensdichtheid/kwaliteit op het gebruikte CRS- en CCRS-model

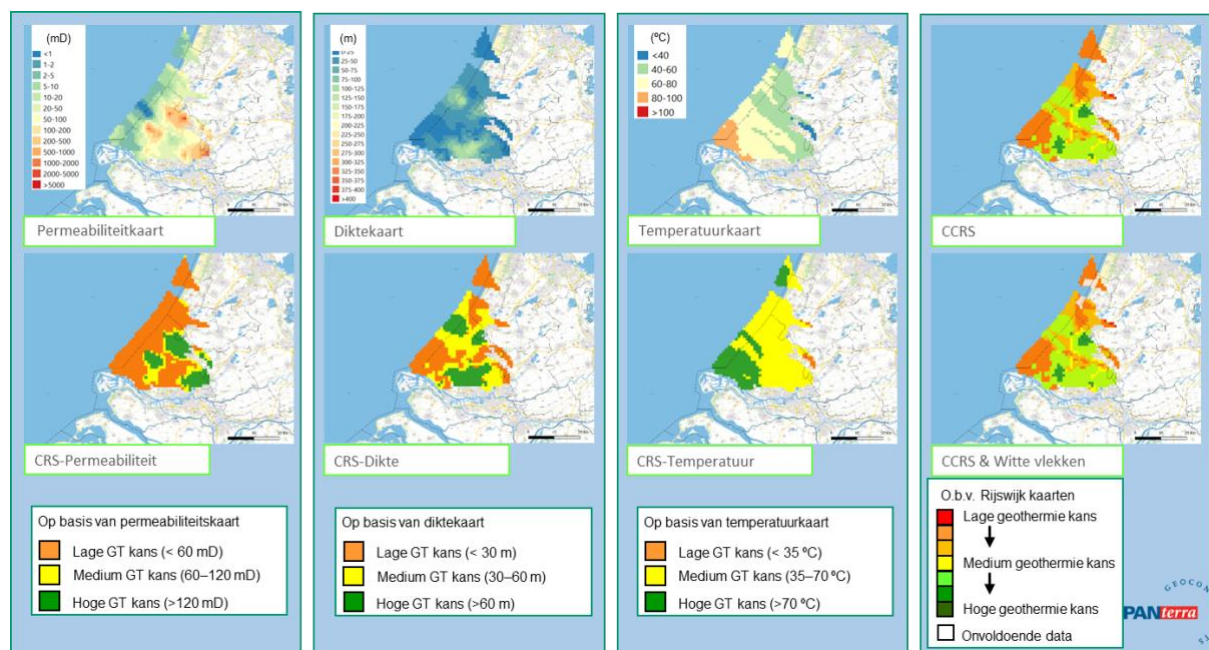
De CCRS-kaart met "witte vlekken" (Figuur 7-11) geeft aan dat de gegevensdichtheid over het algemeen zeer goed is met uitzondering van enkele kleine stukken in de Waddenzee. Het Westland heeft ook een uitstekende gegevensdichtheidsdekking en dus evenals de Jura geeft het Onder-Krijt ook een bovengemiddelde kans op geothermisch potentieel.

7.8 Het West-Nederlandbekken en de Rijnland zandsteen Members

In Hoofdstuk 7 zijn de verschillende Rijnland zanden in het West Nederland Bekken als één reservoir beschreven. Omdat, zoals ook al in hoofdstuk 7 is aangegeven, de verschillende zanden niet altijd in communicatie zijn, en dus afzonderlijke targets vormen voor geothermische projecten, worden ze hier afzonderlijk beschreven. Voor elk van de individuele reservoirs zijn op één figuur alle relevante kaarten samengebracht. De conclusies betreffende het potentieel dat elk van de zanden heeft voor geothermische projecten is hieronder zeer kort samengevat aan de hand van de CCRS kaart.

7.8.1 De Rijswijk Zandsteen

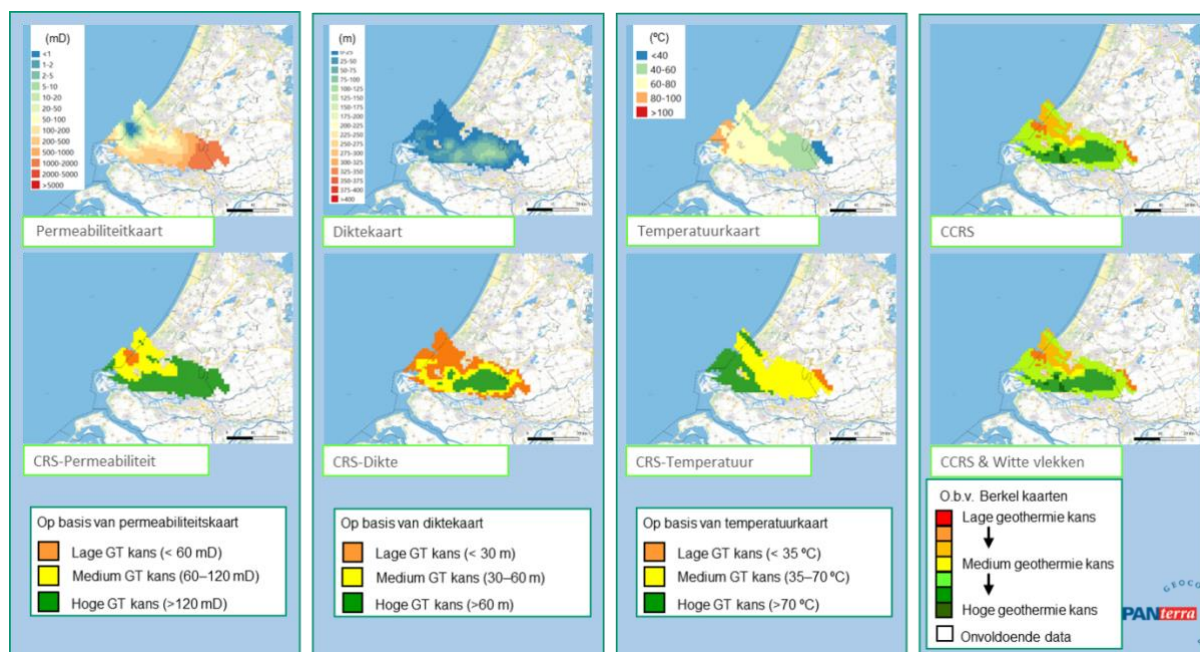
De Rijswijk zandsteen (Figuur 7-12) geeft redelijke tot plaatselijk hoge geothermie kansen, met grotere risico's rond Den Haag en vlak langs de kust.



Figuur 7-12: Rijnland Groep – Rijswijk zandsteen afgeleid van TNO (ThermoGIS v2.1, 2019).

7.8.2 De Berkel Zandsteen

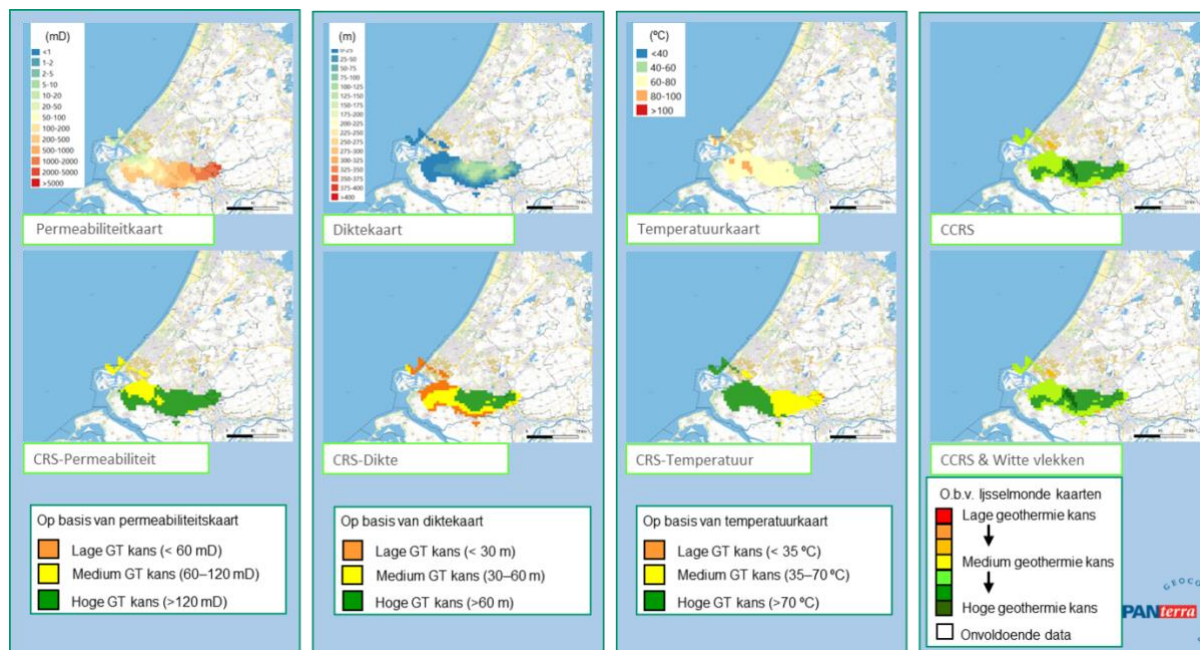
De Berkel zandsteen (Figuur 7-13) geeft ook redelijke tot hoge geothermiekansen langs de zuidrand van het West Nederland Bekken, met duidelijk lagere kansen verder naar het noorden (richting Leiden en vlak bij de kust).



Figuur 7-13: Rijnland Groep – Berkel zandsteen afgeleid van TNO (ThermoGIS v2.1, 2019).

7.8.3 De IJsselmonde Zandsteen

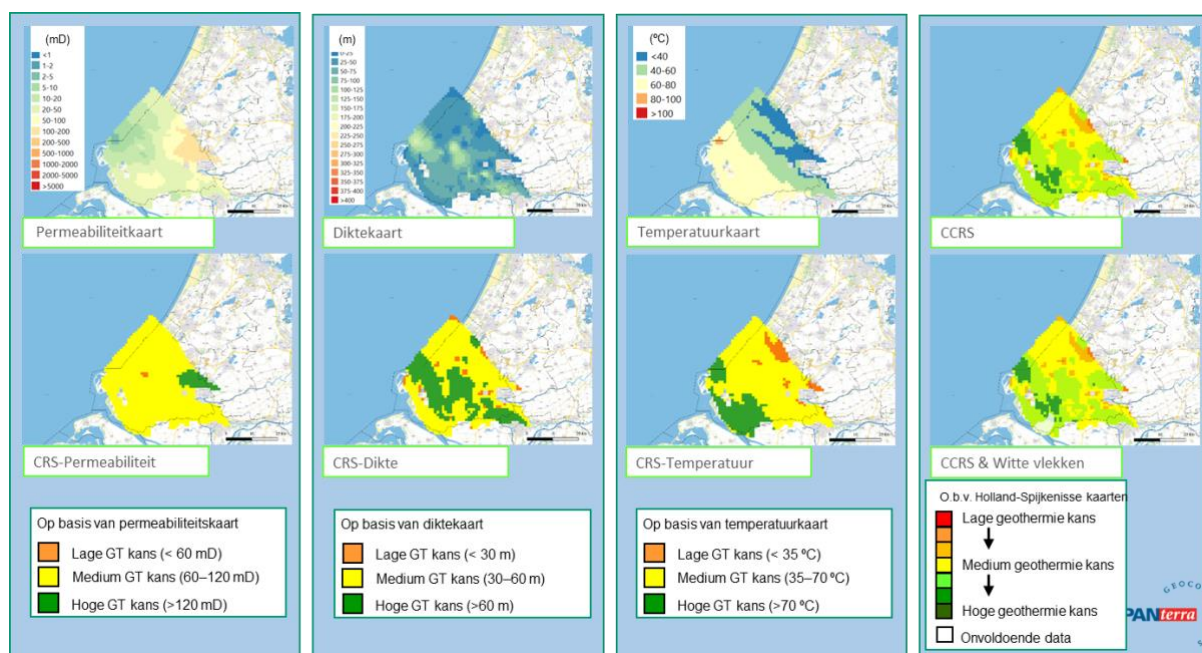
De IJsselmonde zandsteen is alleen aanwezig langs de zuidrand van het West Nederland Bekken (Figuur 7-14), en waar aanwezig geeft hij goede tot hoge geothermiekansen



Figuur 7-14: Rijnland Groep – IJsselmonde zandsteen afgeleid van TNO (ThermoGIS v2.1, 2019)

7.8.4 Holland & Spijkenisse Groenzand

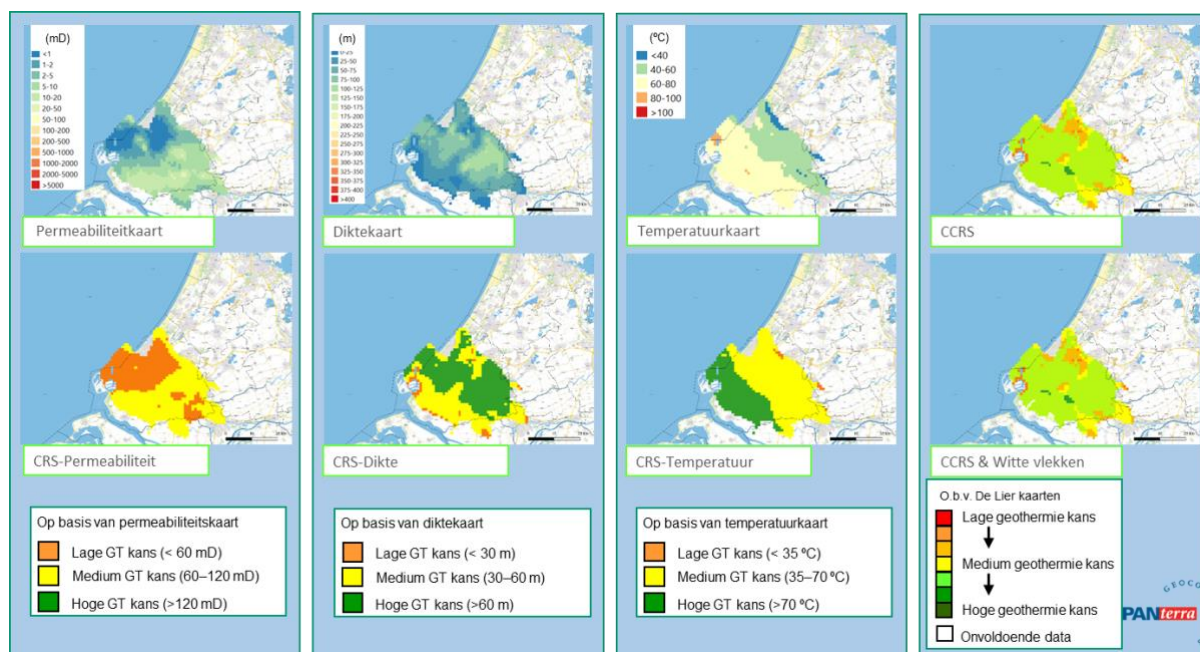
Deze groenzanden (Figuur 7-15) zijn meer zeewaarts afgezet en zijn daardoor wijder verspreid dan de overige zanden. De permeabiliteit is echter wel lager in deze mariene zanden, en heeft slechts een medium kans om voldoende te zijn voor geothermische projecten. Dit afzettingsmilieu zorgt wel voor een hoger risico betreffende permeabiliteit. Overal is er wel enige onzekerheid over een of meerdere van de geologische parameters. Slechts vrij lokaal zijn de condities mogelijk voldoende (donker groene tinten op de CCRS kaart): bijvoorbeeld rond Rotterdam en mogelijk onder Den Haag.



Figuur 7-15: Rijnland Groep – Holland & Spijkenisse zandsteen afgeleid van TNO (ThermoGIS v2.1, 2019).

7.8.5 De Lier Zandsteen

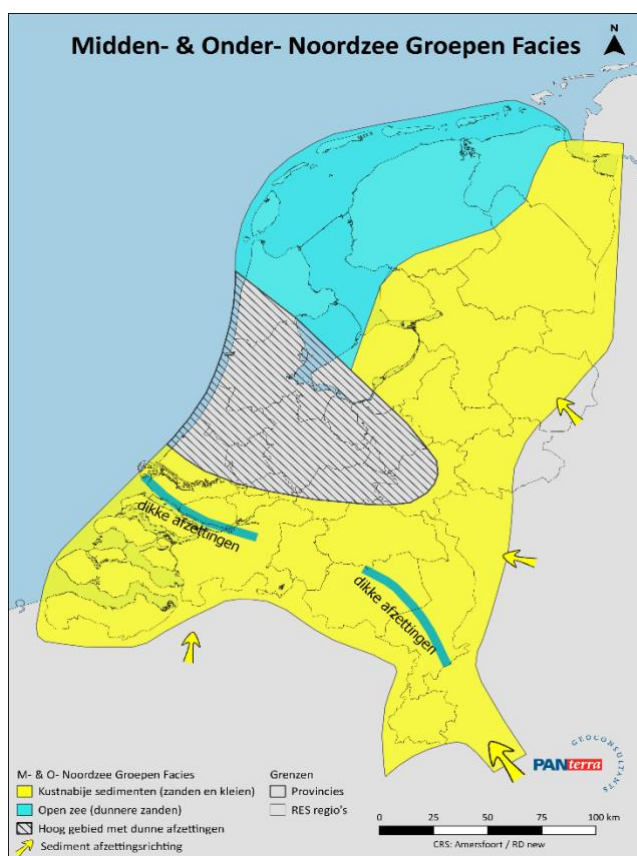
Ook voor de De Lier zandsteen is er overal wel enige twijfel over één of meerdere geologische parameters. Zeer lokaal zijn er locaties waar geothermie mogelijk zou werken, maar die alle nadere studie vereisen (Figuur 7-16).



Figuur 7-16: Rijnland Groep – De Lier zandsteen afgeleid van TNO (ThermoGIS v2.1, 2019).

8. De Paleogeen Play

In de Paleogeen periode (ongeveer 66-23 miljoen jaar geleden) lag Nederland in het kustgebied van een ondiepe zee. De kustlijn lag verder naar het zuidoosten dan de huidige. Sedimentaanoever was vanuit het zuiden en zuidoosten; vanuit Duitsland en België, waarbij de meeste aanvoer vanuit het zuidoosten kwam via vroege voorlopers van de Rijn (Figuur 8-1). Het Paleogeen is onderverdeeld in de Onder- en Midden Noordzee Groep (Zie geologische tijds kolom in Figuur 1-1). De zanden in deze Groep kunnen geothermisch potentieel hebben. De Onder Noordzee Groep en Midden-Noordzee Groep sedimenten bestaan voornamelijk uit ondiepe marine kleien en mergel. Incidenteel was er een zandinflus.



Figuur 8-1: Paleogeografie van het Paleogeen. Gebaseerd op gegevens van de Southern Permian Basin Atlas (TNO, Doornenbal, & Stevenson, Petroleum Geological Atlas of the Southern Permian Basin Area, 2010).

De details van de Paleogeen afzettingen zijn eigenlijk niet erg goed bekend, ondanks het grote aantal boringen dat door dit interval heen is geboord. Dat komt omdat dit interval voor de gaswinning nauwelijks van belang is, en daarom heeft men er in het algemeen voor gekozen snel door dit interval heen te boren en geen of weinig gegevens te vergaren. Toch kan wel in algemene zin worden gezegd dat de dikste zanden zijn afgezet aan de monding van de paleo-rivieren (ongeveer de locatie van de huidige grote rivieren) in het zuiden, en in mindere mate in het oosten, van het land (Figuur 8-3). De zanden zijn vooral goed ontwikkeld in gebieden die sneller daalden gedurende het Paleogeen: het gebied van de huidige Roerdal slenk in Noord-Brabant en het grensgebied van de Zeeuwse en Zuid- Hollandse eilanden. In het noorden en noordwesten waren open mariene omstandigheden, waarin minder dikke zanden zijn afgezet, en meer klei.

De totale dikte van die zanden in het noordelijk deel van Nederland kan nog heel redelijk lijken (Figuur 8-3), maar men moet wel bedenken dat het totaal de som is van tal van dunnere zanden. Het potentieel voor geothermie kan daarom beter lijken dan het in werkelijkheid is.

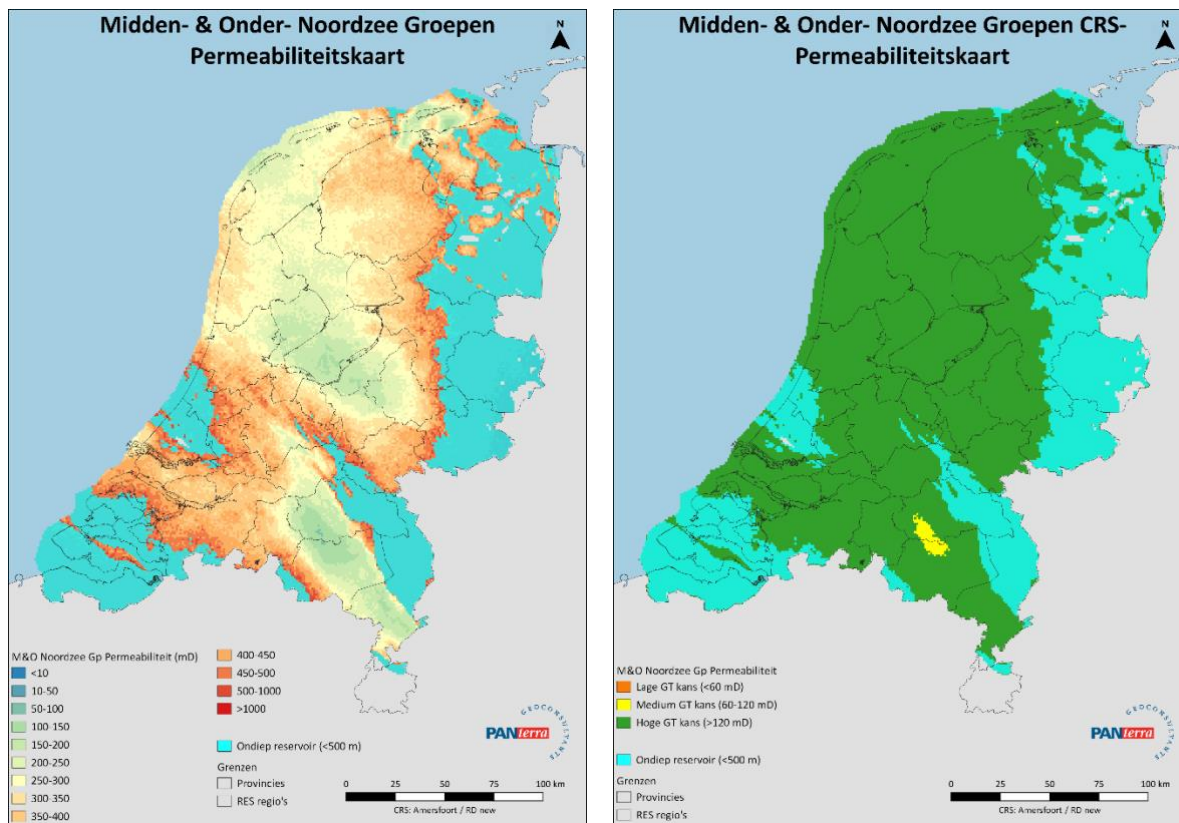
Het Paleogeen is relatief jong waardoor de zandstenen uit dit tijdperk relatief ondiep liggen, in delen van Nederland zelfs ondieper dan 500m. Hierdoor lenen deze zanden zich voornamelijk voor ondiepe, lage temperatuur geothermie. Een uitzondering hierop zijn de zanden in de Roerdal Slenk; dit was gedurende het Paleogeen al een gebied dat sneller daalde dan elders. Hier zijn als gevolg dikkere zandlagen afgezet. Bovendien heeft de daling zich daar na het Paleogeen nog voortgezet, zodat de huidige diepte van de Paleogeen sedimenten daar groter is. De Paleogeen zanden in de Roerdal Slenk zijn door deze begravingsgeschiedenis in Nederland het dikst ontwikkeld en ook het diepst gelegen, waardoor ze op deze locatie nog ingedeeld kunnen worden in de categorie conventionele geothermie en niet zoals de rest van de Paleogeen sedimenten in de lage temperatuur geothermie categorie.

Voor dit rapport zijn alle zandvoorkomens ondieper dan 500 m niet meegenomen (buiten de scope van deze evaluatie) en zulke gebieden zijn in turquoise gekleurd.

Het Paleogeen is dus nog een relatief onbekend terrein voor geothermische toepassing. Toch is er op één plek in Nederland, in Zevenbergen, een geothermisch project ontwikkeld in het Paleogeen. Hoewel de warmteopbrengst lager is dan werd verwacht, werkt het doublet wel. Het Paleogeen wordt slechts kort behandeld in dit rapport in verband met de eerdergenoemde onzekerheden en gebrek aan gegevens. Het is aan te bevelen dit interval nader te bestuderen.

8.1 De Permeabiliteitskaart

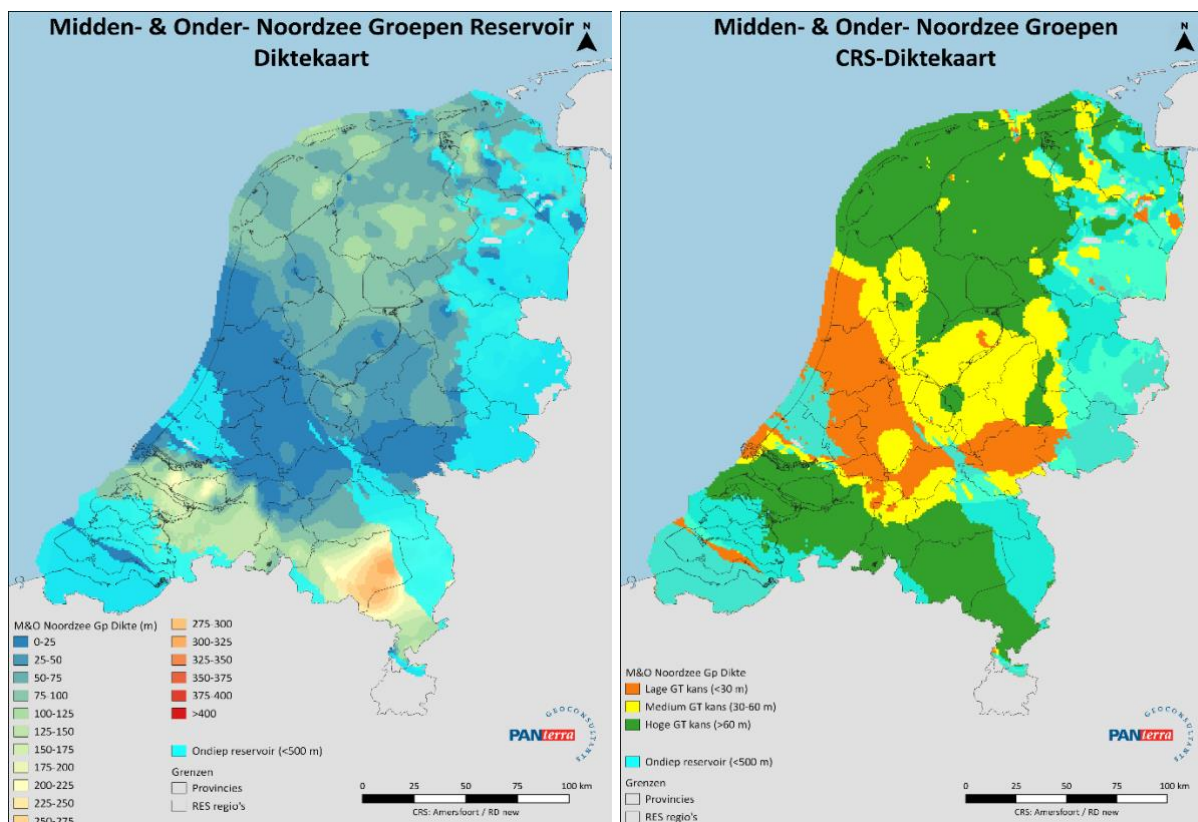
De permeabiliteit kaarten laten zien dat de zanden in het algemeen een goede tot heel goede permeabiliteit hebben van meer dan 100mD. Ook hier geldt weer dat aan de toenmalige kustranden richting Duitsland en België de kwaliteit van de zanden toeneemt. De CRS-kaart van permeabiliteit gemaakt volgens de beschreven aanpak in Hoofdstuk 2, is dus bijna overal groen en is voldoende voor geothermie.



Figuur 8-2: Midden- & Onder- Noordzee Groep permeabiliteitskaart afgeleid van TNO (ThermoGIS v2.1, 2019). Links de permeabiliteitskaart (TNO, ThermoGIS v2.1, 2019) en rechts de CRS-permeabiliteitskaart.

8.2 De Diktekaart

Deze kaart (Figuur 8-3) geeft goede totale dikten aan. Hier is echter wel een waarschuwing op zijn plaats betreffende de ThermoGIS kaarten voor het Paleogeen. Het gesteentepakket van de Midden- & Onder-Noordzee Groep bestaat uit een afwisseling van voornamelijk zand- en kleistenen. ThermoGIS gebruikt in het gehele Paleogeen een netto/bruto verhouding van 1.0. Dit betekent dat ThermoGIS aanneemt dat het gehele Paleogeen uit zandsteen bestaat waardoor de zanddikte te optimistisch wordt weergegeven. De individuele zanden uit het Paleogeen, zoals bijvoorbeeld de Dongen, Brussel en Vessem zanden zijn veelal veel dunner. De CRS-diktekaart (Figuur 8-3 rechts) geeft daarom zeer waarschijnlijk te veel groene gebieden aan en is te optimistisch. De laag die als Brussel Zandsteen bekend staat is in het algemeen de best ontwikkelde zandsteenlaag van het Paleogeen.

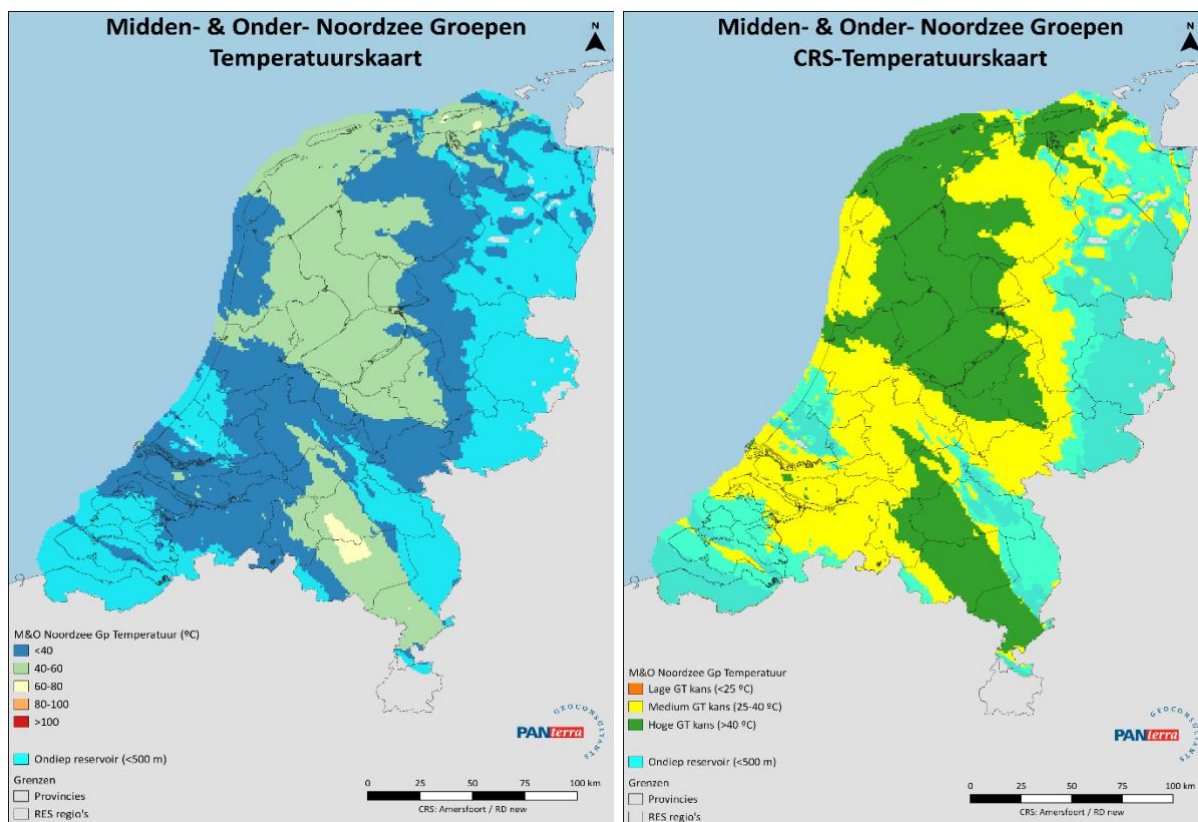


Figuur 8-3: Midden- & Onder- Noordzee Groep diktekaarten afgeleid van TNO (ThermoGIS v2.1, 2019). Links de diktekaart en rechts de CRS-diktekaart.

8.3 De Temperatuurkaart

Zoals vermeld zijn de Paleogeen gesteenten ondiep begraven waardoor de temperatuur beperkt blijft (Figuur 8-4). Bij een temperatuur toename van ongeveer $3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ varieert de temperatuur tussen de 35°C en 60°C met uitzondering van de Roerdal slenk. Hier kan de temperatuur oplopen tot 80°C . Het grotere IJsselmeer gebied is iets dieper begraven dan aangrenzende gebieden waardoor de temperatuur daar ook hoger is dan in de rest van Nederland.

Voor de CRS-Temperatuurkaart zijn voor het Paleogeen andere drempelwaarden gekozen dan voor de hiervoor beschreven geologische plays. Dit is gedaan omdat het Paleogeen ondieper begraven is waardoor het alleen geschikt kan zijn voor lagere temperatuur geothermie. Daarom zijn voor de temperatuurkaarten lagere drempelwaarden aangenomen. Namelijk de klasse onder de 25°C , de klasse tussen de 25°C en 40°C , en de klasse boven de 40°C . De CRS-temperatuurkaart geeft voor het Paleogeen een hoge tot medium GT-kans aan (Figuur 8-4 rechts). Let wel, dat dit niet direct te vergelijken is met de andere temperatuurkaarten van de diepere gesteenten. Hier betreft het ondiepe, lage temperatuur, geothermiekansen.

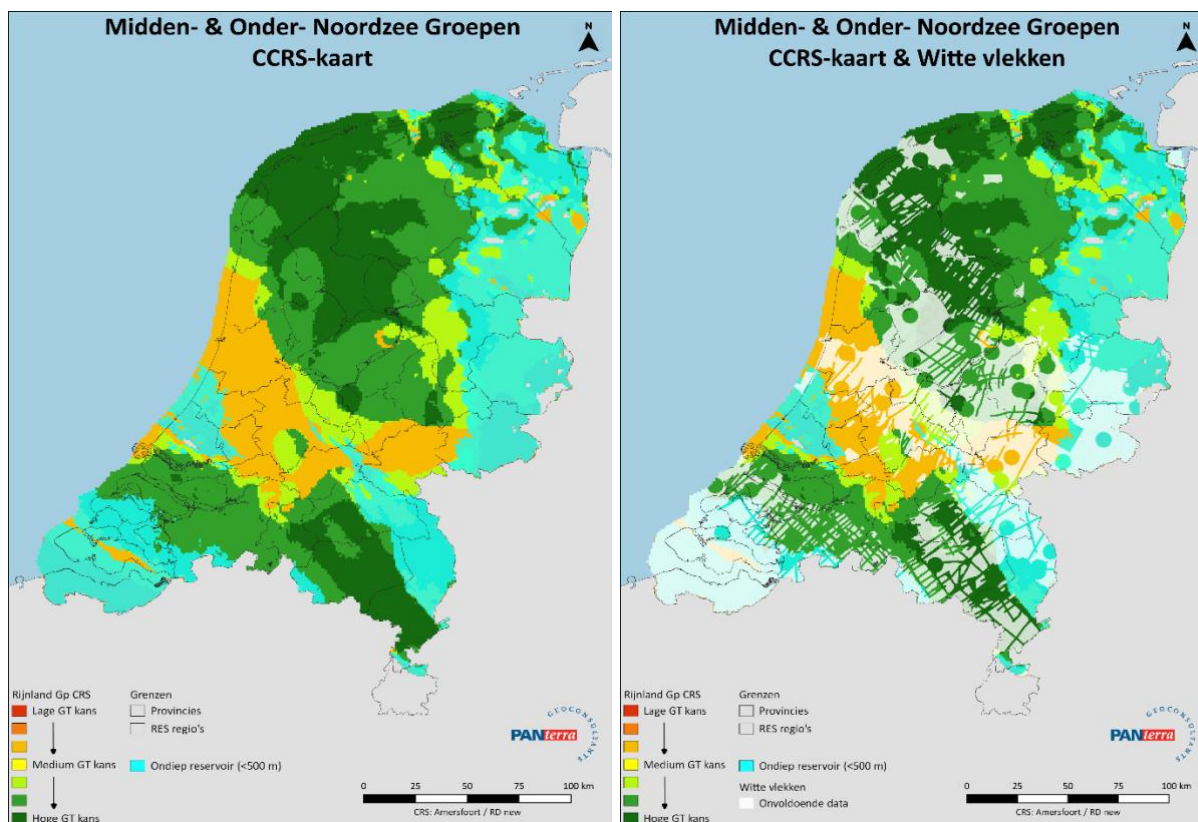


Figuur 8-4: Midden- & Onder- Noordzee Groep temperatuurkaarten afgeleid van TNO (ThermoGIS v2.1, 2019). Links de temperatuurkaart en rechts de CRS-temperatuurkaart.

8.4 De CCRS-Kaart

De gecombineerde CRS-Kaart (Figuur 8-5) geeft aan dat de kans op (lage temperatuur) geothermie het hoogst is in het IJsselmeer, de Roerdal slenk en het zuidelijk deel van het West Nederland Bekken. De temperatuur lijkt nergens voldoende voor gewone geothermie.

Let wel dat het van belang is de individuele lokale zanden in het oog te houden wanneer er aan een mogelijk geothermisch project gedacht gaat worden. De gebieden van de toenmalige sediment aanvoerroutes lijken de beste kansen te bieden. De gegevensdichtheid limitatie is zichtbaar in de CCRS-kaart met de "witte vlekken" (Figuur 8-5 rechts). Zoals eerder besproken zijn er weinig gegevens uit boringen bekend. Niet alleen is er weinig data vergaard in de boringen, ook de seismiek die is geschoten was geoptimaliseerd voor de diepere lagen. Het is daarom niet helemaal duidelijk wat in deze ondiepere Paleogeen lagen de dikte is van de mogelijke zanden. Omdat de kaarten van ThermoGIS het totaal van de zanden weergeeft, en niet die van individuele reservoirs, geven de CRS en CCRS kaarten uit dit rapport waarschijnlijk een te positief beeld, dat is gebaseerd op te weinig gegevens. Geothermisch project in Paleogeen reservoirs zullen daarom extra studie en data acquisitie vergen.



Figuur 8-5: Midden- & Onder- Noordzee Groep CCRS-kaarten afgeleid van TNO (ThermoGIS v2.1, 2019). Links de CCRS-kaart en rechts de CCRS-kaart met “witte vlekken”.

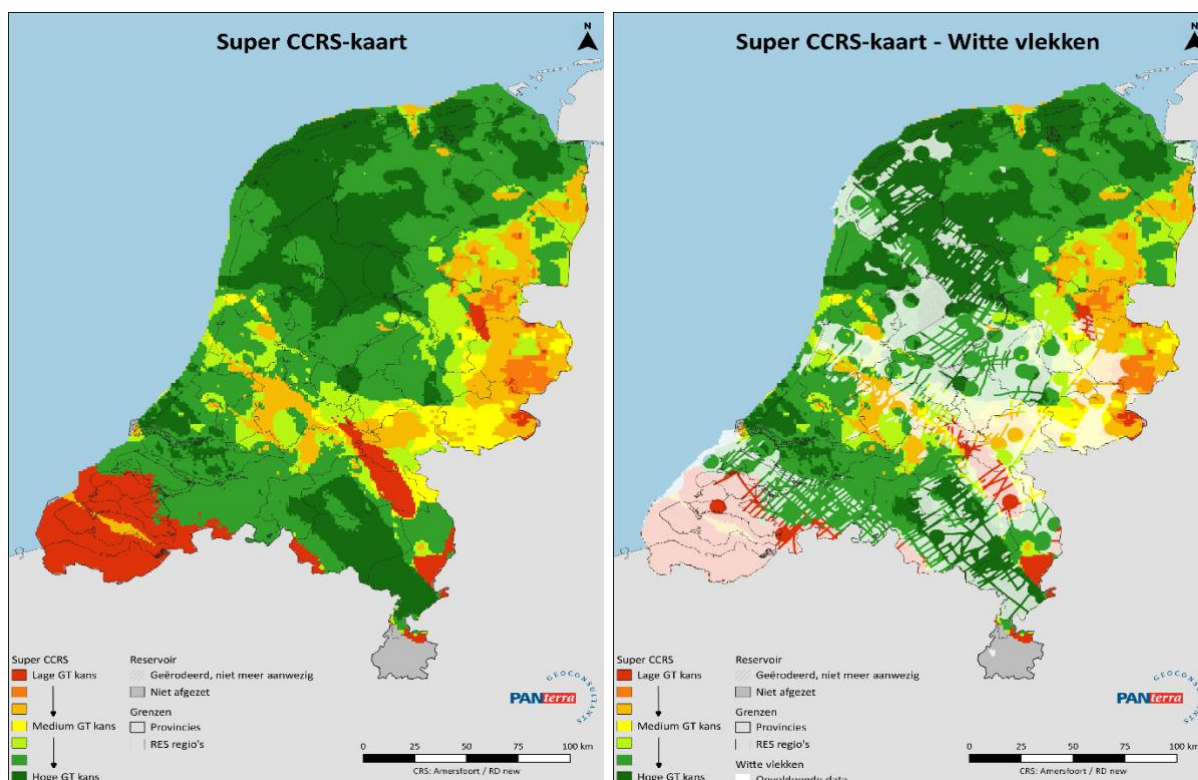
9. Samengestelde CCRS-kaart

Om warmtevraag en -aanbod te kunnen combineren worden alle CCRS-kaarten samengevoegd tot één samengestelde” super-CCRS-kaart (Figuur 9-1). Deze samengestelde kaart is gemaakt door alleen de hoogste geothermiekans uit alle lagen te nemen. Let wel, zowel de Dinantien play als ook de Paleogeen play ondieper dan 500 m zijn niet meegenomen in deze samengestelde super-CCRS-kaart.

Als er in één van de plays een hoge GT kans is (donker groen op de enkelvoudige CCRS-kaart per play), wordt deze op de samengestelde kaart ook weergegeven als donker groen. Per pixel wordt dan de beste geothermiekans genomen uit de verschillende geologische plays.

De super-CCRS-kaart wordt in eerste instantie gebruikt om de warmtevraag te koppelen aan de kans op geothermie zoals aangegeven op deze kaart. In het Berenschot rapport (Berenschot, 2020) wordt de warmtevraag en aanbodkans in meer detail gepresenteerd door de betreffende geothermie kanskaart (CCRS-kaart) van het betreffende geologische play te combineren met de warmtevraag.

De samengestelde super-CCRS-kaart (Figuur 9-1 links) laat zien dat er in geheel Nederland goede tot hoge kansen voor geothermie zijn volgens de huidige stand van de techniek. In Oost en Midden Nederland liggen de geothermiekansen beduidend lager. In Zeeland bestaat er slechts een lage kans op een succesvol geothermie project in één van de hier weergegeven lagen. Deze kaart laat verder geen geologische trends zien omdat de kaart samengesteld is uit meerdere kaarten. De rechterkaart van Figuur 9-1 laat de Super CCRS-kaart zien met de zgn. “witte vlekken” als overlay. De gebieden waar de gegevensdichtheid als onvoldoende gezien wordt om een goede geothermiekans te kunnen bepalen. In deze gebieden is het van belang meer ondergrond gegevens op te nemen. Het SCAN-project is hier mee begonnen.



Figuur 9-1: Samengestelde super-CCRS geothermie kanskaart (links). De Geothermische kansen van alle geologische plays samengevoegd volgens de huidige inzichten (m.u.v. de Dinantien play en de Paleogeen play ondieper dan 500 m).

10. Additionele ondergrondgegevens

In dit hoofdstuk wordt wat dieper ingegaan op de mogelijkheden die bestaan om de ondergrond beter in kaart te kunnen brengen. Dit is nodig wanneer de beschikbare gegevensdichtheid onvoldoende is om de haalbaarheid en de geologische risico's van een geothermie project locatie in te schatten. De huidige ondergrond gegevens komen vooral uit de olie- en gasindustrie en bestaan uit basisgegevens en geologische evaluatie van deze gegevens. Deze basisgegevens bestaan voornamelijk uit seismische gegevens en boorgat gegevens. Geologische detailstudie van deze gegevens leidt tot voorspellingen over de geothermisch interessante aardlagen. Het is ook belangrijk om te weten of en waar er breuken zijn in de watervoerende laag en of een geothermie project niet te dicht bij deze breuken ligt (vanwege mogelijke geïnduceerde aardbevingen).

Hieronder worden de basisgegevens van seismiek en boringen kort besproken. Daarna wordt de inhoud van een lokale geologische studie besproken waaruit kan blijken welke gegevens noodzakelijk zijn om geologische risico's verder te verkleinen. De gegevensdichtheid is in de vorige hoofdstukken al ter sprake gekomen. De zogenaamde witte vlekken gebieden hebben te weinig ondergrond gegevens om te kunnen bepalen of geothermie kan bijdragen aan de warmtevraag in deze gebieden. Seismische Campagne Aardwarmte Nederland (SCAN) is een meerjarig programma dat ten doel heeft de gegevens van de ondergrond aan te vullen of waar mogelijk te verbeteren in gebieden waar nu onvoldoende gegevens zijn om de potentie van aardwarmte te kunnen bepalen. Het laatste onderdeel van dit hoofdstuk gaat wat dieper in op de werkzaamheden binnen SCAN en de huidige status van het programma.

10.1 De Basisgegevens

10.1.1 Seismische gegevens opnemen

Het in kaart brengen van de ondergrond en het zoeken naar geschikte aardlagen voor aardwarmtewinning gebeurt door middel van seismisch onderzoek. Seismiek is te vergelijken met het maken van een echogram, bij een zwangere vrouw. Door de reflectie van trillingen kan er een beeld worden opgebouwd van de binnenkant van het lichaam. Hetzelfde principe wordt toegepast bij seismisch onderzoek. Trillingsgolven worden de grond in gestuurd en de aardlagen in de ondergrond kaatsen deze golven terug. De teruggekaatste signalen worden geregistreerd met tal van geofoons. Nadat alle geregistreerde signalen in computerprogramma's zijn verwerkt, kan een dwarsdoorsnede gemaakt worden door de bovenste paar kilometer van de aardkorst. Op zo'n dwarsdoorsnede is te zien hoe lang het heeft geduurd voor de weerkaatsingen op de verschillende geologische formaties weer aan de oppervlakte waren te meten. Door te berekenen hoe lang de golf erover doet om terug te keren naar de geofoon is de diepte van de laag te berekenen. Daarnaast vertelt de snelheid van de golf iets over de eigenschappen van de laag en alle lagen erboven. De resultaten worden seismische data genoemd.

Het maken van deze trillingsgolven kan op twee manieren. De ene manier is door gebruik te maken van vrachtwagens die trillingsgolven de grond in sturen met zogenoemde 'vibroiseis truck'. Door een aantal vrachtwagens tegelijkertijd te laten trillen wordt er een voldoende sterke golf geproduceerd. Dit gebeurt op vele locaties, met vele geofoons over een groot gebied, zodat men zich uiteindelijk een goed beeld van de ondergrond kan vormen. Deze techniek gebruikt men vooral in bebouwde gebieden. Een andere manier om trillingsgolven te maken is met behulp van een afgemeten hoeveelheid springstof dat in gaten van ongeveer 10-15 meter diep tot ontploffing wordt gebracht. Deze wijze van onderzoek gebeurt vaker buiten bebouwde gebied.

Als alle data zijn verwerkt en er een 'beeld' van de ondergrond is gemaakt interpreteren geologen de uitkomsten. Door de verschillende structuren en lagen te analyseren is te zien op welke diepte de verschillende aardlagen voorkomen en waar er breuken zijn.

Dit is een belangrijke input in de conclusie of geothermie in dit gebied naar verwachting mogelijk is. Of dit ook in de praktijk echt zo is moet blijken in de opsporingsfase. Het traject van seismisch onderzoek, data verwerken en interpreteren duurt zes maanden tot een jaar (hoewerktaardwarmte.nl). De resolutie van seismiek is afhankelijk van de acquisitie parameters maar ruwweg kan men zeggen dat gesteente pakketten van 25 m dik of meer zichtbaar gemaakt kunnen worden door deze methode. Over het algemeen geldt hoe dieper, hoe dikker de lagen moeten zijn om zichtbaar te zijn. Seismiek kan opgenomen worden in een 2D-lijn of in een 3D grid, dit is afhankelijk van hoe de geofoons geplaatst worden. Daarnaast is de datakwaliteit en resolutie erg afhankelijk van hoe de seismische data precies is verworven. Over de jaren heen is de kwaliteit van de seismische acquisitie sterk verbeterd.

10.1.2 Seismische (re)-processing

De geregistreerde seismische gegevens moeten worden verwerkt voordat ze kunnen worden geïnterpreteerd. Dit proces heet seismische processing. In de 80'er jaren was seismische processing de meest computer intensieve industrie ter wereld. De processing software en de rekenkracht van de computers is over de jaren sterk verbeterd en heeft het vaak zin om oude seismiek opnieuw te processen als de oude data tapes nog beschikbaar zijn. Re-processing is goedkoper dan deze seismiek opnieuw te verwerven. Daarom is vaak de eerste stap in het verbeteren van seismische data, de re-processing van de al bestaande data (die is geregistreerd op zgn. field-tapes). Als dat niet kan of onvoldoende verbetering geeft moet de seismiek opnieuw opgenomen worden met de laatste stand der techniek. Nederland heeft over grote gebieden een zeer goede bedekking van seismiek - zoals eerder gezien in de hoofdstukken over de verschillende geothermische plays. Er blijven echter gebieden (witte vlekken) waar weinig ondergrondse gegevens voorhanden zijn. Daar kunnen nieuwe seismische lijnen worden geschoten. Seismische gegevens geven informatie over de geologische opbouw van de ondergrond: laagdikte, diepte en structuur. Omdat seismische gegevens niet in diepte (meters), maar in tijd gemeten worden (milliseconden) moet de diepte hieruit afgeleid worden. Dit brengt enige onzekerheid met zich mee. In het algemeen is de onzekerheid van de diepte van aardlagen in de orde van 20-40 m, 1- tot 2% (op een diepte van ongeveer 2000 m). Dit is mede afhankelijk van de kwaliteit van de seismische gegevens.

10.1.3 Boorgat gegevens

Een boorgat geeft informatie over één punt op de kaart, terwijl seismiek informatie geeft over een groter gebied. In Nederland zijn duizenden putten geboord naar olie en gas. Door apparatuur langs de boorwand omhoog te trekken (loggen) kunnen allerlei fysische eigenschappen van de verschillende aardlagen nauwkeurig gemeten worden: zoals onder andere de diepte, dikte, temperatuur, porositeit en permeabiliteit. Ook kunnen gesteentemonsters uit de boring worden geanalyseerd. Dit geeft verdere en directe informatie over de precieze samenstelling, porositeit en permeabiliteit van het gesteente. Productiegegevens van olie en gas productie putten geven informatie over hoeveel er geproduceerd kan worden uit het reservoir.

Kortom, boringen geven precieze informatie op de boorlocatie betreffende de 3 geologische parameters die van belang zijn voor aardwarmte; permeabiliteit, dikte en temperatuur (diepte).

10.2 Seismische interpretatie en gegevens correlatie

Net zoals de arts in het ziekenhuis de echo van de ongeboren baby interpreteert, is er een specialist nodig om de ondergrond op basis van de seismische gegevens te analyseren en te interpreteren. Dit gebeurt tegenwoordig met geavanceerde software waar geïnterpreteerd wordt welke seismische reflectoren, welke geologische lagen vertegenwoordigen. Dit doen de specialisten op basis van correlatie met bekende putgegevens, maar ook door het karakter van de reflectie. Gebaseerd op de interpretatie van de seismische data en met behulp van de boorgegevens worden uiteindelijk kaarten gemaakt van de ondergrondse lagen.

De seismische reflecties, welke aardlagen representeren, worden in tijd (milliseconden) aangegeven. Deze wordt dan omgezet naar diepte door de specialist met behulp van de putgegevens en de seismiek. Was de datakwaliteit goed, dan zijn de onzekerheden in de interpretatie van de geologie, zoals diepte, dikte, structuur van de aardlaag en eventuele breuk posities relatief klein. Het is echter ook voorgekomen dat een boring een veel grotere diepte afwijking vertoonde dan de geïnterpreteerde en diepte geconverteerde kaarten aangaven. Dat kan komen door een foutieve correlatie van de seismische reflector met de geologische formatie of een incorrect tijd-diepte model.

Elke nieuwe boring is weer een kalibratiepunt voor het geologische model. Met weinig gegevens, blijven er relatief grote onzekerheden betreffende dikte, temperatuur en vooral permeabiliteit. Door de continue aanvulling van gegevens van nieuwe boringen dan wel seismiek kan het aardwarmte potentieel als dynamisch beschouwd worden; het zal vaak veranderen als nieuwe gegevens beschikbaar komen in een gebied.

10.2.1 Geologische detailstudie

Geologie is de studie die probeert te ontrafelen wat er miljoenen jaren geleden gebeurd is toen aardlagen werden afgezet. Uit welk gesteente bestaan deze aardlagen en hoe veranderen ze en in welke richting? Als men begrijpt in welk afzettingsmilieu de sedimenten zijn afgezet kan men ook beter voorspellen hoe ze lateraal veranderen. En wat is er na de afzetting met de sedimenten gebeurd; hoe hebben de gesteenten de latere miljoenen jaren doorstaan? Hoe zijn ze begraven doordat er jongere afzettingen bovenop zijn gekomen; zijn ze eventueel later weer omhoog gekomen, gebroken, weg-geërodeerd? Daar waar in Limburg de gesteenten bijna aan de oppervlakte liggen, liggen ze in Friesland 4 km diep begraven. Zijn ze daar hetzelfde of toch net iets anders.

Een geologische detailstudie is van belang om een gefundeerd antwoord te geven op de vraag of aardwarmte wel of geen potentieel heeft in een specifiek gebied. Een detailstudie neemt alle beschikbare ondergrond data mee in- en rond het te bestuderen gebied. Seismische data, boorgegevens, eerdere studies enz. De geologische kaarten laten zien waar een goede en mindere datadichtheid bestaat, beschrijven de kwaliteit van de data en interpreteren alle seismiek zowel oude als moderne 2D en 3D seismiek. De resulterende kaarten geven breuken aan waarmee rekening gehouden moet worden bij de keuze van een mogelijk boortraject. Ook kunnen adviezen gegeven worden over welke gegevens er nog missen en hoe deze gegeven verkregen kunnen worden en waar deze gegevens vooral noodzakelijk zijn. Waar is bijvoorbeeld nieuwe seismiek nuttig en noodzakelijk om bepaalde geologische 'onzekerheden te kunnen beantwoorden. Waar kan het beste geboord worden om een zo optimaal mogelijk aardwarmteproject te ontwikkelen.

Het is altijd te adviseren een geologische detailstudie te laten uitvoeren in gebieden waar warmtevraag en -aanbod lijken te passen alvorens verdere vervolgstappen te gaan nemen.

10.3 SCAN

De Seismische Campagne Aardwarmte Nederland (SCAN) onderzoekt waar de Nederlandse ondergrond, in de delen waarover er nog te weinig informatie beschikbaar is, geschikt zou kunnen zijn voor de winning van aardwarmte. Met die kennis kunnen de mogelijkheden van aardwarmte voor Nederland beter in worden geschat en de kans op succesvolle projecten vergroot worden. Grote delen van de Nederlandse ondergrond zijn al in kaart gebracht. Tijdens de opsporing en winning van olie en gas zijn we veel te weten gekomen over de eigenschappen van de aardlagen onder onze voeten. Op basis van die informatie kan een specialist vaak een goede inschatting maken van de potentie van aardwarmte. Deze informatie is ook de input geweest voor de ThermoGIS kaarten die in deze studie gebruikt zijn. Toch vertoont de kaart van het ondergrondse landschap nog veel witte vlekken, gebieden waar we minder weten over de diepte, dikte en/of de eigenschappen van de laag. Het project SCAN levert gegevens om de potentiekaart van aardwarmte in Nederland verder in te kunnen vullen en streeft ernaar een zo compleet mogelijk beeld te creëren van de Nederlandse ondergrond.

SCAN is een landelijk onderzoek dat wordt uitgevoerd in opdracht van de rijksoverheid. Het onderzoek wordt gefinancierd door het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) en deels met subsidie van INTERREG NWE Vb. De uitvoerende partijen zijn EBN en TNO. De resultaten van SCAN komen direct beschikbaar voor het publiek nadat de benodigde kwaliteitscontroles zijn uitgevoerd. Dit in tegenstelling tot het 5-jarig termijn uit de Mijnbouwwet. De data worden beschikbaar gesteld via www.nlog.nl

Het project omvat een viertal onderdelen waarmee we de ondergrond verkennen en de kansen voor aardwarmte inschatten:

- **Seismisch onderzoek**
In een aantal gebieden is te weinig data beschikbaar over de structuur van de ondergrond, de diepteligging en/of de dikte van een mogelijk geschikte laag. Daar is nieuwe data voor nodig die daar inzicht in geeft. Seismisch onderzoek geeft helaas geen informatie over de eigenschappen van het gesteente. Figuur 10-1 geeft een overzicht van het geplande 2D seismisch onderzoek.
- **Herbewerking van data**
Bij het verwerken en analyseren van seismische gegevens die in het verleden zijn verzameld, is vanzelfsprekend gebruik gemaakt van de beste computers in die tijd. Anno 2019 beschikken we echter over veel modernere computers met veel meer rekenkracht en slimmere technieken. Gelukkig zijn veel van deze gegevens bewaard gebleven. Het blijkt de moeite waard om in de komende jaren deze opnieuw te analyseren. Dit kan tegen lagere kosten dan het uitvoeren van nieuw seismisch onderzoek. Het levert echter net als seismisch onderzoek geen informatie over de eigenschappen van het gesteente.
- **Onderzoek boringen**
SCAN zal in de toekomst mogelijk ook een aantal wetenschappelijke boringen doen. Deze boringen zijn nodig om de eigenschappen van de gesteentelagen te kunnen bepalen. Aan de hand van het seismisch onderzoek, dat in 2019 startte, zullen we bepalen waar de proefboringen eventueel zullen plaatsvinden.
- **Onderzoekstudies**
SCAN helpt ook bij het in kaart brengen van lagen die mogelijk geschikt zijn voor het winnen van Ultradiepe Geothermie, of UDG. Aangezien de kalkstenen uit het Dinantien het meest kansrijk geacht worden en op die dieptes over geheel Nederland voor aardwarmte als een witte vlek beschouwd kunnen worden, vindt voor deze laag nog **meer aanvullend onderzoek** plaats. Ook wordt er onderzoek gedaan naar dingen zoals risico's en veiligheid bij aardwarmtewinning.



Figuur 10-1: Overzicht van de geplande seismische lijnen. Afhankelijk van de kosten in de uitvoering en de resultaten van de basislijnen wordt gekeken welke van de optionele stippellijnen uiteindelijk uitgevoerd worden. De overige lijnen zijn lijnen die buiten SCAN gefinancierd zijn met 50% publieke financiering. Deze worden in de uitvoering meegenomen vanwege schaalvoordeel. Ook deze lijnen komen na afronding direct openbaar beschikbaar.

Voor meer informatie over SCAN, de actuele status, de planning en de veel gestelde vragen wordt verwezen naar www.scanaardwarmte.nl

11. Referenties

- Berenschot. (2020). Potentie van aardwarmte in Nederland. Nederland. Utrecht.
- Berenschot, I.-T. C.-D. (2018). *Opschaling Aardwarmte in Warmtenetten*. Utrecht: EBN Gasunie.
- Carlson, T. (2019). *Petrophysical Report of the Dinantien Carbonates in the Dutch Subsurface*. Opgehaald van SCAN: <https://www.nlog.nl/sites/default/files/2019-OB>
- Greendeal. (2017). www.greendeals.nl/green-deals/ultradiepe-geothermie.
- hoewerkaardwarmte.nl. (sd). www.hoewerkaardwarmte.nl. Opgehaald van www.hoewerkaardwarmte.nl
- Mozafari, M. G. (2019). *Facies analysis and diagenetic evolution of the Dinantian carbonates in the Dutch subsurface*. Opgehaald van <https://www.nlog.nl/scan>
- Poty E. (2014). *Report on cuttings from the CAL-GT-01 borehole*. Utrecht: Unpublished report EBN BV.
- SCAN. (2019, September). *Geological evaluation for the seismic acquisition programme for SCAN areas F (Oost-Brabant and Noord-Limburg) and G (Zuid-Limburg)*. Opgehaald van www.kennisbank.ebn.nl: https://www.nlog.nl/sites/default/files/2019-09/scan_dinantian_facies_analysis_and_diagenetic_evolution_of_the_dinantian_carbonates_in_the_dutch_subsurface.pdf
- Stegers, D. (2018, mei 18). Geological study into geothermal potential near faultzones in the Roer Valley Graben and West Netherlands Basin. *Kennisagenda Aardwarmte*, p. 65.
- Ten Veen, J. D. (2019). *Seismic Interpretation and Depth Conversion of the Dinantien Carbonates in the Dutch subsurface*. Opgehaald van www.greendeals.nl/green-deals/ultradiepe-geothermie.
- TNO. (2018, November). www.dinoloket.nl. Opgehaald van Dinoloket: www.dinoloket.nl
- TNO. (2019). *NLOG.nl*. Opgehaald van NLOG: www.nlog.nl
- TNO. (2019). *ThermoGIS v2.1*. Opgehaald van www.thermogis.nl: www.thermogis.nl
- TNO et al. (2018). *Play-based portfolio benadering, eerste inzicht in zes voordelen voor veilig en verantwoord, kosteneffectief versnellen van geothermie*. Utrecht.
- TNO, Doornenbal, J. C., & Stevenson, A. G. (2010). *Petroleum Geological Atlas of the Southern Permian Basin Area*. Houten: EAGE Publications b.v.
- Veldkamp, H. (2020). *Temperature modelling of the Dutch subsurface at the depth of the Dinantien*. Opgehaald van www.nlog.nl/scan
- www.scanaardwarmte.nl. (2019). Opgehaald van Scanaardwarmte: <https://scanaardwarmte.nl>



Berenschot

Berenschot is een onafhankelijk organisatieadviesbureau met 350 medewerkers wereldwijd. Al 80 jaar verrassen wij onze opdrachtgevers in de publieke sector en het bedrijfsleven met slimme en nieuwe inzichten. We verwerven ze en maken ze toepasbaar. Dit door innovatie te koppelen aan creativiteit. Steeds opnieuw. Klanten kiezen voor Berenschot omdat onze adviezen hen op een voorsprong zetten.

Berenschot B.V.

Europalaan 40, 3526 KS Utrecht

Postbus 8039, 3503 RA Utrecht

030 2 916 916

www.berenschot.nl

[in/berenschot](https://www.linkedin.com/company/berenschot)