

Potentiestudie geothermie Midden Holland

Toelichting op methodieken en totstandkoming kaarten





Datum 13 mei 2020
Referentie 69408/RDx/20200513
Betreft Potentie geothermie Midden Holland
Behandeld door L. Borst, M. de Kruijf
Gecontroleerd door R. Dirkx
Versienummer Versie 1.0

OPDRACHTGEVER

RES Midden Holland en provincie Zuid-Holland
A. van der Maas
T 070 441 85 31
am.vander.maas@pzh.nl

INHOUDSOPGAVE

1	Introductie	4
2	Kader potentiëstudie	5
2.1	Bepalen van de potentie	5
2.2	Workflow	5
2.3	Formaties geschikt voor geothermie	5
2.4	Overzicht opgestelde kaarten	7
2.5	Omgevingsbelangen	8
3	Delft-Alblasserdam Member	9
3.1	Geologische inventarisatie	9
3.1.1	Putselectie	12
3.1.2	Putanalyse en opschaling	13
3.2	Achtergrond kaarten	14
3.2.1	Diepte	15
3.2.2	Breuken	15
3.2.3	Temperatuur	16
3.2.4	Netto dikte	16
3.2.5	Permeabiliteit	16
3.2.6	Debiet	17
3.2.7	Potentie	18
3.2.8	Warmtepotentie Delft-Alblasserdam Member	19
3.2.9	Onzekerheidskaart	21
4	Trias	23
4.1	Geologische inventarisatie	23
4.2	Petrofysica	24
4.2.1	Putselectie	24
4.2.2	Putanalyse	26
4.2.3	Perspectief	28
4.3	Achtergrond kaarten Röt Randzandsteen Laagpakket	29
4.3.1	Diepte	30
4.3.2	Dikte	30
4.3.3	Breuken	30
4.3.4	Temperatuur	30
4.3.5	Potentie	30
5	Referenties	31

1 Introductie

Om de duurzaamheidsdoelstellingen uit de diverse akkoorden te halen wordt gewerkt aan regionale energiestrategieën en gemeentelijke warmteplannen. Geothermie kan in potentie een significante bijdrage leveren aan deze doelstellingen. In het afwegingskader warmtebronnen van de provincie Zuid-Holland komt o.a. geothermie als meest wenselijke warmtebron voor de verwarming van woningen en gebouwen naar voren. Op dit moment is het echter onvoldoende duidelijk in welke mate en waar geothermie kan bijdrage aan de verduurzaming van de warmtebehoefte binnen de RES Midden Holland. Doel is om middels een verdieping op bestaande landelijke karteringen een set kaarten op te stellen die beter inzicht geven naar de mogelijkheden van geothermie in de regio.

Het regionale samenwerkingsverband Midden Holland wil gemeenten, bedrijfsleven en projectontwikkelaars faciliteren en stimuleren, door de kansen die geothermie biedt te inventariseren en beleid te concretiseren. In deze studie is, voor de vijf gemeentelijke gebieden binnen de regio Midden Holland, de potentie voor geothermie bepaald. Met de resulterende potentiekaart geothermie kan een inschatting gemaakt worden hoeveel dubletten maximaal gerealiseerd kunnen worden en kan de bijbehorende warmte die d.m.v. deze dubletten geproduceerd wordt worden bepaald.

Deze notitie beschrijft de geologische analyses en de totstandkoming van de onderliggende kaarten van de verschillende eigenschappen van de ondergrond die ten grondslag liggen aan de resulterende potentiekaart geothermie. Om de potentiekaart geothermie (GJ/ha/jaar) te kunnen maken worden in eerste instantie kaarten opgesteld voor diepte, temperatuur en debiet. De resulterende potentiekaart laat vervolgens zien welke locaties de hoogste geothermische potentie bevatten. Daarnaast is er een globale risicokaart opgesteld welke de mate van zekerheid van de geologische interpretatie van de ondergrond aangeeft.

2 Kader potentiëstudie

2.1 BEPALEN VAN DE POTENTIE

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

Op basis van deze factoren wordt bepaald welke gesteentelagen geschikt kunnen zijn voor geothermische warmteproductie. Voor de geschikt beoogde lagen wordt vervolgens een potentiekaart gemaakt op basis van de eerder genoemde parameters.

2.2 WORKFLOW

De workflow omvat globaal zes stappen en is schematisch weergegeven in onderstaand figuur (Figuur 2.1). De eerste stap wordt beschreven in hoofdstuk 2.3, de overige processtappen uit de workflow worden toegelicht in hoofdstuk 3 Delft-Alblasserdam Member en hoofdstuk 4 Trias.



Figuur 2.1 | Workflow opstellen potentiekaart geothermie.

2.3 FORMATIES GESCHIKT VOOR GEOTHERMIE

Deze studie betreft een bepaling van de geothermische potentie van laagpakketten in het Jura en het Trias. In 2016 heeft IF Technology een studie opgeleverd naar de mogelijkheden van geothermie voor de Provincie Zuid Holland. Uit deze studie blijkt dat de lagen uit het Trias interessant zijn voor de RES Midden Holland. De Trias Westland proefboring in Naaldwijk heeft in 2018 bevestigd dat diepgelegen Trias laagpakketten niet geschikt zijn voor geothermie. Echter, gebieden waar Trias laagpakketten minder diep begraven liggen zijn mogelijk wel interessant. Een voorbeeld is het succesvolle geothermie project in Brielle. Het Trias in de regio Midden Holland ligt in delen ook minder diep begraven en is daarom in deze studie verder onderzocht.

Het Jura is een bewezen reservoir voor geothermie in de regio's Westland, Den Haag en Oostland. Uit studies voor de gemeentes Katwijk en Noordwijk (IF Technology, 2019a) bleek dat laagpakketten in het Jura ook de meeste potentie biedt in die regio. Het onderzoek is vervolgens doorgetrokken voor een studie voor Holland Rijnland. De goede potenties voor het Jura in deze twee regio's maakt het zeer interessant om dit verder te onderzoeken voor de regio Midden Holland.

De relevante geothermische reservoirs voor deze studie zijn dikgedrukt weergegeven in Figuur 2.2. Voor het Jura zijn de zandhoudende lagen van de Nieuwekerk Formatie onderzocht, respectievelijk de Delft Zandsteen Member en de Alblasserdam Member. Omdat deze zandhoudende intervallen in het onderzoeksgebied in variabele mate zijn ontwikkeld, is ervoor gekozen om een gecombineerde Delft-Alblasserdam Member te hanteren. Deze is gedefinieerd als het grootste zandhoudende interval binnen de Nieuwekerk Formatie, dit is conform de eerder uitgevoerde studies door IF Technology voor het Den Haag Masterplan (IF Technology, 2018), de potentiëstudie voor Katwijk en Noordwijk (IF Technology, 2019a) en de potentiëstudie voor Holland Rijnland (IF Technology, 2020).

Voor het Trias zijn de volgende zandhoudende reservoirs bestudeerd:

- Het Röt Randzandsteen Laagpakket (Boven-Germaanse Trias Groep)
- Het Basale Solling Zandsteen Laagpakket (Boven-Germaanse Trias Groep)
- De Hardeggen Formatie (Onder-Germaanse Trias Groep)
- Het Onder-Detfurth Zandsteen Laagpakket (Onder-Germaanse Trias Groep)
- Het Boven-Volpriehausen Zandsteen Laagpakket (Onder-Germaanse Trias Groep)
- Het Onder-Volpriehausen Zandsteen Laagpakket (Onder-Germaanse Trias Groep)

De mogelijkheden voor het ontwikkelen van lokale (on)diepe geothermie projecten in andere potentieel interessante lagen zoals de Formatie van Maassluis (te ondiep), de Formatie van Oosterhout (te ondiep), de Rijswijk Member (niet aanwezig of te dun), de Slochteren Formatie (lage transmissiviteit) en de zandsteenlagen uit het Carboon (lage transmissiviteit) zijn in deze studie niet verder uitgewerkt.

De Formaties van Maassluis en Oosterhout zouden mogelijk wel geschikt zijn voor het toepassen van open en gesloten bodemenergiesystemen en middelhoge- en hogetemperatuuropslag. Dit is echter niet onderzocht in deze studie en vereist nader onderzoek.

Hoofdtijdperk	Periode	Tijdvak	Groep	Belangrijkste reservoir geothermie	
Cenozoïcum	Kwartair			Formatie van Maassluis	
	Tertair	Neogeen	Boven-Noordzee Groep	Oosterhout Formatie	
				Breda Formatie	
			Midden-Noordzee Groep	Voort Laagpakket	
		Paleogeen	Onder-Noordzee Groep	Vessem Laagpakket	
Mesozoïcum		Laat-Krijt	Krijtkalk Groep	Zand van Brussel Laagpakket	
	Krijt			Berkel Zandsteen Laagpakket	
		Vroeg Krijt	Rijnland Groep	Rijswijk Laagpakket	
	Jura	Laat-Jura	Schieland Groep	Nieuwekerk Formatie	Delft-Alblasserdam Member
		Midden-Jura			
		Vroeg-Jura	Altena Groep		
	Trias	Laat-Trias		Röt Randzandsteen Laagpakket	
		Midden-Trias	Boven-Germaanse Trias Groep	Basale Solling Zandsteen Laagpakket	
				Hardeggen Formatie	
				Boven-Detfurth Zandsteen Laagpakket	
				Onder-Detfurth Zandsteen Laagpakket	
		Vroeg-Trias	Onder-Germaanse Trias Groep	Boven-Volprieausen Zandsteen Laagpakket	
Paleozoïcum			Zechstein Groep	Onder-Volprieausen Zandsteen Laagpakket	
	Perm	Laat-Perm			
			Boven-Rotliegend Groep		
		Vroeg-Perm	Onder-Rotliegend Groep	Slochteren Formatie	
	Carboon	Silesien	Limburg Groep	Dinkel Subgroep	
	Devon	Dinantien	Kolenkalk Groep	Zeeland Formatie	
	Siluur				
	Ordovicium				
Precambrium		Cambrium			

Figuur 2.2 | Geologische tijdschaal met de belangrijkste reservoirs voor geothermie in Nederland (de relevante reservoirs voor de huidige studie zijn dikgedrukt). Gebaseerd op nomenclatuur zoals beschreven in (Van Adrichem Boogaert & Kouwe, 1993).

2.4 OVERZICHT OPGESTELDE KAARTEN

Om het geothermische potentieel te bestuderen zijn voor de Delft-Alblasserdam Member 7 kaarten opgesteld: een diepte-, temperatuur-, dikte-, permeabiliteit-, debiet- en potentiekaart. De potentie kaart is zowel in MW als in GJ/ha/jaar opgesteld. Voor het Trias zijn 3 kaarten opgesteld: een diepte-, dikte- en potentiekaart (Tabel 2.1). Daarnaast zijn er een aantal kaarten opgesteld om de omgevingsbelangen in kaart te brengen, te weten: grondwaterbelangen, Natura 2000, vergunningsgebieden aardwarmte en olie- en gasvelden.

Tabel 2.1 | Overzicht geproduceerde parameterkaarten en gehanteerde eenheden.

Reservoir	Diepte	Temperatuur mid-reservoir	Dikte	Permeabiliteit	Debiet	Potentie geothermie	Potentie geothermie
	[mTVD]	[°C]	[mTVD]	[mD]	[m ³ /h]	[MW]	[GJ/ha/jaar]
Delft- Alblasserdam Member	Ja	Ja	ja	ja	Ja	Ja	Ja
Röt Randzandsteen Laagpakket	Ja		Ja			Ja	

2.5 OMGEVINGSBELANGEN

Bij het aanvragen van een opsporingsvergunning en de eventueel navolgende winningsvergunning moet rekening gehouden worden met bovengrondse omgevingsbelangen. Hieronder vallen natuurgebieden, waterwingebieden, bestaande olie- en gasvelden, huidige opsporings- en winningsvergunningen voor geothermie, koolwaterstoffen en steenzout, en boringsvrije zones. De restricties die voor deze gebieden gelden worden hier toegelicht.

Bestaande olie- en gasvelden

Het is niet toegestaan in of door een gas- of olieveld te boren om vervolgens geothermische warmte te onttrekken. Boven of naast een bestaande koolwaterstofwinning een geothermiesysteem aanleggen en/of aardwarmte winnen mag wel, mits aangetoond wordt dat geen wederzijdse negatieve invloed optreedt.

Vergunningsgebieden geothermie

Het is niet toegestaan geothermie te winnen uit een gebied dat al een opsporingsvergunning vergund heeft gekregen.

Natura 2000

De biodiversiteit in Europa te beschermen zijn gebieden aangewezen die beschermd moeten worden. Van de verschillende soorten beschermingsgebieden liggen meerdere (delen van) "habitatrichtlijngebieden". Dat betekent dat in deze gebieden aangetoond moet worden dat de geplande bouwprojecten geen effect hebben op de lokale flora en fauna alvorens vergunningen verleend worden.

Drinkwaterbescherming

Voor de drinkwaterwinning worden grondwaterbeschermingsgebieden, waterwingebieden en boringsvrije zones onderscheiden. Binnen al deze gebieden geldt een restrictie op boringen. Met deze gebieden moet dus rekening gehouden worden bij de selectie van een projectlocatie.

3 Delft-Alblasserdam Member

3.1 GEOLOGISCHE INVENTARISATIE

De Delft-Alblasserdam Member is voor Zuid-Holland een belangrijk reservoir voor de exploitatie van aardwarmte. Er zijn op dit moment ca. 10 geothermische projecten gerealiseerd in deze gesteentelaag (met daarnaast meerdere nieuwe projecten in verschillende stadia van ontwikkeling). Binnen het onderzoeksgebied is deze laag bijna overal aanwezig, hoewel er variatie is in de dikte en diepte van het gesteente. Het gesteente heeft een fluviatiel karakter, waar de zanden van de Delft Zandsteen Member en de Alblasserdam Member beiden zijn afgezet als afzettingen in een laaggelegen kust-nabije vlakte. Omdat beide members onderdeel zijn van een soortgelijk depositiesysteem, worden ze samen gerekend als een potentieel reservoir, de Delft-Alblasserdam Member, zie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** voor een overzicht van de lokale stratigrafie en de bijbehorende naamgeving.

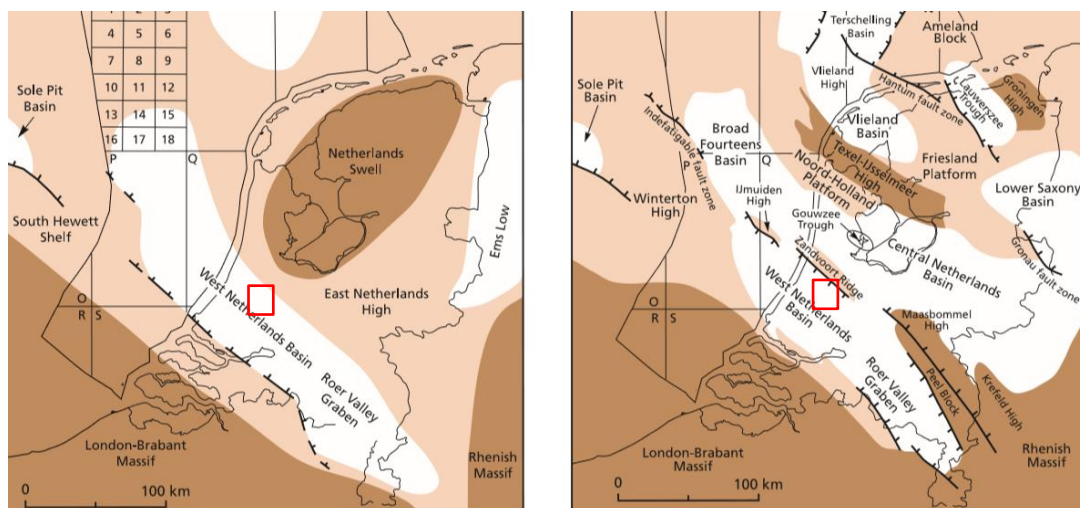
Tijdvak	Groep	Subgroep	Formatie	Laagpakket
Vroeg Krijt	Rijnland Groep		Vlieland Kleisteen Formatie	Vlieland Kleisteen Formatie
			Vlieland Zandsteen Formatie	De Lier Laagpakket Berkel Zandsteen Laagpakket Rijswijk Laagpakket
				Rodenrijs Kleisteen Laagpakket
Laat-Jura	Schieland Groep	Delfland Subgroep	Nieuwekerk Formatie	Delft Zandsteen Laagpakket Alblasserdam Laagpakket

Figuur 3.1 | Algemene stratigrafie van het Vroeg-Krijt en Laat-Jura binnen het onderzoeksgebied. De Laagpakketten binnen de Vlieland Zandsteen Formatie zijn in wisselende mate afgezet in deze regio.

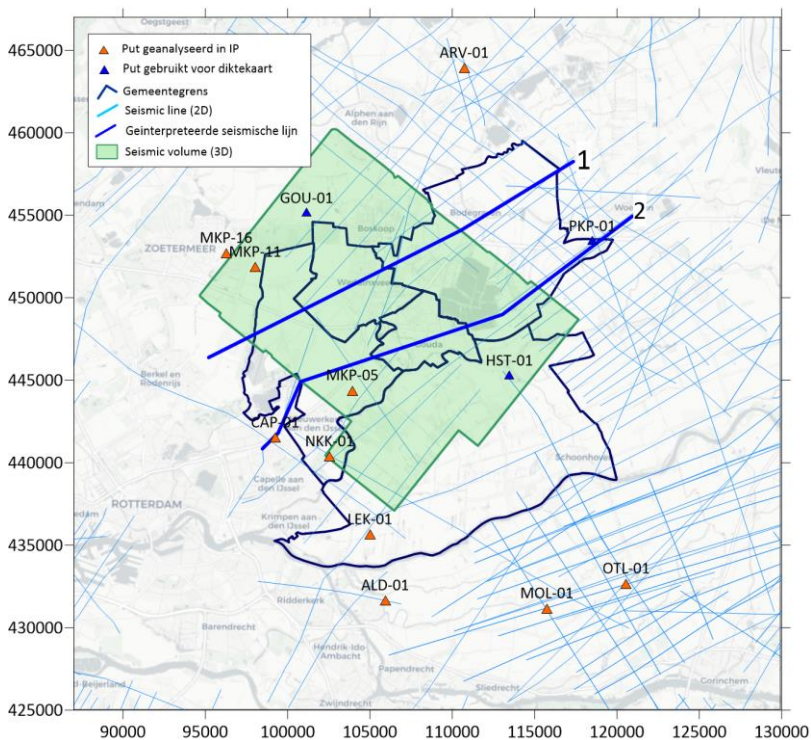
Er zijn een aantal geologische structuren die bepalend zijn voor de huidige diepteligging en reservoir eigenschappen van de Delft-Alblasserdam Member in de ondergrond. Het onderzoeksgebied is onderdeel van het West-Nederland Bekken, dit is een grote ZO-NW georiënteerde geologische structuur waarin de sedimenten van onder andere de Delft-Alblasserdam Member in zijn afgezet (Figuur 3.2). Binnen deze structuur zijn op lokale schaal ZO-NW georiënteerde compartimenten gevormd (ZO-NW blokken) afgesloten door parallel lopende breuken. Deze breuken zorgen ervoor dat de compartimenten geïsoleerde structuren in de ondergrond vormen. Ook zijn er verschillende breuken aanwezig binnen de compartimentstructuren. Deze lokale structuren gevormd tijdens het Jura hebben ervoor gezorgd dat er ~1 km dikke afzettingen van de Delft-Alblasserdam Member aanwezig zijn, waar op ander locaties er slechts enkele honderden meters aanwezig is. In het Laat-Krijt vond er erosie plaats waardoor afzettingen uit het Vroeg-Krijt en Laat-Jura, waaronder de Delft-Alblasserdam Member, zijn geërodeerd in het onderzoeksgebied. Een tweetal geïnterpreteerde seismische lijnen laten bovengenoemde trends zien (Figuur 3.3 en Figuur 3.4). Deze geologische processen hebben ervoor gezorgd dat er drie modaliteiten van de Delft-Alblasserdam Member aanwezig zijn binnen het onderzoeksgebied:

- 1 De Delft-Alblasserdam Member is voor een groot deel geërodeerd en een dun onderste deel van dit laagpakket is nog aanwezig.
- 2 De massieve zanden aan de top van de Delft-Alblasserdam Member zijn gedeeltelijk geërodeerd. Echter zijn er wel dikke opeenvolgingen van zandsteen en kleisteen aanwezig in de bekkenstructuren.

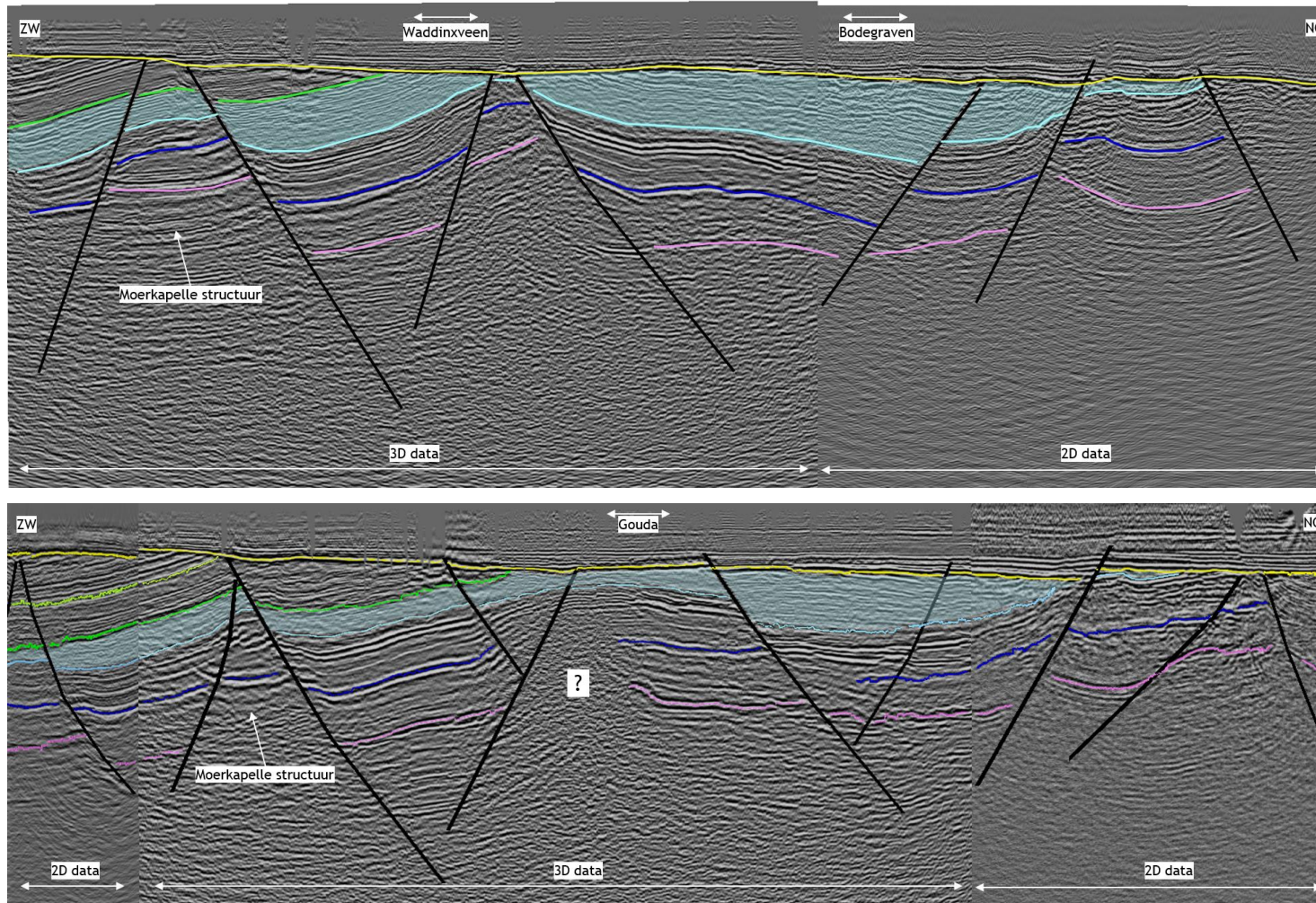
- 3 De Delft-Alblasserdam en (gedeeltelijk) bovenliggende sedimenten uit het Krijt zijn niet geërodeerd. Deze pakketten zijn doorgaans dunner en aanwezig op hoger gelegen structuren.



Figuur 3.2 | Kaart van de structurele elementen in Nederland ten tijden van het laat Trias tot het Midden Jura. Rechts: Structurele geologische elementen gevormd ten tijde van het Laat Jura - Vroeg Krijt. Donker bruin: topografisch hoog, licht bruin: platform, wit: bekken. De projectlocatie bevindt zich in de rode rechthoek. Beide kaarten komen uit (Wong, 2007).



Figuur 3.3 | Kaart met daarop de locatie van de 2 geïnterpreteerde seismische lijnen. De geïnterpreteerde lijnen bestaan uit een samenvoeging van 2D en 3D seismische data om structuren over het gehele gebied inzichtelijk te maken. Alleen het 3D seismische volume (L3NAM1989B) dat gebruikt is in deze studie is afgebeeld. Voor een overzicht van alle beschikbare 3D seismiek in de regio wordt verwezen naar www.nlog.nl.



Figuur 3.4 | Boven: Seismische lijn 1, onder: seismische lijn 2. Duidelijk zichtbaar zijn de regionale breuken die de regio opdelen in compartimenten. Rondom Waddinxveen, Gouda en ten noordoosten van Bodegraven is de Delft-Alblasserdam zichtbaar geërodeerd en daardoor minder dik. De lijnen laten ook de variërende diepteligging van de verschillende lagen zien. Legenda: geel = basis Noordzee Gr, licht groen = basis Chalk Gr, groen = basis Rijnland Gr, cyan = basis Nieuwerkerk Fm, blauw = Posidonia Shale, paars = Top Trias. Opmerking: er is geen uitgebreide seismische interpretatie in de regio uitgevoerd en er zijn geen seismic-to-well ties gemaakt.

3.1.1 Putselectie

Om de potentie van de Delft-Alblasserdam Member in kaart te brengen zijn petrofysische analyses uitgevoerd. Deze analyses gebruiken publiek beschikbare data van putten in en in de nabijheid van het onderzoeksgebied. Om een zo goed mogelijke inschatting te maken van de distributie en de eigenschappen van het te onderzoeken reservoir is er een putselectie gemaakt.

Deze selectie houdt rekening met de volgende factoren:

- het aanboren van de geschikte waterhoudende reservoirs;
- de geografische datadichtheid;
- de ontwikkeling van geologische bekkenstructuren in de ondergrond;
- de kwaliteit van de data (o.a. boorgatmetingen, rapporten, putttesten, watermetingen);
- de beschikbare kerndata;
- de verwachte dikte van het reservoir.

Voor de Delft-Alblasserdam Member heeft dit voor de petrofysische analyse tot de volgende putselectie geleid (Tabel 3.1 en

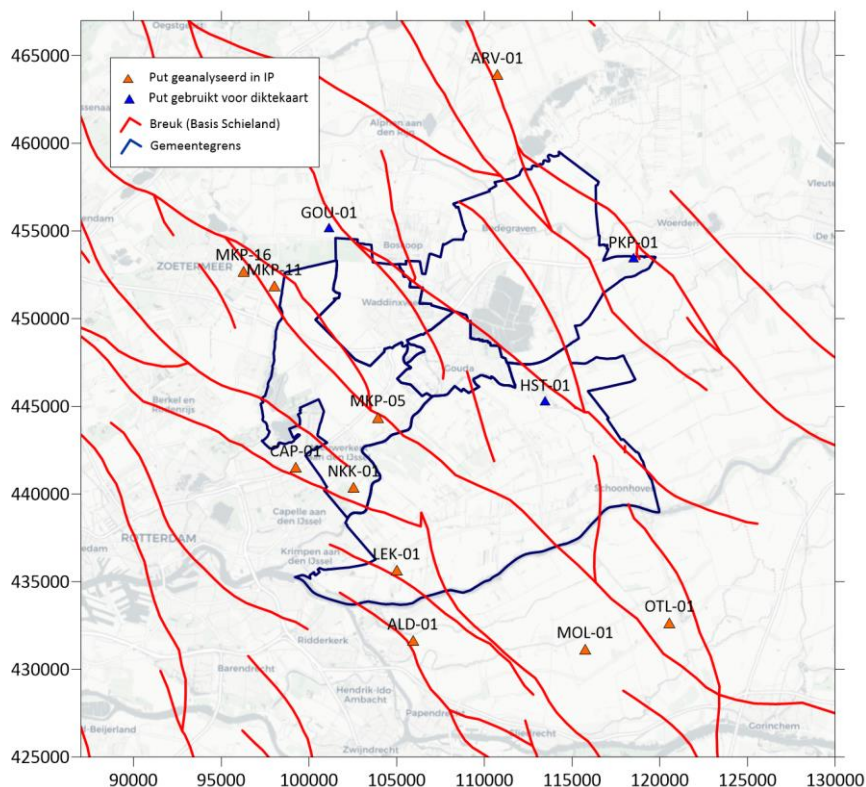
Tabel 3.2), zie Figuur 3.5.

Tabel 3.1 | Putselectie voor de petrofysische analyse. *Deze putten zijn alleen aanvullend gebruikt om de netto-bruto verhoudingen en de netto-zanddiktes te bepalen. Voor de GOU-01 en HST-01 putten geldt dat deze putten in 1944 en 1951 zijn geboord. PKP-01 bevindt zich rond een breukzone waardoor deze put in beperkte mate representatief is voor het onderzoeksgebied.

Putnaam							
ALD-01	ARV-01	CAP-01	LEK-01	MKP-05	MKP-11	MKP-16	MOL-01
NKK-01	OTL-01	GOU-01*	HST-01*	PKP-01*			

Tabel 3.2 | Putten niet meegenomen in petrofysische analyse.

Putnaam	Opmerking
HST-02, HST-02-01	Delft-Alblasserdam Member sterk geërodeerd, geboord op breuk, niet representatief
BEN-01, BLE-01, GOU-02, STO-01, BLG-01, BLG-02	Te ondiep of zeer sterk geërodeerde Delft-Alblasserdam Member
MRK-01	Geen Delft Alblasserdam Member aangeboord
MOL-01, MOL-02, OAS-01, WGD-01 Putten Ridderkerk en IJsselmonde olievelden	Afwijkende geologische structuur
LSL-GT-01, LSL-GT-02	Geen logdata beschikbaar
VDB-GT-01, VDB-GT-02, VDB-GT-03 VDB-GT-04	Gelimiteerde logdata beschikbaar en afwijkende geologische structuur
Resterende putten Moerkappelle (MKP)	Gelimiteerde logdata en voldoende dekking door representatieve andere MKP putten



Figuur 3.5 | Locatie van de putten geselecteerd voor petrofysische analyse en diktebepaling. De contouren van de 5 gemeenten binnen de regio Midden Holland zijn zichtbaar in donkerblauw. De breuken liggen op de diepte van de Basis van de Schieland Groep.

3.1.2 Putanalyse en opschaling

De reservoir eigenschappen worden bepaald middels een petrofysische analyse van openbaar beschikbare putdata. Verschillende boorgatmetingen, van de geselecteerde putten (Tabel 3.1), zijn geïnterpreteerd met Interactive Petrophysics (IP) software. De beschikbare boorgatmetingen zijn gebruikt om de samenstelling (o.a. zand- en kleigehalte), water saturatie, temperatuur, dikte, porositeit en permeabiliteit te bepalen.

Middels het NLOG portaal is alle publiekelijk beschikbare kerndata van de Delft Zandsteen Member en de Alblasserdam Member voor alle putten in Nederland (on-en-offshore) ontsloten. Deze members bevindt zich uitsluitend in het West-Nederland Bekken in Nederland. De onderzoekslocatie Midden Holland bevindt zich ook in deze geologische structuur. Er is gekozen om de gehele kerndataset (afkortingen: SLDNA, SLDND, SLDN) te gebruiken om een porositeits-permeabiliteitsrelatie op log-schaal op te stellen. Deze selectie van kerndata bestaat uit 1011 paren van porositeit en horizontale permeabiliteit, op basis van 43 putten. Deze methodiek komt overeen met de studie naar de potentie voor geothermie in de regio Holland Rijnland (IF Technology, 2020).

De resultaten van de petrofysische analyse zijn weergegeven in Tabel 3.3, een voorbeeld van een geïnterpreteerde set putdata is gegeven voor de LEK-01 put (Bijlage 1). De resultaten zijn gegenereerd op basis van een Monte Carlo analyse waarin het p50 scenario is gepresenteerd.

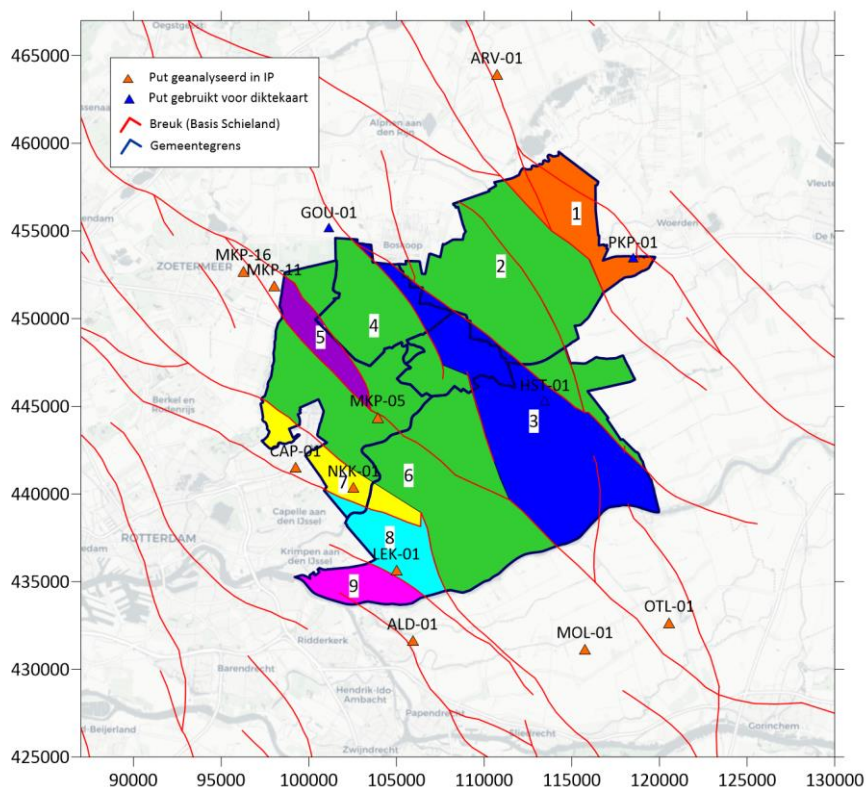
De putten zijn doorgaans in de jaren 60 geboord, dit betekend dat er verouderde logs aanwezig zijn (resistiviteit, spontaneous potential). Dit betekend dat boorgatmetingen zoals akoestische snelheden, gamma ray, neutron porositeit en dichtheidsmetingen ontbreken. Dit heeft invloed op het detailniveau waarmee het reservoir bestudeert kan worden (porositeit, onderscheid zand-klei). Bevorderlijk is de aanwezigheid van kerndata voor het merendeel van de putten, hierdoor is de berekende porositeit en de permeabiliteit op basis van de logdata te kalibreren.

Tabel 3.3 | Resultaten van de petrofysische analyse. MD (measured depth) is de diepte gemeten langs het boortraject, TVD (true vertical depth) is de daadwerkelijke diepte ten opzichte van de bovengrond. *Voor deze putten is alleen de netto dikte en de bruto-netto dikte verhouding bepaald.

Put	Top [MD, m]	Top [TVD, m]	Bruto dikte [m]	Netto dikte [m]	Bruto-netto dikte verhouding [-]	Gemiddelde porositeit [-]	Gemiddelde water saturatie [-]	Gemiddelde kleivolume [-]	Gemiddelde permeabiliteit [mD]	Transmissiviteit [Dm]
ALD-01	1.091	1.091	200	114	0,57	0,20	0,87	0,25	792	91
ARV-01	830	830	66	63	0,95	0,21	0,83	0,08	932	58
CAP-01	1.768	1.768	119	42	0,36	0,18	0,58	0,24	649	28
LEK-01	814	814	200	138	0,69	0,28	0,94	0,15	852	118
MKP-05	873	873	74	47	0,64	0,22	0,98	0,13	1.012	48
MKP-11	856	761	39	34	0,87	0,24	0,23	0,18	1.264	43
MKP-16	920	867	199	133	0,67	0,14	0,72	0,25	252	33
MOL-01	688	688	200	77	0,39	0,20	0,85	0,20	787	61
NKK-01	1.251	1.251	200	90	0,45	0,21	0,89	0,19	970	87
OTL-01	671	647	179	114	0,64	0,21	0,88	0,23	878	101
*GOU-01	546	546	117	58	0.50					
*HST-01	649	588	82	57	0.70					
*PKP-01	588	609	126	25	0.20					

3.2 ACHTERGROND KAARTEN

Om een potentiekaart te genereren is er informatie nodig over de netto dikte, permeabiliteit en temperatuur. In een scenario met een hoge putdichtheid en een gelijkmatige verdeling over het onderzoeksgebied is het mogelijk om per bovengenoemde parameter een kaart te maken op basis van gemiddelde putresultaten (zoals weergegeven in Tabel 3.3) Hiervoor is de datadichtheid in de regio Midden-Holland, op diepte- en temperatuurkaarten na, helaas niet toereikend. Daarom is gekozen om het gebied in 9 zones op te delen waarvan de netto reservoirdikte en de permeabiliteit voor elk gebied is ingeschat op basis van putdata (Figuur 3.6, Tabel 3.5 en **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**). Vervolgens is op basis van de reservoir eigenschappen (netto dikte, permeabiliteit en temperatuur (grid)) op elk punt in het gebied het verwachte debiet en de thermische potentie berekend.



Figuur 3.6 | Verschillende zones met gelijkmatige reservoir eigenschappen (permeabiliteit en netto dikte). In zones met gelijke kleur zijn de reservoir eigenschappen gelijk.

3.2.1

Diepte

De dieptekaart van het midden van het zandpakket (het reservoir) in de Delft-Alblasserdam Member is gebaseerd op de basis Rijnland Groep dieptekaart van DGM V.5 en de petrofysische analyse. De basis Rijnland Groep dieptekaart van DGM V.5 staat gelijk aan de top Schieland dieptekaart. Doordat de Rodenrijs Member en de Delft Zandsteen Member niet aanwezig zijn is de Schieland Groep in het studiegebied gelijk aan de Alblasserdam Member (Figuur 3.1).

Het reservoir is een zandpakket binnen de Alblasserdam Member. De diepte van dit reservoir is bepaald aan de hand van de petrofysische analyse: hieruit volgt dat de zandrijke pakketten zich over het algemeen in het verticale midden van de Schieland groep bevinden (Bijlage 1). Door de diktekaart te halveren en die bij de dieptekaart van de top van de Schieland Groep op te tellen is een dieptekaart van het midden van het reservoir gemaakt.

3.2.2

Breuken

De breuken van de basis van de Delft-Alblasserdam Member zijn gebaseerd op het geologische model DGM V.2. De drukverandering in het reservoir als gevolg van een geothermieproject kan er voor zorgen dat breuken gereactiveerd worden, wat kan resulteren in geïnduceerde seismiteit (aardbevingen). De breuken op deze kaart volgen uit een regionaal model: voorafgaand aan de realisatie van een project dient er een gedetailleerdere structurele analyse gedaan te worden om er voor te zorgen dat de putten niet te dicht bij de breuken geplaatst worden, om het risico op geïnduceerde seismiteit te minimaliseren.

3.2.3 Temperatuur

De geothermische gradiënt van de Delft-Alblasserdam Member is bepaald op basis van boorgatmetingen van 22 regionale putten (ARV-01, BLG-01, BLG-02, BSKP-01, CAP-01, HST-01, HST-02, IJS-64, LEK-01, MKP-01, MKP-02, MKP-04, MKP-14, MRK-01, MOL-01, MRK-01, NKK-01, NKK-02, PKP-01, RKK-32, VDB-GT-03 en WLK-01).

De gradiënt wordt beschreven met de volgende relatie (T =temperatuur [$^{\circ}\text{C}$], z = diepte [m]):

$$T = 0,0312 * z + 10$$

Deze relatie is gebruikt om op basis van de dieptekaart van het midden van het zandpakket (het reservoir) van de Delft-Alblasserdam Member een temperatuurkaart te maken.

3.2.4 Netto dikte

Omdat de datadichtheid in het gebied niet toereikend is om een diktekaart te maken is gekozen om het gebied in 9 zones op te delen waarvan de netto reservoirdikte en de permeabiliteit constant worden geacht (Figuur 3.6). Voor elk gebied is de reservoirdikte ingeschat op basis van representatieve putten (Tabel 3.4). Hierbij is ervoor gekozen om putten die in het gebied liggen voor 50% mee te laten wegen, en de andere putten die representatief worden geacht gezamenlijk voor de andere 50%.

Tabel 3.4 | Ingeschatte reservoirdikte per zone.

Zone	Representatieve putten voor de reservoirdikte	Dikte (netto) [mTVD]
1	ARV-01, PKP-01	55
2	OTL-01, ALD-01, LEK-01, MOL-01, NKK-01, GOU-01	99
3	OTL-01, HST-01	87
4	OTL-01, ALD-01, LEK-01, MOL-01, NKK-01, GOU-01	99
5	Oliewingebied, dus geen potentie voor geothermie	
6	OTL-01, ALD-01, LEK-01, MOL-01, NKK-01, GOU-01	99
7	OTL-01, ALD-01, LEK-01, MOL-01, NKK-01 (x4)	101
8	OTL-01, ALD-01, LEK-01 (x4), MOL-01, NKK-01	119
9	OTL-01, ALD-01(x4), LEK-01, MOL-01, NKK-02	110

3.2.5 Permeabiliteit

Omdat de datadichtheid in het gebied niet toereikend is om een permeabiliteitskaart te maken is gekozen om het gebied in 9 zones op te delen waarvan de netto reservoirdikte en de permeabiliteit constant worden geacht (Figuur 3.6). Voor elk gebied is de reservoirpermeabiliteit ingeschat op basis van representatieve putten (Tabel 3.5). Hierbij is ervoor gekozen om putten die in het gebied liggen voor 50% mee te laten wegen, en de andere putten die representatief worden geacht gezamenlijk voor de andere 50%.

Tabel 3.5 | Ingeschatte reservoirpermeabiliteit per zone.

Zone	Representatieve putten voor permeabiliteit	Permeabiliteit [mD]
1	ARV-01	932
2	OTL-01, ALD-01, LEK-01, MOL-01, NKK-01	856
3	OTL-01	878
4	OTL-01, ALD-01, LEK-01, MOL-01, NKK-01	856
5	Oliewingebied, dus geen potentie voor geothermie	
6	OTL-01, ALD-01, LEK-01, MOL-01, NKK-01	856
7	OTL-01, ALD-01, LEK-01, MOL-01, NKK-01 (x4)	898
8	OTL-01, ALD-01, LEK-01 (x4), MOL-01, NKK-01	854
9	OTL-01, ALD-01(x4), LEK-01, MOL-01, NKK-01	832

3.2.6 Debiet

De standaard methode om maximaal haalbare debieten uit te rekenen tot het moment van zandlevering gaat volgens een IF-norm. Deze is geijkt tot een diepte van 200 m, en gaat uit van een maximaal toelaatbare snelheid waarmee water aan een reservoir kan worden onttrokken. Echter, omdat op grotere diepte de frictie tussen de korrels groter wordt, zal een groter debiet haalbaar zijn tot het moment van zandlevering. Om een debietkaart (m³/h) te maken met de haalbare debieten is voor elk van de 9 zones op basis van de bepaalde netto reservoirdikte en permeabiliteit een relatie opgesteld die afhankelijk is van de diepte van het midden van het reservoir. De relatie is bepaald aan de hand van de Drucker-Prager methode (Yi, 2003). Deze methode wordt voornamelijk gebruikt in de olie- en gasindustrie, en is nog niet gebruikt om debieten in te schatten voor geothermieprojecten. Maar gezien de achterliggende fysica is het aannemelijk dat deze methode ook toepasbaar is voor ondiepe geothermieprojecten in semi-geconsolideerde zanden (IF Technology, 2019b).

De methode baseert zich op de drukverandering in het reservoir als gevolg van het opgepompte water. De Poisson ratio van zandsteen kan variëren tussen de 0,15 m (los) en de 0,40 m (geconsolideerd) en is hier ingeschat op 0,27 m. Deze en overige inputwaarden zijn weergegeven in Tabel 3.6. De relaties tussen de diepte en het te behalen debiet zijn voor elk van de zones weergegeven in Tabel 3.7. Het te behalen debiet is gemaximaliseerd op 450 m³/h: de Drucker Prager methode is bedoeld voor ongeconsolideerde zanden. Vanaf dieptes van ongeveer 1500 m zullen de zanden overwegend geconsolideerd zijn, en de te behalen debieten dus relatief hoog. Echter, op dit punt is het niet de zandlevering die de maximale potentie bepaald, maar de COP, of het ontwerp van de put zelf. Over het algemeen wordt een geothermieproject gedimensioneerd op een debiet van maximaal 450 m³/h. Een hoger debiet oppompen kost relatief veel elektriciteit.

Op basis van deze relatie is een debietkaart opgesteld m.b.v. de kaart van de diepte van het midden van de Delft-Alblasserdam Member en de bijbehorende netto dikte.

Tabel 3.6 | Inputwaarden gebruikt in de debietbepaling op basis van de Drucker-Prager methode.

Parameter	Eenheid	Waarde
Dikte	[m]	Per gebied bepaald, zie Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.
Permeabiliteit	[mD]	Per gebied bepaald, zie Tabel 3.5
Diepte	[mTVD]	Kaart
Poisson's ratio	[m]	0,27
Yd	[kN/m ³]	18
Rondheid van de zandkorrels	[-]	0,66
Putdiameter	[m]	0,8
Biot-Willis	[-]	1
D10 korrelgrootte	[mm]	0,039
SHmax'	[bar/bar]	1,05

Tabel 3.7 | Diepte-debiet relaties voor het reservoir in de Delft-Alblasserdam Member.

Zone	Relatie
1	Debiet = 0,0974 * diepte
2	Debiet = 0,2531 * diepte
3	Debiet = 0,2297 * diepte
4	Debiet = 0,2531 * diepte
5	Geen potentie, oliewingebied
6	Debiet = 0,2531 * diepte
7	Debiet = 0,2698 * diepte
8	Debiet = 0,2999 * diepte
9	Debiet = 0,3362 * diepte

3.2.7 Potentie

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

$$\text{Potentie [MW]} = (\text{debiet [m}^3/\text{h]} * \Delta T [^{\circ}\text{C}] * C_w [\text{J/m}^3\text{C}]) / 3.600.000.000$$

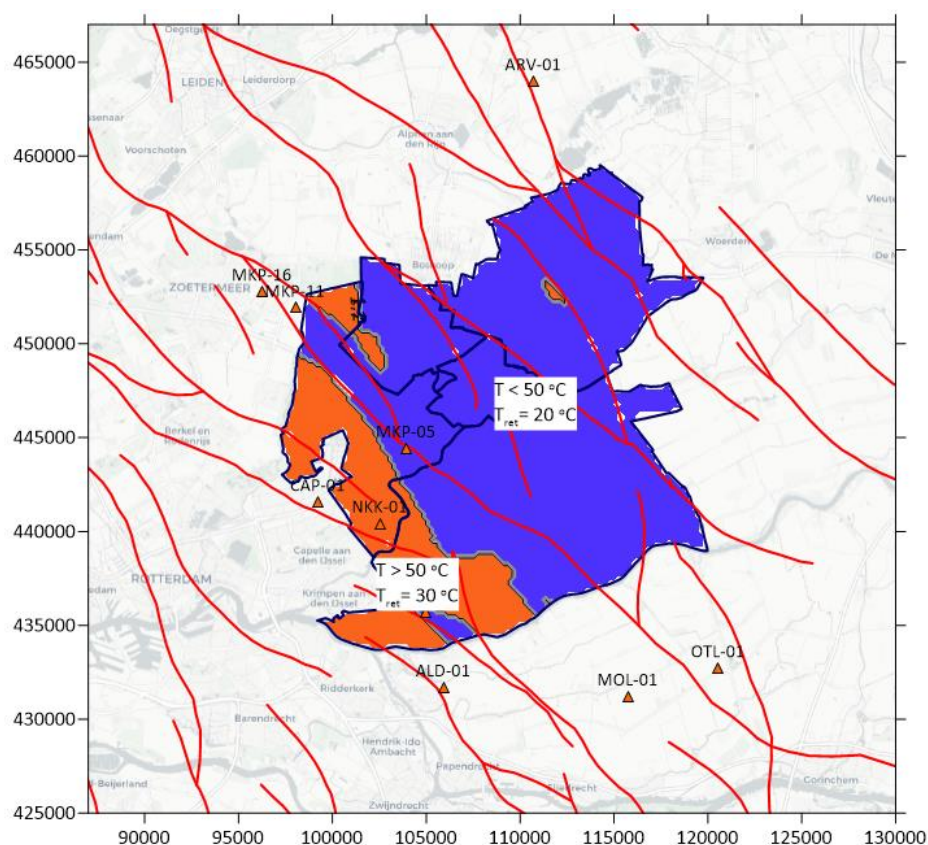
De potentie hangt dus af van het debiet, het verschil in temperatuur van het geproduceerde en het geïnjecteerde water, en de warmtecapaciteit van het geproduceerde water. In Tabel 3.8 staan de waarden van de gebruikte parameters. Het diepteverloop van het reservoir is relatief groot, waardoor met twee verschillende retourtemperaturen is gerekend: bij een reservoirtemperatuur hoger dan 50°C is een retourtemperatuur van 30°C gangbaar, bij temperaturen lager dan 50°C is dat een retourtemperatuur van 20°C. In Figuur 3.7 is weergegeven met welke retourtemperatuur gerekend is. Let op: bij realisatie van een project zal een gedetailleerdere studie uitgevoerd moeten worden waarbij een retourtemperatuur gekozen wordt die past bij de ondergrond en de afnemer. Ook moet er bij het plaatsten van putten rekening gehouden worden met een aantal factoren: er moet een marge van ongeveer 500 m aangehouden ten opzichte van breuken op reservoirniveau om het risico op geïnduceerde seismiteit te minimaliseren. Ook moet er rekening gehouden worden met bovengrondse belangen, zoals drinkwaterwinning, olie- of gaswinning en natuurgebieden. In deze gebieden gelden restricties op boringen. In deze kaart, die de ondergrondse potentie beschrijft, zijn deze factoren nog niet meegenomen, op één gebied na: voor

gebied 5 (Figuur 2.1Figuur 3.6) is de potentie niet uitgerekend omdat dit een oliewingebied is, en dus niet geschikt voor geothermie.

De potentie in [MW] is vervolgens omgerekend naar een potentie in [GJ/ha/jaar], middels de uitgangspunten in Tabel 3.8.

Tabel 3.8 | Uitgangspunten potentieberekening Delft-Alblasserdam Member in de regio Midden-Holland.

Parameter	Eenheid	Waarde
Retourtemperatuur bij reservoirtemperatuur < 50°C	[°C]	20
Retourtemperatuur bij reservoirtemperatuur > 50°C	[°C]	30
Warmtecapaciteit water (Cw)	[J/m ³ *°C]	4000000
Afstand tussen productie- en injectieput	[m]	1200
Vollasturen	[h]	6000



Figuur 3.7 | Kaart met in blauw de gebieden met een reservoirtemperatuur van onder de 50°C, en in oranje de gebieden met een reservoirtemperatuur van boven de 50°C.

3.2.8

Warmtepotentie Delft-Alblasserdam Member

De warmtepotentie van de Delft-Alblasserdam Member laat zich momenteel vooral uitdrukken in de hoeveelheid warmte die zich daar bevindt: 'Heat in Place'. Als je gaat bekijken welke hoeveelheid van deze totale warmtepotentie technisch te winnen is, zonder daarbij stil te staan bij de economische parameters, warmtevraag, infrastructuur en bovengrondse belangen, heb je het over

de 'Potential Recoverable Heat'. Op het moment dat de economische aspecten en andere belangen meegewogen worden, zal blijken dat niet de volledige technische capaciteit daadwerkelijk winbaar is. De zgn. 'Recoverable Heat' is de warmtepotentie die ook economisch winbaar is.

Om een beeld te krijgen van de 'Potential Recoverable Heat' in de regio Midden-Holland zijn in Figuur 3.8 putlocaties voorgesteld. De doubletten zijn zo geplaatst om een indicatie van de potentieel winbare warmte in de regio te krijgen. De exacte doubletlocaties en oriëntaties zullen nog verschuiven na lokale verdiepende studies. Omdat de ingetekende doubletlocaties enkel ondergrondse locaties zijn, zijn op de kaart geen oppervlaktelocaties ingetekend van waaruit de productie- en injectieput geboord kunnen worden. De mogelijke oppervlaktelocatie van een doublet kan horizontaal verschillen van ondergrondse putlocaties. Deze horizontale afstand is afhankelijk van o.a. de diepte van het reservoir.

Bij het plaatsen van de doubletten is alleen rekening gehouden met ondergrondse factoren, en niet met bovengrondse warmtevraag, aanwezige of toekomstige infrastructuur en andere belangen aan het aardoppervlak. Ondanks dat er geen oppervlaktelocaties mogen komen in boringsvrije zones, waterwingebieden of natura 2000 gebieden, kan er eventueel wel onder deze gebieden door geboord worden. Een mogelijk knelpunt is bijvoorbeeld het doublet dat ingepast is direct ten zuidoosten van Krimpen aan den IJssel: hier liggen een drinkwaterwinningszone en een olieveld. Meer informatie over bovengrondse belangen is te vinden in paragraaf 2.5: Omgevingsbelangen.

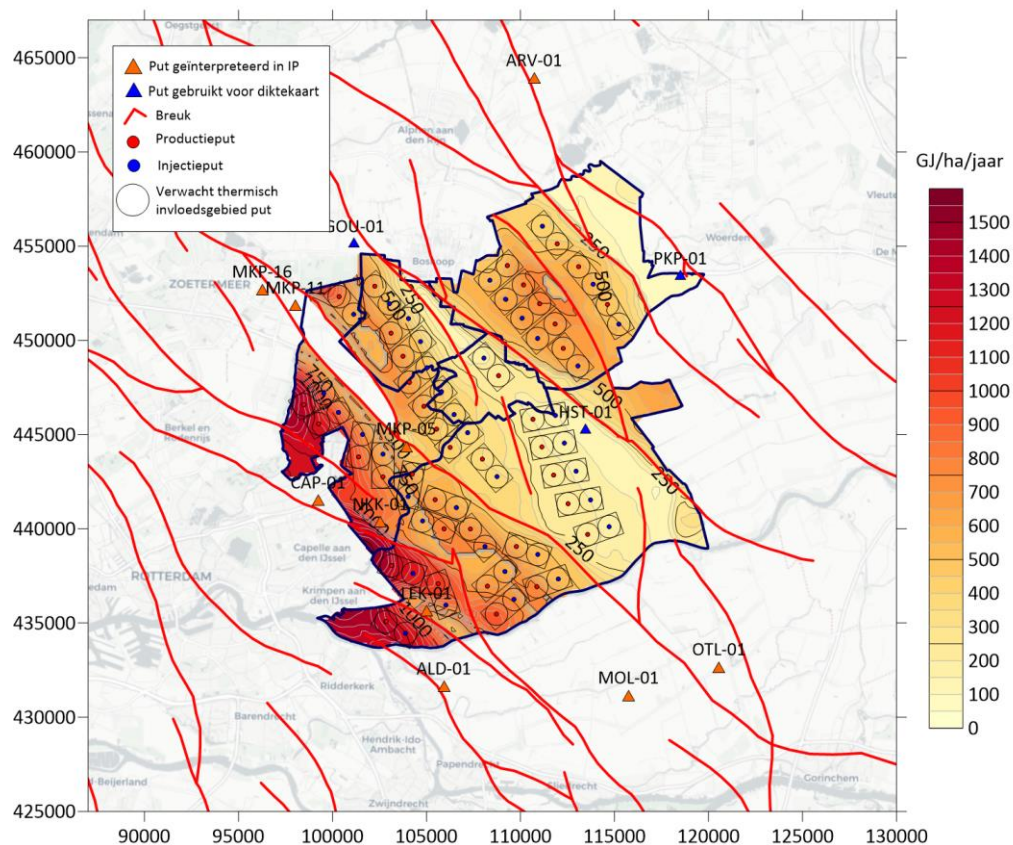
Om de 'Potential Recoverable Heat' in te schatten wordt per doublet bepaald wat de gemiddelde potentie (GJ/ha/jaar) in het gebied met een straal van 600 m om de productieput is. Het oppervlak van dit gebied is ongeveer 113 ha. De potentie wordt dus berekend door de gemiddelde potentie in GJ/ha/jaar te vermenigvuldigen met het oppervlak van 113 ha. Het totale thermische potentieel voor de voorgestelde configuratie is weergegeven in Tabel 3.9.

De ondergrondse factoren waar rekening mee gehouden is, zijn:

- De afstand tussen de putten is 1.200 m.
- Om de doubletten is een gebied van 2,4 bij 1,2 km getekend waarbinnen geen andere putten geboord kunnen worden, om thermische doorbraak te voorkomen.
- De afstand van de ondergrondse putlocaties tot breuken is minimaal 500 m.
- Er wordt uitgegaan van conventionele boortechnieken. Er zijn technieken die ervoor kunnen zorgen dat de potentie groter is, een voorbeeld hiervan is een horizontale put.
- De productieputten worden in gebieden met een zo hoog mogelijke energetische potentie geplaatst. Daarbij wordt een minimum van 100 GJ/ha/jaar aangehouden.
- De MKP-horst (gebied 5 in Figuur 2.1, Figuur 3.6, wit in de potentiëkaart van Figuur 3.8) is een oliewingebied, dit gebied is niet geschikt voor geothermie dus hier is de potentie niet voor bepaald en hier is dus ook geen doublet ingepast.

Tabel 3.9 | De 'Potential Recoverable Heat'. Dit is een optelsom van het thermisch potentieel van 38 doubletten.

Thermisch potentieel [GJ/jaar]	Thermisch potentieel [PJ/jaar]
$2,8 \times 10^6$	2,8

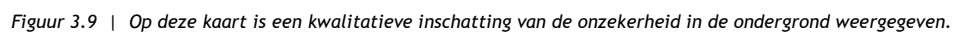


Figuur 3.8 | Inpassing van 38 geothermische doubletten in de regio Midden-Holland voor het bepalen van de "Potential Recoverable Heat".

3.2.9

Onzekerheidskaart

Om een kwalitatieve inschatting te maken van de onzekerheid in de ondergrond is er een globale onzekerheidskaart opgesteld (Figuur 3.9). Hierin is onderscheid gemaakt in de onzekerheid in drie gradaties: 1) lage onzekerheid, 2) gemiddelde onzekerheid door afstand putdata en bekkenstructuur, 3) hoge onzekerheid door afstand putdata en grootschalige erosie. Zone 3 komt overeen met zones waar grootschalige erosie heeft plaatsgevonden. Hierdoor is er een relatief dunne Delft-Alblasserdam Member aanwezig, waarvoor de reservoir eigenschappen doorgaans slechter zijn. In Zone 1 is er relatief hoge dichtheid van representatieve putten, waardoor de eigenschappen van het reservoir beter bepaald kunnen worden. In Zone 2 zijn diepere bekkenstructuren aanwezig waarin geen directe putdata voor beschikbaar is, dit verhoogd de onzekerheid.



4 Trias

4.1 GEOLOGISCHE INVENTARISATIE

De zandsteenpakketten in het Trias vormen een belangrijk potentieel reservoir voor de ontwikkeling van geothermie. Daarnaast is het na de Slochteren Formatie (o.a. Groningen gasveld) het belangrijkste reservoirgesteente voor gas. Op dit moment is er één geothermisch systeem dat uitsluitend uit het Trias produceert. Dit is het Aardwarmte Vierpolders project (Brielle, Zuid-Holland), waar een doublet ca. 16 MWt produceert met een productietemperatuur van ca. 82 graden Celsius.

Tijdens het Trias zijn er zandhoudende reservoirs gevormd binnen het onderzoeksgebied, waaronder:

- Het Röt Randzandsteen Laagpakket (Boven-Germaanse Trias Groep)
- Het Basale Solling Zandsteen Laagpakket (Boven-Germaanse Trias Groep)
- De Hardeggen Formatie (Onder-Germaanse Trias Groep)
- Het Onder-Detfurth Zandsteen Laagpakket (Onder-Germaanse Trias Groep)
- Het Boven-Volprieausen Zandsteen Laagpakket (Onder-Germaanse Trias Groep)
- Het Onder-Volprieausen Zandsteen Laagpakket (Onder-Germaanse Trias Groep)

Het Trias is onder te verdelen in de Boven-Germaanse Trias Groep en de Onder-Germaanse Trias Groep. De reservoirs in het onderzoeksgebied uit de Boven-Germaanse Trias Groep bestaan uit een serie massieve zandstenen met intercalaties van kleistenen, die zijn gevormd in een gerestricteerde mariene omgeving met aanvoer van rivierafzettingen (Figuur 4.1). De reservoirs binnen de Onder-Germaanse Trias Groep zijn gevormd in een meer-en en riviervlakte omgeving met aride invloed. Ze bestaan voornamelijk uit grijze-tot-roodbruine zandstenen en siltige kleistenen. De bovengenoemde zandpakketten zijn niet opeenvolgend afgezet, maar worden van elkaar gescheiden door minder doorlatende lagen. Daarnaast hebben diverse geologische processen ervoor gezorgd dat deze reservoirs niet consistent aanwezig zijn in de ondergrond van Midden Holland (zie Tabel 4.1 en Bijlage 3).

Tijdvak	Groep	Subgroep	Formatie	Laagpakket
Laat-Trias	Boven-Germaanse Trias Groep		Röt Formatie	Boven-Röt Randkleisteen Laagpakket
				Röt Randzandsteen Laagpakket
				Onder-Röt Randkleisteen Laagpakket
Midden-Trias			Solling Formatie	Solling Kleisteen Laagpakket
	Onder-Germaanse Trias Groep	Hoofd-Bontzandsteen Subgroep	Hardeggen Formatie	Basale Solling Zandsteen Laagpakket
			Detfurth Formatie	Detfurth Kleisteen Laagpakket
			Detfurth Formatie	Boven-Detfurth Zandsteen Laagpakket
			Detfurth Formatie	Onder-Detfurth Zandsteen Laagpakket
			Volprieausen Formatie	Boven-Volprieausen Zandsteen Laagpakket
			Volprieausen Formatie	Volprieausen Klei-Siltsteen Laagpakket
Vroeg-Trias			Volprieausen Formatie	Onder-Volprieausen Zandsteen Laagpakket

Figuur 4.1 | Algemene stratigrafie van het Trias binnen het onderzoeksgebied.

Tabel 4.1 | Beschrijving aanwezigheid relevante laagpakketten en formaties binnen het onderzoeksgebied.

Reservoir	Locatie
Röt Randzandsteen Laagpakket	Aanwezig in hele onderzoeksgebied, met uitzondering van de onderste helft in Gouda, Moordrecht, delen van Bodegraven en Reeuwijk, en het noordelijke en noordoostelijke deel van de Krimpenerwaard
Basale Solling Zandsteen Laagpakket	Aanwezig in hele onderzoeksgebied, met uitzondering van de onderste helft in Gouda, Moordrecht en het noordelijke en noordoostelijke deel van de Krimpenerwaard
Hardegens Formatie	Aanwezig in de zuidelijk helft van het onderzoeksgebied, het grootste deel van Zuidplas en de Krimpenerwaard
Onder-Detfurth Zandsteen Laagpakket	Grotendeels afwezig in het onderzoeksgebied, met uitzondering van een kleine zone ten noordwesten van Waddinxveen, zuidwestelijke deel van Bodegraven en Reeuwijk.
Boven-Volpriehausen Zandsteen Laagpakket	Grotendeels afwezig in het onderzoeksgebied, met uitzondering van Waddinxveen, Moerkapelle en het zuidwestelijke deel van Bodegraven en Reeuwijk.
Onder-Volpriehausen Zandsteen Laagpakket	Grotendeels aanwezig in het onderzoeksgebied, met uitzondering van centrale en noordelijke deel van de Krimpenerwaard, Nieuwekerk aan den IJssel, het zuidelijke deel van Gouda en Boskoop.

De reservoir eigenschappen van deze zandpakketten zijn afhankelijk van de mate van begraving en diagenese (verandering van eigenschappen door druk, temperatuur en vloeistoffen) die heeft plaatsgevonden. Voor de afzettingen in het West Nederland Bekken geldt dat er een significante begraving heeft plaatsgevonden in combinatie met cementatieprocessen en zoutvorming. Begraving zorgt ervoor dat de korrels in het gesteente samengedrukt worden waardoor de poriënruimte afneemt. Cementatie houdt in dat kleimineralen die tussen de zandkorrels zitten zich omzetten naar cementen die ook de poriënruimte vullen, voor zoutvorming geldt dat via aanwezige zoutlagen zout water neerslaat en kristalliseert in de poriënruimte. Daarentegen hebben twee periodes (in het Krijt) van inversie (opheffing) ervoor gezorgd dat de reservoirs ondieper zijn komen te liggen. Dit heeft ervoor gezorgd dat er opnieuw diagenese heeft kunnen plaatsvinden door vloeistoffen die zijn vrijgekomen. Deze diagenese (o.a. uitloging) heeft juist de reservoir eigenschappen verbeterd, waardoor er nieuwe poriënruimte is gevormd in de zandsteen. Daarnaast heeft dit proces ook voor nieuwe breukvorming gezorgd, de daarbij gevormde scheurtjes kunnen zorgen voor permeabiliteit. Het geologische vraagstuk is dan ook het bepalen van de huidige poriënruimte in de reservoirs, die het resultaat is van de bovengenoemde geologische geschiedenis.

Door de complexere mate van begraving en diagenese van het Trias, in tegenstelling tot de Delft-Alblasserdam Member, is een nadere analyse nodig om te bepalen of de aanwezige reservoirs in het Trias voldoende potentie bieden voor geothermie. Om te beslissen of een gedetailleerde petrofysische loganalyse en opschaling tot geothermische potentiekaarten zinvol is, dient eerst te worden bekeken of de relevante reservoirs voldoende dikte en permeabiliteit hebben.

4.2 PETROFYISCA

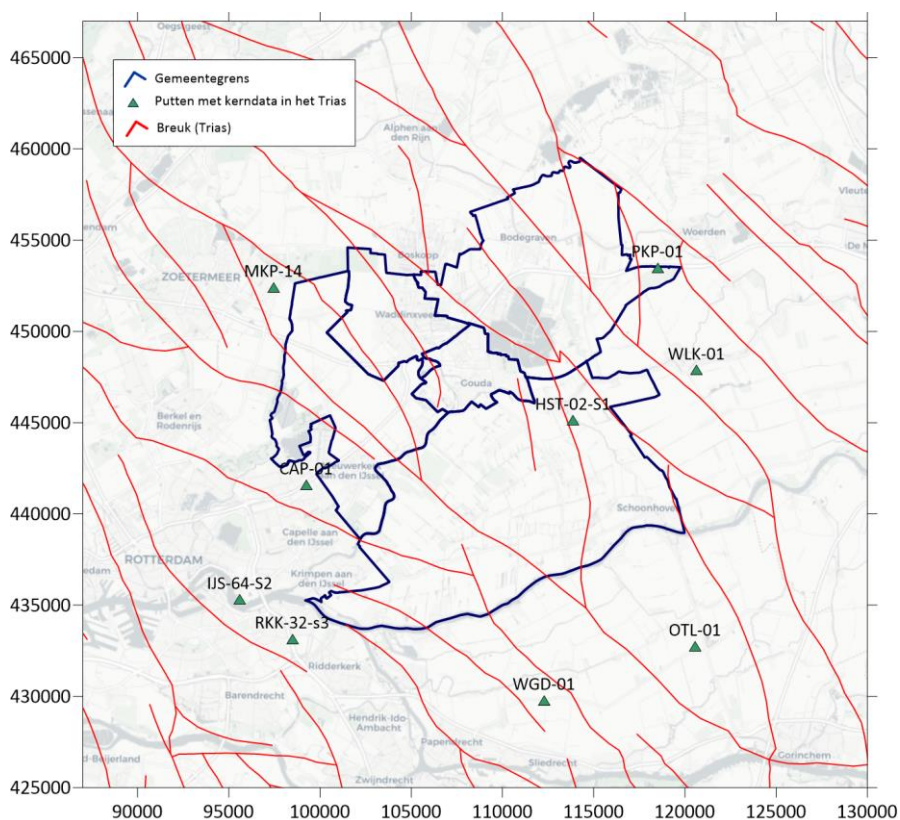
4.2.1 Putselectie

Om de reservoir eigenschappen te bepalen voor de verschillende potentiële reservoirs zijn verschillende bronnen geraadpleegd waaronder: openbaar beschikbare putdata (well reports, kerndata, lithologische beschrijvingen), literatuur en eerder uitgevoerde studies. Er zijn rond het

onderzoeksgebied negen putten met kerndata beschikbaar, waar in totaal 1375 kerndatametingen zijn uitgevoerd (Tabel 4.2, Figuur 4.2).

Tabel 4.2 | Beschikbare kerndata putten Trias.

Put	Aantal kernen
CAP-01	157
HST-02-S1	164
IJS-64-S2	46
MKP-14	112
OTL-01	508
PKP-01	164
RKK-32-S3	60
WGD-01	116
WLK-01	89



Figuur 4.2 | Overzichtskartaal met de putten met beschikbare kerndata in het Trias, met de breuken op het niveau van het Trias.

Een analyse van alle beschikbare kerndata, waarin de gemiddelde porositeit en de gemiddelde permeabiliteit is berekend op basis van de verschillende putten, is gepresenteerd in Tabel 4.3. Voor deze stap zijn kerndata voor de geselecteerde reservoirs en relevante tussenliggende laagpakketten gebruikt. Hiervoor is gekozen omdat diageneseprocessen zoals uitloging zowel kleisteen als zandsteen kunnen beïnvloeden. Uit de analyse blijkt dat voornamelijk het Röt Randzandsteen Laagpakket permeabiliteit toont, alsmede de Onder- en Boven- Röt Randkleisteen.

Laagpakketten. Daarnaast geeft de Hardeggen Formatie enige permeabiliteit weer, gebaseerd op metingen uit de zuidelijk gelegen IJS-64-S2 put. Deze put ligt echter in een afwijkende geologische structuur ten opzichte van het onderzoeksgebied. De relatief hoge standaarddeviaties, gerapporteerd in Tabel 4.3 voor de porositeit en permeabiliteit, zijn gerelateerd aan het feit dat de mate van uitlogingsprocessen sterk kan variëren op kleine schaal.

Tabel 4.3 | Resultaten beschikbare kerndata Midden Holland. Dikgedrukt zijn de zes potentiële zandsteenpakketten, st. dev. = standaard deviatie.

Laagpakket	Aantal kerndatapunt [-]	Gemiddelde porositeit [-]	Gemiddelde permeabiliteit [mD]
Röt Randzandsteen Laagpakket	555	0.10 (st. dev. = 0.07)	119 (st. dev. = 413)
Onder-Röt Randkleisteen Laagpakket	171	0.06 (st. dev. = 0.04)	3 (st. dev. = 11)
Boven-Röt Randkleisteen Laagpakket	102	0.06 (st. dev. = 0.04)	16 (st. dev. = 61)
Basale Soling Zandsteen Laagpakket	25	0.06 (st. dev. = 0.03)	2 (st. dev. = 4)
Solling Kleisteen Laagpakket	3	0.01 (st. dev. = 0.01)	1 (st. dev. = 3)
Hardeggen Formatie	38	0.09 (st. dev. = 0.03)	13 (st. dev. = 30)
Onder-Detfurth Zandsteen Laagpakket	23	0.10 (st. dev. = 0.04)	7 (st. dev. = 13)
Boven-Detfurth Zandsteen Laagpakket	10	0.12 (st. dev. = 0.02)	3 (st. dev. = 4)
Detfurth Kleisteen Laagpakket	40	0.08 (st. dev. = 0.05)	6 (st. dev. = 15)
Onder-Volprieausen Zandsteen Laagpakket	167	0.04 (st. dev. = 0.02)	0 (st. dev. = 2)
Boven-Volprieausen Zandsteen Laagpakket	127	0.10 (st. dev. = 0.03)	3 (st. dev. = 6)
Volprieausen Klei-Siltsteen Laagpakket	58	0.03 (st. dev. = 0.01)	0 (st. dev. = 0)

Dikte Röt Randzandsteen Laagpakket

De bruto dikte van het Röt Randzandsteen Laagpakket varieert tussen de 0 en 70 m. De gebieden met een dikte groter dan 40 meter bevinden zich rond de zuidelijke en westelijke rand van het onderzoeksgebied, alsmede een kleine zone bij Schoonhoven en Oudewater. Met uitzondering van de zone bij Oudewater (70m) is de maximale dikte rond de 40-50 m. Dit heeft implicaties voor de potentie van dit pakket. De bruto dikte is de totale dikte van het gesteente, waar zowel kleisteen (non-reservoir) als zandsteen (reservoir) in zijn meegenomen. De bruto-netto verhouding is op basis van een selectie van putten tussen de 0.35 en 0.55 bepaald, in ThermoGIS 2.1 wordt een netto-bruto verhouding van 0.5 gehanteerd (Van Wees et al., 2010). Dit betekent dat de potentieel beschikbare dikte van het zandhoudende deel het Röt Randzandsteen Laagpakket doorgaans tussen 14-25 m is.

4.2.2

Putanalyse

Kerndata wordt doorgaans in selecte intervallen (enkele meters) genomen binnen een reservoir. Hierdoor is het belangrijk om te begrijpen hoe representatief de gemeten kernen zijn voor het overige deel van het reservoir. Daarnaast kan het nemen van een absoluut gemiddelde voor de

permeabiliteit en de porositeit van verschillende putten een vertekend beeld geven wanneer diagenese in putten tot verschillen in reservoirkwaliteit heeft geleid. Om meer inzicht in de reservoir eigenschappen te krijgen zijn de putten in Tabel 4.2 nader bestudeerd. De lokale CAP-01, MKP-14, OTL-01 en PKP-01 putten zijn een representatieve selectie van het Röt Randzandsteen Laagpakket binnen het onderzoeksgebied. In Tabel 4.4 zijn de gemiddelde porositeit en gemiddelde permeabiliteit voor de bovengenoemde putten weergegeven. Hieruit blijkt dat de permeabiliteit over de gekernde secties gemiddeld 18 mD (st. dev. 49 mD) is. Om een inschatting te krijgen van de permeabiliteit van zones binnen het laagpakket met gunstige reservoir eigenschappen, is de gemiddelde permeabiliteit berekend voor kerndata punten met een permeabiliteit hoger dan 10 mD (Tabel 4.5). Hieruit blijkt dat ~23% van de gemeten kernen een permeabiliteit hoger dan 10 mD heeft. Voor deze gunstige reservoir zones geldt een gemiddelde permeabiliteit van 80 mD (over de 90 gemeten kernen).

Tabel 4.4 | Resultaten kerndata Röt Randzandsteen Laagpakket van lokale putten.

Put	Aantal kerndatapunten [-]	Gemiddelde porositeit [-]	Gemiddelde permeabiliteit [mD]
CAP-01	12	0.12 (st. dev. = 0.02)	28 (st. dev. = 30)
MKP-14	41	0.05 (st. dev. = 0.03)	10 (st. dev. = 27)
OTL-01	224	0.08 (st. dev. = 0.04)	11 (st. dev. = 42)
PKP-01	106	0.07 (st. dev. = 0.06)	32 (st. dev. = 65)
Totaal	383	0.07 (st. dev. = 0.05)	18 (st. dev. = 49)

Tabel 4.5 | Resultaten permeabiliteit Röt Randzandsteen Laagpakket, gemiddelde permeabiliteit van zones met een permeabiliteit groter dan 10 mD.

Put	Aantal kerndatapunten [-]	Gemiddelde permeabiliteit [mD]
CAP-01	10 (83 % totaal)	34 (st. dev. = 19)
MKP-14	20 (49 % totaal)	50 (st. dev. = 54)
OTL-01	30 (13 % totaal)	82 (st. dev. = 87)
PKP-01	10 (83 % totaal)	113 (st. dev. = 75)
Totaal	90 (23 % totaal)	80 (st. dev. = 54)

De huidige permeabiliteit voor de reservoirs in het Trias in Midden-Holland is afhankelijk van de ontwikkeling van compactie, breukvorming, cementatie- en oplossingsprocessen, die vervolgens bepalend zijn of er voldoende permeabiliteit is in een reservoir. Om dit inzichtelijk te maken is de beschikbare kerndata ook weergegeven in logformaat (Interactive Petrophysics) voor drie putten: OTL-01 (Figuur 4.3 **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**), CAP-01 en MKP-14 (Bijlage 2). Op deze logformulieren is in de derde kolom de gamma ray weergegeven. Met de gamma ray methode wordt de natuurlijke gamma-radiatie gemeten, waar doorgaans kleisteen (non-reservoir) een deflectie naar rechts geeft (hoge GAPI) en zandsteen (reservoir) een deflectie naar links (lage GAPI). Hieruit blijkt dat er enkele permeabele zones zijn waargenomen, bijv. in OTL-01 tussen 2442-2450 mAH (gemeten diepte langs boortraject) in de Röt Randzandsteen Formatie en in MKP-14 tussen 2131-2137 mAH. Deze zones corresponderen met een verhoogde porositeit (>0,1) en doorgaans een lagere dichtheid (<2,7 g/cm³), wat typerend is voor uitlogingsprocessen. Voor de Hardegse Formatie geldt dat er slechts voor 4 van de 39 kernen een permeabiliteit hoger dan 50 mD zijn gemeten in de IJS-64-S2 put. Dit geeft aan dat de uitlogingsprocessen de permeabiliteit maar minimaal hebben verhoogd.

Uit de inventarisatie van de kerndata (Tabel 4.3, Tabel 4.4, Tabel 4.5) en de analyse van logdata en kerndata (Figuur 4.3 en Bijlage 2) blijkt dat er in het Basale Solling Zandsteen Laagpakket, het Onder-Detfurth Zandsteen Laagpakket, het Boven-Volpriehausen Zandsteen Laagpakket en het Onder-Volpriehausen Zandsteen Laagpakket onvoldoende permeabiliteit aanwezig is. Ondanks enkele uitschieters (>50 mD) laat ook het merendeel van de kerndata van de Hardeggen formatie een te lage permeabiliteit zien.

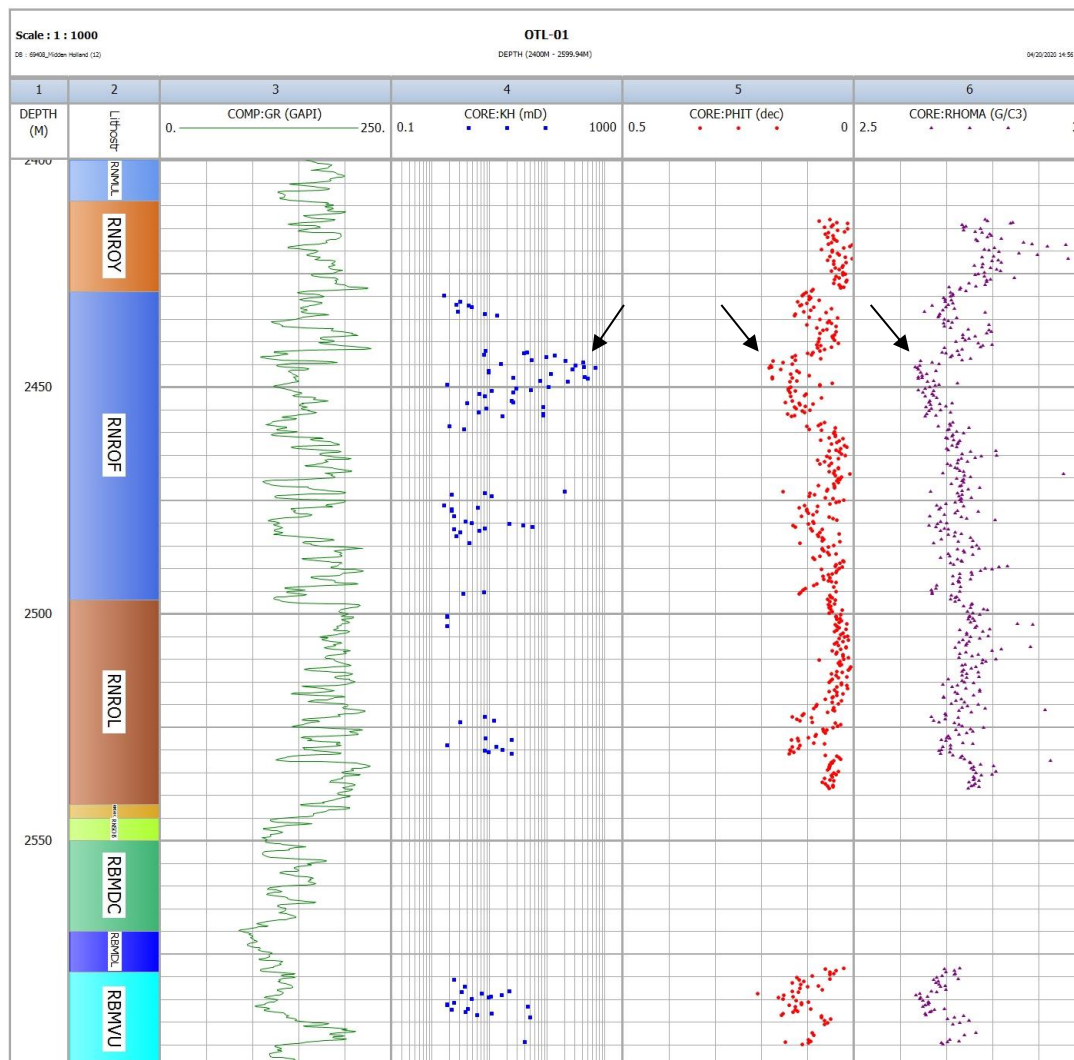
De Röt Formatie heeft enkele intervallen waar tussen de 6 en 8 mAH aan positieve reservoir eigenschappen zijn waargenomen, deze permeabiliteit is afhankelijk van o.a. de mate van oplossing die heeft plaatsgevonden. Deze oplossingsprocessen hebben zich niet integraal ontwikkeld door het hele reservoir heen. Hierdoor blijven de intervallen met hoge permeabiliteit gelimiteerd tot enkele meters, afgesloten door zones waarin er geen tot lage permeabiliteit aanwezig is.

4.2.3 Perspectief

Het Röt Randzandsteen Laagpakket toont als enige laagpakket enkele positieve reservoir eigenschappen binnen het onderzoeksgebied. Permeabiliteit is voornamelijk gevormd door oplossingsprocessen en mogelijke scheurtjes door breukvorming. Deze permeabiliteit is echter niet consistent ontwikkeld door het hele reservoir heen, waardoor de potentie gelimiteerd blijft. Daarnaast is de netto dikte van het reservoir maximaal 25 m (uitgaande van een netto-bruto verhouding van 50%), wat een limiterende factor is voor de potentie van een geothermisch systeem. De bestudeerde putten zijn daarnaast representatief voor condities op lokaal hoge structuren (horst), het is onwaarschijnlijk dat de condities beter zijn in de lokaal lage structuren (grabens).

Om een inschatting te maken van de potentie van het Röt Randzandsteen Laagpakket is er een potentiekaart gemaakt. Hierbij is een positief scenario genomen waarbij als uitgangspunt de gemiddelde permeabiliteit van 80 mD in de permeabele zone is gebruikt (Tabel 4.5). Daarnaast is er uitgegaan van een scenario waarin 50% van de netto dikte van dit laagpakket permeabel is, wat overeenkomt met 25% van de bruto dikte. De berekende maximale potentie komt niet hoger uit dan 2 MWt, wat erg laag is voor diep doubletsysteem.

Op basis van de potentiekaart kan er worden geconcludeerd dat de Röt Randzandsteen Laagpakket onvoldoende perspectief biedt om geothermie in te ontwikkelen. Echter, de hoeveelheid representatieve putten is gelimiteerd binnen het onderzoeksgebied. De CAP-01, MKP-14, OTL-01 en PKP-01 putten zijn geboord op lokale horsten (hoge structuren) en er zijn geen putten in lokale bekkenstructuren geboord. Daarnaast ontbreekt op dit moment binnen het onderzoeksgebied een gedetailleerd model voor de reservoir eigenschappen van de Röt Randzandsteen Laagpakket, waarin zowel breukvorming, horst- en grabenstructuren als diagenese als parameters zijn bestudeerd. Dit tezamen maakt, ondanks dat het zeer onwaarschijnlijk is, dat de potentie van het Trias niet volledig uitgesloten kan worden.



Figuur 4.3 | Kerndata OTL-01 put. Zie tussen 2442-2450 mAH een zone in het Röt Randzandsteen Laagpakket met verhoogde permeabiliteit, deze correspondeert met verhoogde porositeit (>0.1) en een lagere dichtheid <2.6 g/cm³ (zwarte pijlen). Kolom 1 geeft de diepte weer langs het boortraject. Kolom 2 geeft de lithostratigrafie weer: RNROY = Boven-Röt Randkleisteen Laagpakket, RNROF = Röt Randzandsteen laagpakket, RNROL = Onder-Röt Randkleisteen Laagpakket, RNSOC = Solling Kleisteen Laagpakket, RNSOB = Basale Solling Zandsteen Laagpakket, RBMDL = Detfurth Kleisteen Laagpakket, RBMDL = Onder-Detfurth Zandsteen Laagpakket, RBMVU = Boven-Volpriehausen Zandsteen Laagpakket. Kolom 3 geeft de gamma ray weer, een deflectie naar links is representatief voor zandsteenlaag en een deflectie naar rechts is representatief voor kleisteenlaag. Kolom 4 zijn kernmetingen van de permeabiliteit, kolom 5 zijn kernmetingen van de porositeit en kolom 6 zijn kernmetingen van de dichtheid.

4.3

ACHTERGROND KAARTEN RÖT RANDZANDSTEEN LAAGPAKKET

De meeste laagpakketten van het Trias in de regio Midden Holland hebben onvoldoende doorlatendheid. Het Röt Randzandsteen Laagpakket biedt wel enige doorlatendheid en is daarom verder uitgewerkt in een aantal kaarten.

Voor dit pakket zijn drie kaarten gemaakt: een diepte-, dikte- en potentiekaart.

4.3.1 Diepte

De dieptekaart van de top van het Röt Randzandsteen Laagpakket is gebaseerd op de dieptekaart van de top van deze member in het ThemoGIS V2.1 model van TNO (Van Wees et al., 2010).

4.3.2 Dikte

De bruto diktekaart van het Röt Randzandsteen Laagpakket is gebaseerd op de diktekaart van deze member in het ThemoGIS V2.1 model van TNO (Van Wees et al., 2010).

4.3.3 Breuken

De breuken van de basis van het Trias zijn gebaseerd op het geologische model DGM V.2. De drukverandering in het reservoir als gevolg van een geothermieproject kan er voor zorgen dat breuken gereactiveerd worden, wat kan resulteren in geïnduceerde seismiteit (aardbevingen). De breuken op deze kaart volgen uit een regionaal model: voorafgaand aan de realisatie van een project dient er een gedetailleerdere structurele analyse gedaan te worden om er voor te zorgen dat de putten niet te dicht bij de breuken geplaatst worden, om het risico op geïnduceerde seismiteit te minimaliseren.

4.3.4 Temperatuur

De geothermische gradiënt van het Röt Randzandsteen is gebaseerd op de landelijke trend, en wordt beschreven met de volgende relatie (T =temperatuur [°C], z = diepte [m]):

$$T = 0,031 * z + 10$$

Deze relatie is gebruikt om op basis van de dieptekaart een temperatuurgrid te maken, welke vervolgens gebruikt is voor de potentieberekening.

4.3.5 Potentie

De potentiekaart voor de Röt Randzandsteen is gegrid op basis van een dieptekaart, een bruto diktekaart, en een constante netto-bruto verhouding van 0,25. Hiervoor is een IF Technology matlabscript gebruikt, dat op basis van de reservoirparameterkaarten en de uitgangspunten in Tabel 6 een analyse uitvoert met een verwachte potentie [MWt] als resultaat. De uitgangspunten zijn weergegeven in Tabel 6.

Tabel 6 | Uitgangspunten potentieberekening Röt Randzandsteen in Midden Holland.

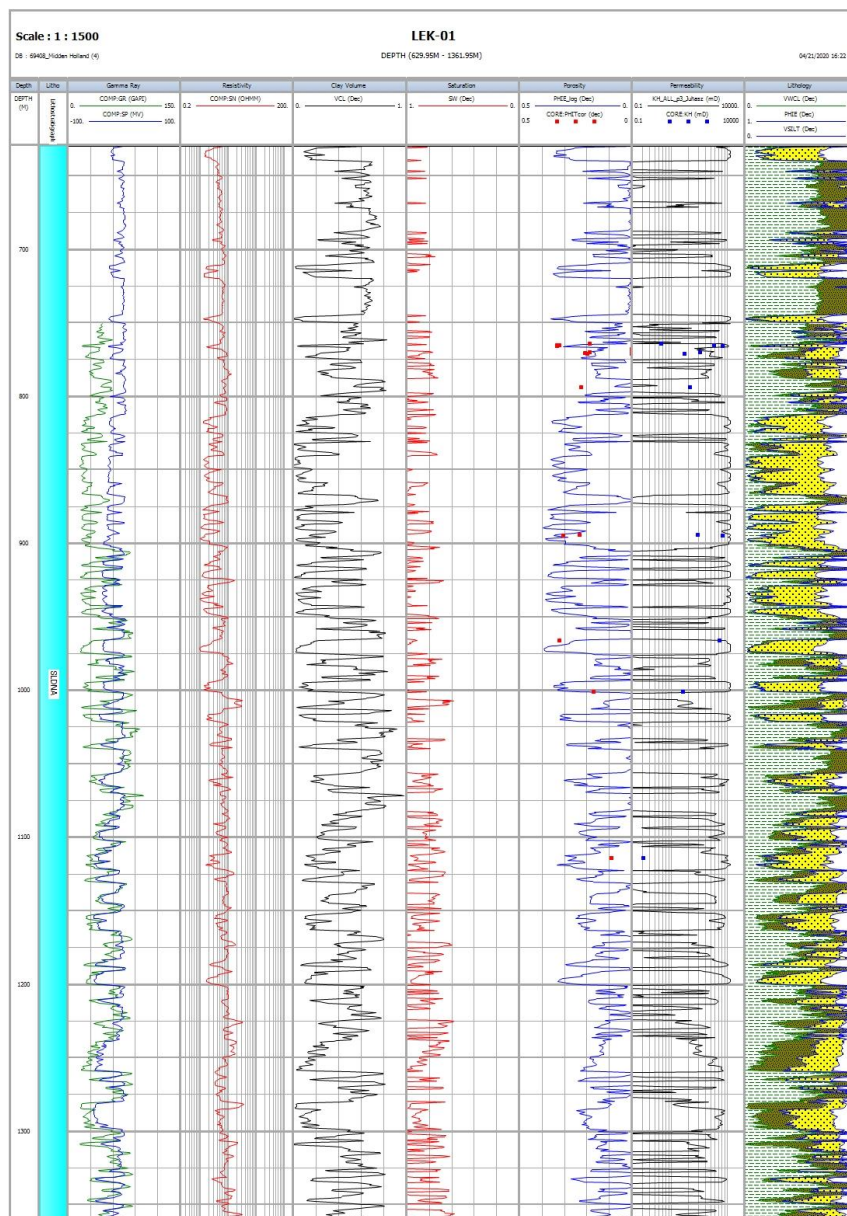
Parameter	Eenheid	Waarde
Retourtemperatuur	[°C]	35
COP	[-]	15
Rendement pomp	[-]	0,7
Boorgat diameter	[m]	0,1
TDS	[g/l]	150
Afstand tussen productie- en injectieput	[m]	1500
Geothermische gradiënt	[°C/m]	0,031
Opp. Temperatuur	[°C]	10
Skin	[-]	0
Permeabiliteit	[mD]	80

5 Referenties

- IF Technology. (2020). *Totstandkoming potentiekaart geothermie Holland Rijnland* (Nr. 69376RDx20200207; p. 13).
- IF Technology. (2018). *Den Haag Masterplan—Regional geological study* (Nr. 67289; p. 103).
- IF Technology. (2019a). *Potentieel Geothermie van de Gemeentes Katwijk en Noordwijk* (Nr. 68413; p. 90).
- IF Technology. (2019b). *Geothermie putten in ondiepe fijnzandige formaties* (65163/RDx/20191218; p. 48).
- Wong, Th. E. (2007). Jurassic. In Th. E. Wong, D. A. J. Batjes, & J. de Jager, *Geology of the Netherlands* (pp. 107-125). Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences.
- Yi, X. (2003). *Numerical and analytical modeling of sanding onset prediction*.

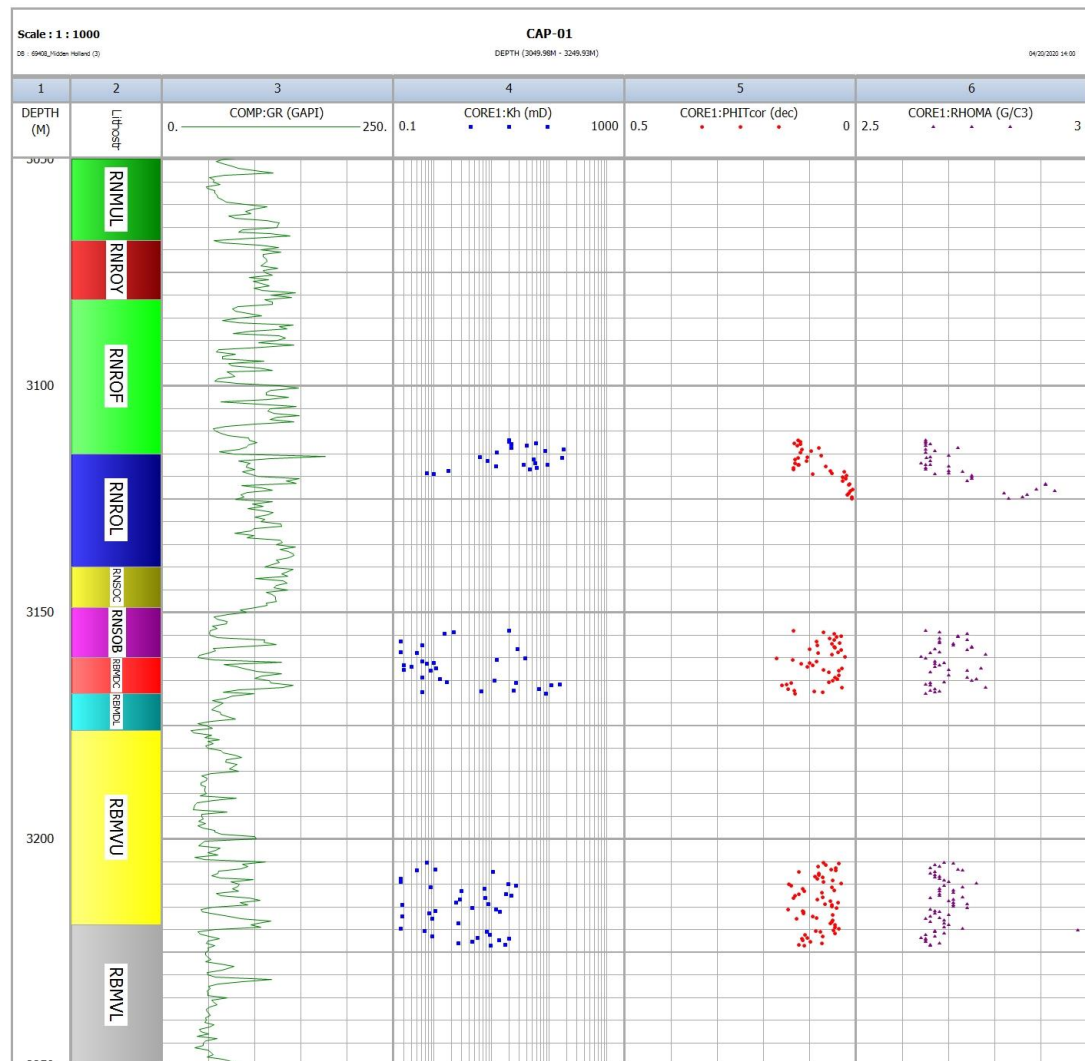
Bijlages

BIJLAGE 1: ANALYSE LEK-01

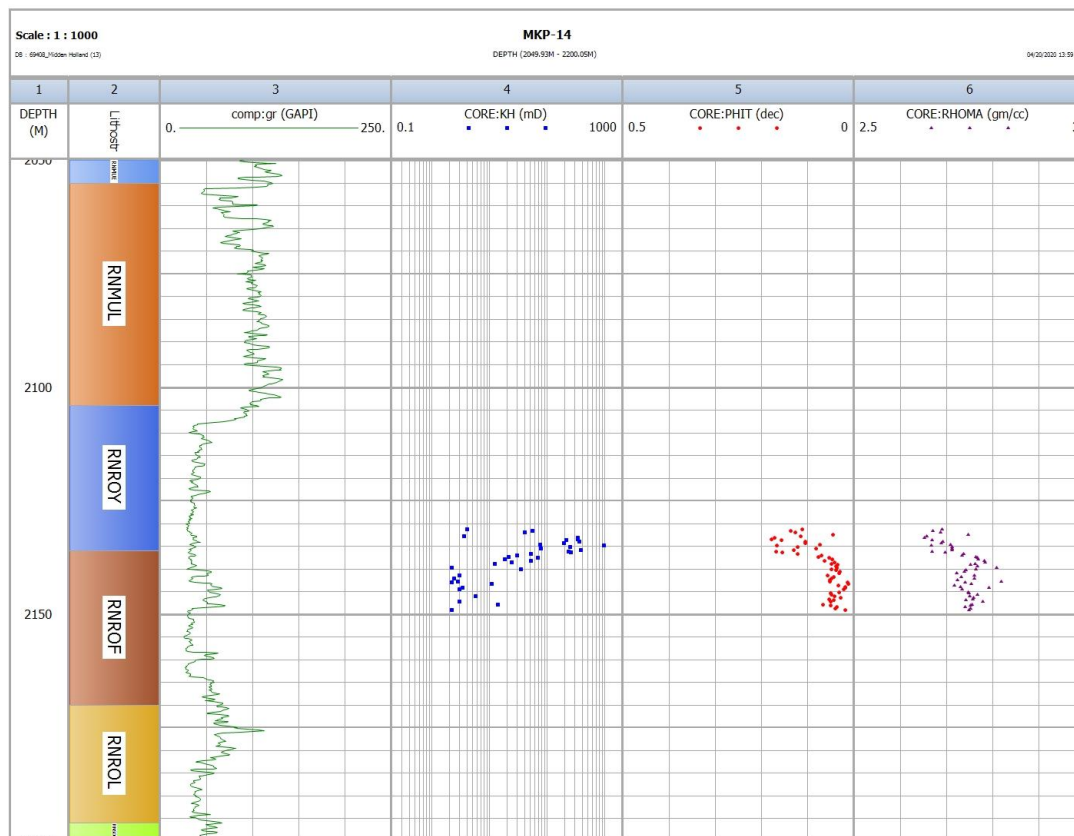


Petrofysische analyse van de LEK-01 put. SLDNA is de nomenclaturecode voor de Ablasserdam Member in deze wordt de naam Delft-Alblasserdam Member gehanteerd. De gamma ray (GR) en de spontaneous potential log (SP) zijn gebruikt om het kleivolume (clay volume) te bepalen. Voor de water saturatie en de permeabiliteit is gebruik gemaakt van SP log en de Short Normal weerstandslog (SN), alsmede empirische relaties gebaseerd op de wet van Archie. Ter vergelijking zijn de kerndata voor de porositeit (rode blokjes) en de permeabiliteit (blauwe blokjes) weergegeven. Rechts onder de tab Lithology (lithologie) is in geel het geïnterpreteerde zandhoudende reservoir weergegeven.

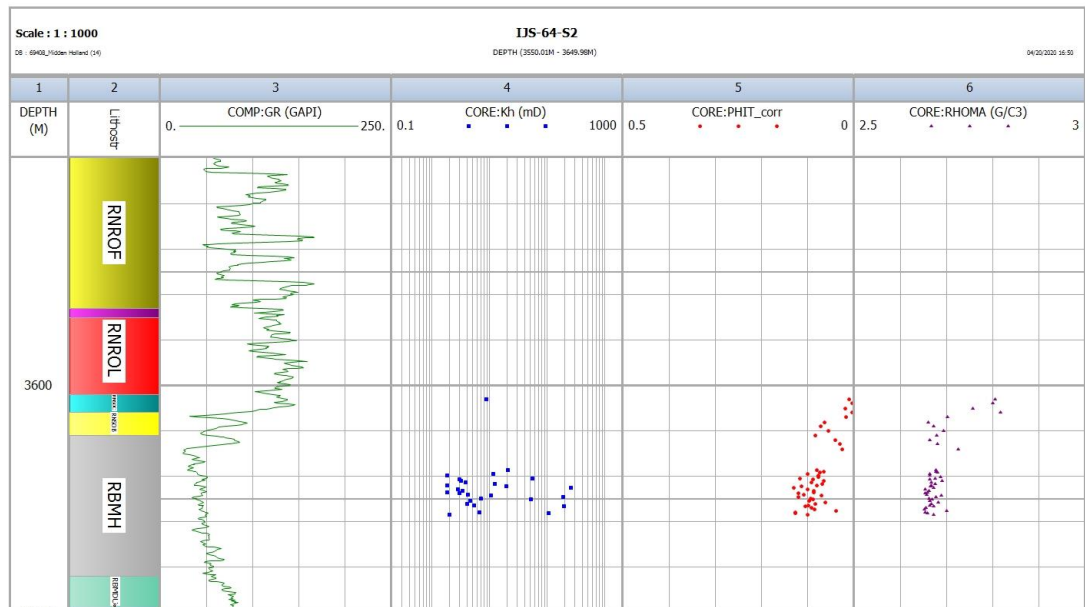
BIJLAGE 2: KERNDATA TRIAS



Kerndata van de CAP-01 put. Voor het Röt Randzandsteen Laagpakket (RNROF), het Onder-Röt Randkleisteen Laagpakket (RNROL), het Basale Solling Zandsteen Laagpakket (RNSOB), het Detfurth Kleisteen Laagpakket (RBMDL), het Onder-Detfurth Zandsteen Laagpakket (RBMDL), het Boven-Volprieausen Zandsteen Laagpakket (RBMDL) en Onder-Volprieausen Zandsteen Laagpakket (RBMDL) zijn doorgaans lage permeabiliteiten gemeten <89 mD. Kolom 1 geeft de diepte weer langs het boortraject. Kolom 2 geeft de lithostratigrafie weer: RNMUL = Onder-Muschelkalk Laagpakket, RNROY = Boven-Röt Randkleisteen Laagpakket, RNROF = Röt Randzandsteen laagpakket, RNROL = Onder-Röt Randkleisteen Laagpakket, RNSOC = Solling Kleisteen Laagpakket, RNSOB = Basale Solling Zandsteen Laagpakket, RBMDL = Detfurth Kleisteen Laagpakket, RBMDL = Onder-Detfurth Zandsteen Laagpakket, RBMDL = Boven-Volprieausen Zandsteen Laagpakket, RBMDL = Onder-Volprieausen Zandsteen Laagpakket. Kolom 3 geeft de gamma ray weer, een deflectie naar links is representatief voor zandsteenlaag en een deflectie naar rechts is representatief voor kleisteenlaag. Kolom 4 zijn kernmetingen van de permeabiliteit, kolom 5 zijn kernmetingen van de porositeit en kolom 6 zijn kernmetingen van de dichtheid.

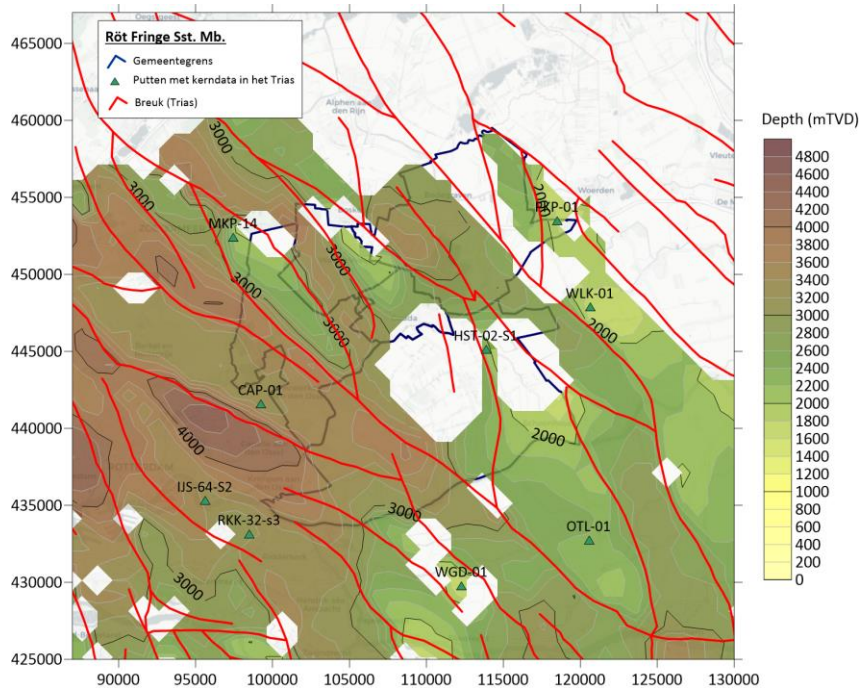


Kerndata van de MKP-14 put. Zie tussen 2131-2137 mAH een zone in het Röt Randzandsteen Laagpakket en het Boven-Röt Randkleisteen Laagpakket met verhoogde permeabiliteit, deze correspondeert met verhoogde porositeit ($>0,1$) en een lagere dichtheid $<2,7 \text{ g/cm}^3$. Kolom 1 geeft de diepte weer langs het boortraject. Kolom 2 geeft de lithostratigrafie weer: RNMUE = Muschelkalk Evaporiet Laagpakket, RNMUL = Onder-Muschelkalk Laagpakket, RNROY = Boven-Röt Randkleisteen Laagpakket, RNROF = Röt Randzandsteen laagpakket, RNROL = Onder-Röt Randkleisteen Laagpakket, RNSOC = Solling Kleinsteen Laagpakket, Kolom 3 geeft de gamma ray weer, een deflectie naar links is representatief voor zandsteenlaag en een deflectie naar rechts is representatief voor kleisteenlaag. Kolom 4 zijn kernmetingen van de permeabiliteit, kolom 5 zijn kernmetingen van de porositeit en kolom 6 zijn kernmetingen van de dichtheid.

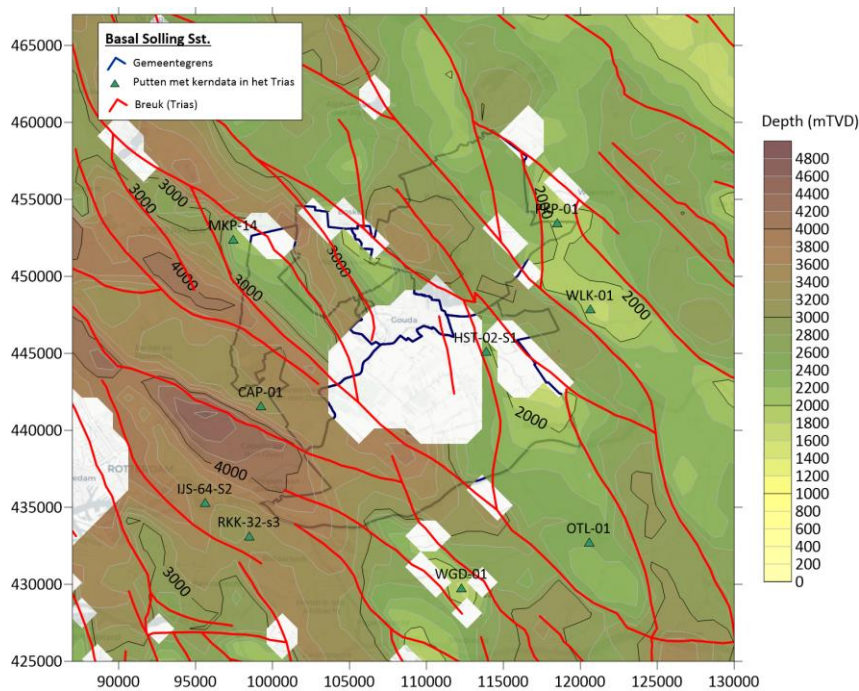


Kerndata van de IJS-64-S2 put. Zie voornamelijk lage permeabiliteit met vier kernen die een permeabiliteit hoger dan 50 mD hebben.

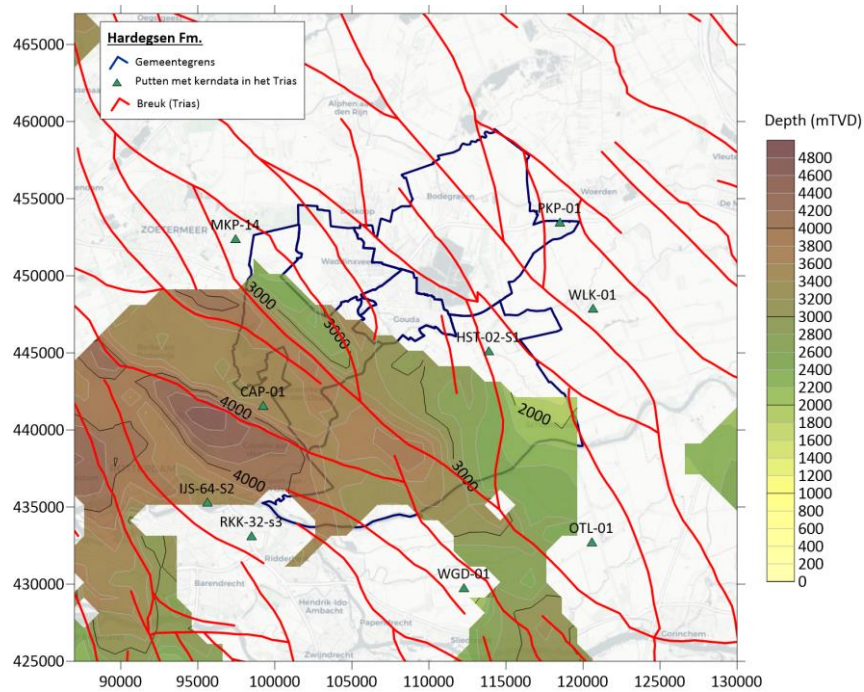
BIJLAGE 3: TOP TRIAS KAARTEN



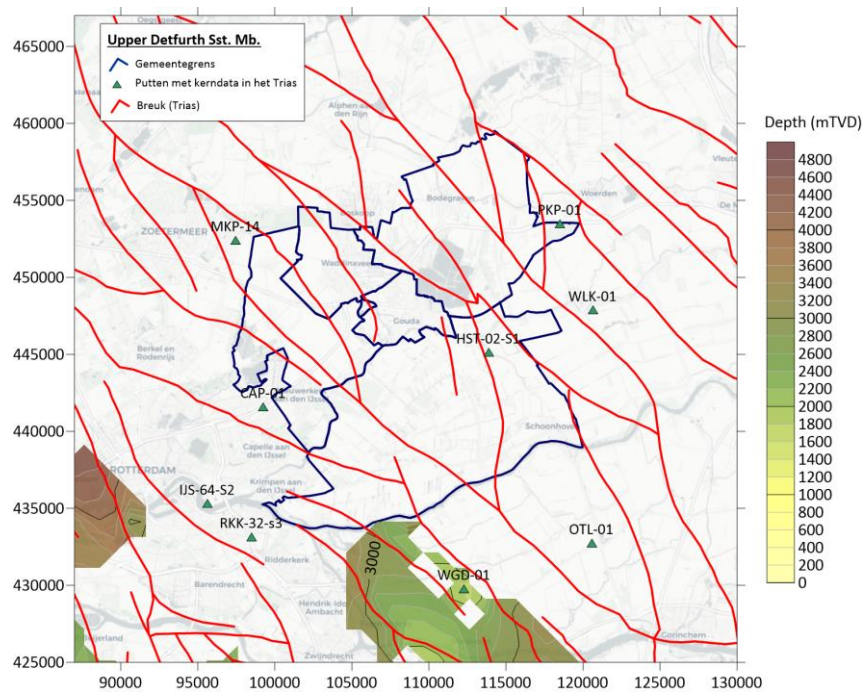
Top dieptekaart van het Röt Randzandsteen Laagpakket uit ThermoGIS 2.1 (Van Wees et al., 2010)



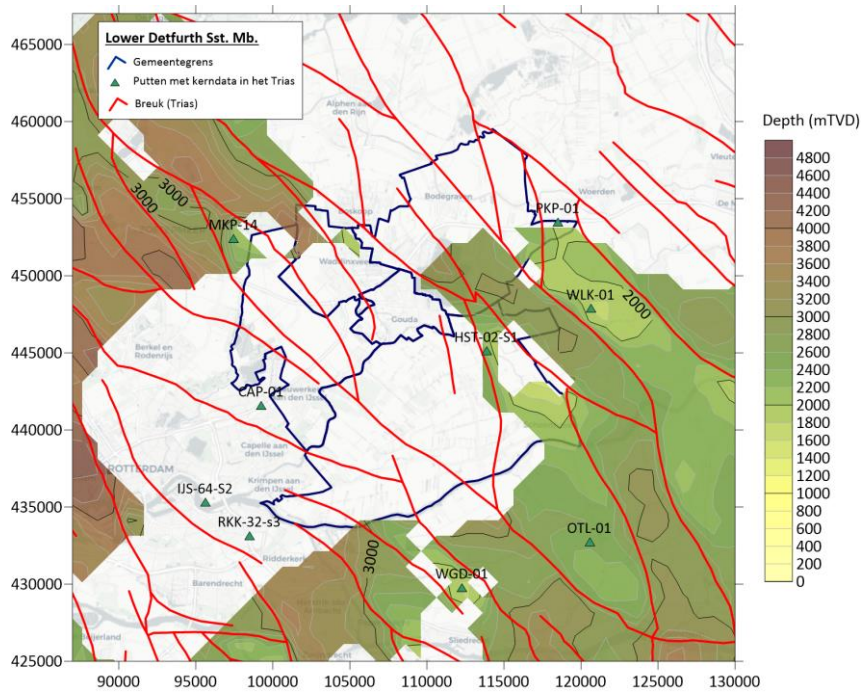
Top dieptekaart van het Basale Soling Zandsteen Laagpakket uit ThermoGIS 2.1 (Van Wees et al., 2010)



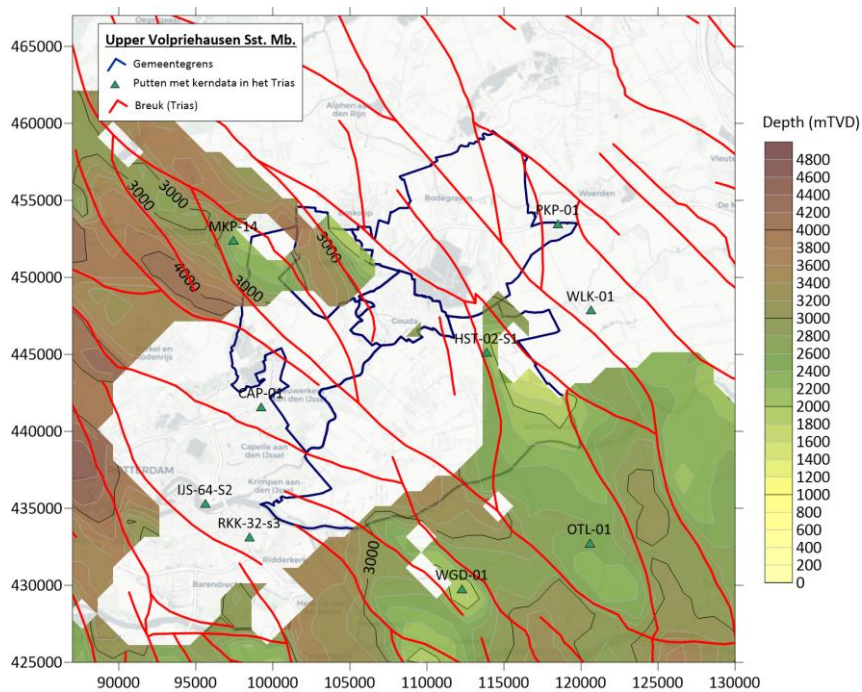
Top dieptekaart van de Hardegsen Formatie uit ThermoGIS 2.1 (Van Wees et al., 2010)



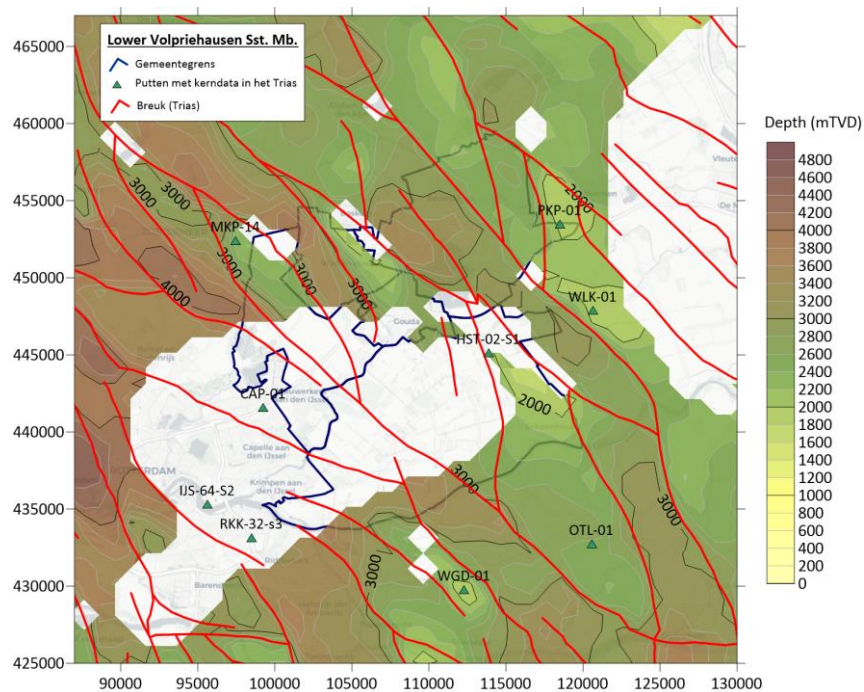
Top dieptekaart van het Boven-Detfurth Zandsteen Laagpakket Formatie uit ThermoGIS 2.1 (Van Wees et al., 2010)



Top dieptekaart van het Onder-Detfurth Zandsteen Laagpakket uit ThermoGIS 2.1 (Van Wees et al., 2010)



Top dieptekaart van het Boven-Volpriehausen Zandsteen Laagpakket uit ThermoGIS 2.1 (Van Wees et al., 2010)



Top dieptekaart van het Onder-Volpriehausen Zandsteen Laagpakket uit ThermoGIS 2.1 (Van Wees et al., 2010)

IF Technology **Creating energy**



Velperweg 37
6824 BE Arnhem
Postbus 605
6800 AP Arnhem

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

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

IF Technology **Creating energy**