

TNO-rapport

TNO 2017 R10498

**Specificaties geologisch onderzoek voor
geothermieprojecten – Rapportagevereisten
SDE+ en RNES****Olie en Gas**
Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrechtwww.tno.nlT +31 88 866 42 56
F +31 88 866 44 75

Datum	18 april 2017
Auteur(s)	H.F. Mijnlief, B.M.M. van Kempen, J. van der Molen & J.G. Veldkamp
Exemplaarnummer	1
Aantal pagina's	46 (incl. bijlagen)
Opdrachtgever	Ministerie van Economische Zaken
Projectnaam	E5 Ondersteuning beleidsvorming.
Projectnummer	060.20655/01.06.04

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belang-hebbenden is toegestaan.

Samenvatting

Dit rapport is het “Model Geologisch Onderzoek voor de SDE+ en Garantieregeling”. Het geeft aan waar de geologische onderbouwing van de aanvraag voor SDE+ en /of Garantieregeling *minimaal* aan moet voldoen om mogelijk aanspraak te kunnen maken op subsidie of garantie voor toekomstig geïnstalleerd geothermisch vermogen. In de onderbouwing worden achtereenvolgens beschreven:

- Samenvatting van het geplande doublet
- Beoogde boorlocatie
- Beschrijving van de aanmelding regelingen
- Geologische setting
- Gebruikte gegevens
- Seismische interpretatie
- Karakterisering van de aquifer
- Formatiewater karakterisering
- Doublet beschrijving

De geologische onderbouwing dient de hoofdstukindeling van dit rapport te volgen. Daar waar de in dit rapport genoemde beschrijvingen niet relevant zijn voor het uitgevoerde onderzoek wordt dat als zodanig vermeld. De opzet van dit rapport volgt de opzet zoals die is gespecificeerd in voorgaande specificatiedocumenten voor de SDE+ en SEI/RNES Garantieregeling.

Inhoudsopgave

0	Inleiding	5
1	Samenvatting	7
1.1	Gepland doublet en gebruikte parameters	7
1.2	Verwacht vermogen en de overschrijdingskansgrafiek	8
2	Beoogde locatie en putten.....	10
2.1	Beoogde locatie	10
2.2	Putten	10
3	Aanmelding voor regeling SDE+ en/of Garantieregeling	11
3.1	Aanmelding Garantieregeling	11
3.2	Aanmelding SDE+	12
4	Geologische setting	13
4.1	Lokale geologie.....	13
4.2	Koolwaterstof voorkomens in de nabijheid van het project.	13
5	Beschikbare en gebruikte putten en seismische data.....	15
5.1	Keuze van de referentieputten en putinformatie	15
5.2	Seismische gegevens.....	15
5.3	Coördinaatsysteem.....	16
6	Seismische interpretatie en dieptemodel	17
6.1	Methode beschrijving.....	17
6.2	Additionele gegevens	17
6.3	Well to seismic ties	17
6.4	Seismische interpretatie	18
6.5	Gridding algoritme	18
6.6	Tijd-diepte conversie.....	18
6.7	Diepte kaart van top/basis aquifer	19
6.8	Discussie van onzekerheid van de top/basis aquiferkaart	20
7	Model en karakterisering van de aquifer.....	21
7.1	Stratigrafische correlatie en laterale diktevariatie van de aquifer.....	21
7.2	Petrofysische evaluatie.....	22
7.3	Puttest evaluatie	26
7.4	Productiedata evaluatie	27
7.5	Permeabiliteit uit publieke informatie.....	28
7.6	Bepaling aquiferkarakteristieken voor de projectlocatie	28
7.7	Anisotropie.....	30
7.8	Resultaten en discussie over onzekerheid	31
8	Formatiewater karakterisering	32
8.1	Temperatuur	32
8.2	Evaluatie van het formatiewater	32

8.3	Aquiferdruk	33
9	Doublet performance.....	35
9.1	Doubletconfiguratie in de ondergrond	35
9.2	Putarchitectuur.....	36
9.3	Operationele instellingen	36
9.4	Indicatie en evaluatie van aandachtspunten bij boren.	37
9.5	Indicatie en evaluatie van aandachtspunten bij productie en injectie.	37
10	Referenties	39

Bijlage(n)

- Bijlage 1. Gedetailleerde lijst van gebruikte gegevens
- Bijlage 2. Resultaten en details van de petrofysische evaluatie
- Bijlage 3. Lijst van uitgevoerde welltests, details en resultaten van de evaluatie
- Bijlage 4. Lijst van productiedata, details en resultaten van de evaluatie
- Bijlage 5. Kaarten die gebruikt zijn tijdens de evaluatie van de ondergrond
- Bijlage 6. Putontwerp

0 Inleiding

Dit rapport bevat de richtlijn voor rapportagevereisten voor de geologische onderbouwing van een SDE+ en /of een Garantierегeling aanvraag. Deze richtlijn is gebaseerd op de eerdere specificaties voor de Garantierегeling-Aardwarmte / Risico's dekken voor aardwarmte en SDE+ voor wat betreft de geologische rapportage en de berekening van het indicatieve geothermisch vermogen. Het indicatieve geothermisch vermogen dat wordt aangevraagd voor subsidie **moet** worden berekend met behulp van het programma DoubletCalc1.4.3. De specificaties en gebruikershandleiding van dit programma zijn te vinden in de 'Handleiding DoubletCalc'. Dit document alsmede het programma zijn beschikbaar op de door het Ministerie van Economische Zaken geïnitieerde website www.nlog.nl (zie <http://www.nlog.nl/geothermie>).

Dit rapport is een combinatie van de rapporten TNO 2013 R11836, "Specificaties geologisch onderzoek voor geothermieprojecten - Rapportagevereisten SDE+ en TNO 2015 R10944, "Specificaties Geologisch onderzoek Garantiefaciliteit 2015". Dit om de geologische rapportage vereisten van beide regelingen te harmoniseren. Vanaf publicatie van deze richtlijnen komen de voorgaande te vervallen

Het onderliggende rapport is een leidraad die aangeeft waar de geologische onderbouwing van de aanvraag minimaal aan moet voldoen. Het uitgangspunt is de gedachte dat deze onderbouwing gebaseerd is op of dezelfde geologische evaluatie, die ten grondslag ligt aan het boorplan en voor de eigen business-case berekening die toch al opgesteld zou moeten worden bij uitvoering van een geothermieproject. Indien het project nog niet in dat stadium is, wordt de onderbouwing gevormd door een gedegen geologische inventarisatie van het gebied. Hierin worden de essentiële geologische parameters voor de berekening van het indicatieve geothermisch vermogen uitgebreid behandeld.

De aanvrager van de SDE+ / Garantierегeling wordt met klem gevraagd de hoofdstuk- en paragraafindeling van dit rapport te volgen. Daar waar redundantie optreedt, bijvoorbeeld wanneer van verschillende mogelijke procedures er slechts één uitgevoerd hoeft te worden, kan hiervan uiteraard afgeweken worden. Als delen van de leidraad in het geheel niet relevant zijn voor het uitgevoerde onderzoek, bijvoorbeeld als geen seismische interpretatie is uitgevoerd (paragraaf 6.4), kan worden volstaan met het kort noemen van de reden waarom dit onderdeel niet relevant is en welk alternatief is gebruikt.

In de Garantierегeling wordt het P90 geothermische vermogen gegarandeerd dat berekend is met behulp van DoubletCalc. Het niet gerealiseerde 'verwacht (P90) vermogen' moet enkel en eenduidig gerelateerd kunnen worden aan tegenvallende aquifer-eigenschappen, te weten dikte, netto/bruto, (horizontale) permeabiliteit, anisotropie, temperatuur en/of saliniteit. Tegenvallend gerealiseerd vermogen ten gevolge van andere (niet-) geologische parameters, zoals putconfiguratie of geologische parameters bijvoorbeeld, anomale drukken of voorkomen van koolwaterstoffen (zowel vrij als in opgeloste vorm), worden niet meegenomen in het "afreken-scenario".

In de SDE+ regeling wordt een budgetreservering gemaakt voor het subsidiabele P50 geothermische vermogen. Dit P50-vermogen dient ook met het DoubletCalc programma berekend te worden.

Dit rapport is een adviesrapport aan het Ministerie van Economische Zaken. Hoe dit rapport wordt gebruikt in de implementatie van de regels en procedures van de SDE+ en/of Garantieregeling valt buiten de competentie van TNO.

1 Samenvatting

1.1 Gepland doublet en gebruikte parameters

In de samenvatting moeten genoemd worden:

- De aardwarmtevergunning waar het doublet in geplaatst wordt.
- Locatie van het doublet¹.
- Toepassing van het doublet.
- Aard van de aanvraag:
 - een heel doublet of een half doublet bij Garantieregeling. Als het een Garantieregeling aanvraag voor een half doublet betreft, de specificatie welke put voor de garantieregeling wordt aangemeld.
 - een heel doublet of een extra put bij SDE+.
- Aquiferlaag waaruit gewonnen gaat worden.
- Korte beschrijving van de architectuur van het doublet.
- De belangrijkste variabelen die het geothermisch vermogen beïnvloeden en de onzekerheden in deze variabelen.
- De parameters die gebruikt zijn in de berekening van het indicatieve geothermisch vermogen. Deze parameters zijn nodig om een kansverdeling van het indicatieve geothermisch vermogen te maken. Dit dient te gebeuren door een screendump van het invoerscherm van DoubletCalc1.4.3 bij te voegen (Figuur 1).

¹ In dit document wordt gesproken over een doublet in ruime zin van het woord. Het betreft in essentie een "geothermische installatie" waarbij productie en injectie van warm respectievelijk afgekoeld water in een gesloten systeem via twee of meer boorgaten (putten danwel sidetracks) plaatsvindt.

tno Doublet Calculator 1.4.3

number of simulation runs (-) 1000 Calculate! Open Scenario Save Scenario Exit Program

file: ... entiele Adviezen Mijnbouw\Resource_Assessment_AARDWARMTE\DoubletCalc1D\DC_use\example.xml

Geotechnical input

A) Aquifer properties

Property	min	median	max	Property	value
aquifer permeability (mD)	150	250	500	aquifer kh/kv ratio (-)	1
aquifer net to gross (-)	0.75	0.80	0.85	surface temperature (°C)	10
aquifer gross thickness (m)	95	105	115	geothermal gradient (°C/m)	0.031
aquifer top at producer (m TVD)	2255.0	2505	2756.0	[mid aquifer temperature producer (°C)]	0
aquifer top at injector (m TVD)	2221.0	2468	2715.0	[initial aquifer pressure at producer (bar)]	0.0
aquifer water salinity (ppm)	100000	120000	140000	[initial aquifer pressure at injector (bar)]	0.0

B) Doublet and pump properties

Property	value
exit temperature heat exchanger (°C)	35
distance wells at aquifer level (m)	1460
pump system efficiency (-)	0.61
production pump depth (m)	500
pump pressure difference (bar)	40

C) Well properties

calculation length subdivision (m) 50

Producer		Injector	
outer diameter producer (inch)	6.125	outer diameter injector (inch)	6.125
skin producer (-)	0	skin injector (-)	0
penetration angle producer (deg)	45	penetration angle injector (deg)	45
skin due to penetration angle p (-)	-0.97	skin due to penetration angle i (-)	-0.97

Segment	pipe segment sections p (m AH)	pipe segment depth p (m TVD)	pipe inner diameter p (inch)	pipe roughness p (milli-inch)	Segment	pipe segment sections i (m AH)	pipe segment depth i (m TVD)	pipe inner diameter i (inch)	pipe roughness i (milli-inch)
1	500	500	5	1.2	1	50	50	5	1.2
2	1054	1054	12.375	1.2	2	1054	1054	12.375	1.2
3	1930	1833	8.625	1.2	3	1930	1833	8.625	1.2
4	2678	2505	6.625	1.2	4	2645	2468	6.625	1.2
5					5				
6					6				

Figuur 1: Invoerscherm DoubletCalc1.4.3. Witte velden moeten worden ingevuld, grijze worden berekend door de software. Variabelen tussen [] zijn optioneel. Invulvelden voorafgegaan door blauwe tekst kunnen door de gebruiker vrij worden gekozen.

1.2 Verwacht vermogen en de overschrijdingskansgrafiek

Hier geeft u aan voor welk vermogen u aanspraak wilt maken op ondersteuning uit de SDE+ regeling (het P50 vermogen) en/of Garantieregeling (het P90-vermogen). Voor de rapportage van het geothermisch vermogen voldoet een screendump van de 'DoubletCalc result table' of een gelijkwaardige wijze van presenteren tezamen met de overschrijdingskansgrafiek.

In het voorbeeld van Figuur 2 en Figuur 3 is het indicatieve vermogen bij een overschrijdingskans van 90% en ook 50% gegeven (het zogenaamde P90 vermogen 6.44 MW en het P50-vermogen van 8.3 MW). Details zijn te vinden in onderstaande screendumps van de DoubletCalc1.4.3 simulatie. U moet in deze paragraaf uiteraard de voor uw eigen situatie relevante gegevens aanleveren:

- De DoubletCalc 'output table'
- De overschrijdingskansgrafiek.

Doublet Calculator 1.4.3 Result Table

probabilistic plots | fingerprinting | export base case details

file: ... entiele Adviezen Mijnbouw\Resource_Assessment_AARDWARMTE\DoubletCalc1D\DC_use\example.xml

Geotechnics (Input)

Property	min	median	max
aquifer permeability (mD)	150.0	250.0	500.0
aquifer net to gross (-)	0.75	0.8	0.85
aquifer gross thickness (m)	95.0	105.0	115.0
aquifer top at producer (m TVD)	2255.0	2505.0	2756.0
aquifer top at injector (m TVD)	2221.0	2468.0	2715.0
aquifer water salinity (ppm)	100000.0	120000.0	140000.0

Property	value
number of simulation runs (-)	1000.0
aquifer kh/kv ratio (-)	1.0
surface temperature (°C)	10.0
geothermal gradient (°C/m)	0.031
[mid aquifer temperature producer (°C)]	0.0
[initial aquifer pressure at producer (bar)]	0.0
[initial aquifer pressure at injector (bar)]	0.0
exit temperature heat exchanger (°C)	35.0
distance wells at aquifer level (m)	1460.0
pump system efficiency (-)	0.61
production pump depth (m)	500.0
pump pressure difference (bar)	40.0
outer diameter producer (inch)	6.13
skin producer (-)	0.0
skin due to penetration angle p (-)	-0.97
pipe segment sections p (m AH)	50.0,1054.0,1930.0,2678.0
pipe segment depth p (m TVD)	50.0,1054.0,1833.0,2505.0
pipe inner diameter p (inch)	5.0,12.38,8.62,6.62
pipe roughness p (milli-inch)	1.2,1.2,1.2,1.2
outer diameter injector (inch)	6.13
skin injector (-)	0.0
skin due to penetration angle i (-)	-0.97
pipe segment sections i (m AH)	50.0,1054.0,1930.0,2645.0
pipe segment depth i (m TVD)	50.0,1054.0,1833.0,2468.0

Geotechnics (Output)

Monte Carlo cases (stochastic inputs)	P90	P50	P10
aquifer kH net (Dm)	16.27	21.43	32.71
mass flow (kg/s)	35.22	43.71	58.03
pump volume flow (m³/h)	119.9	148.7	198.2
required pump power (kW)	218.4	270.9	361.1
geothermal power (MW)	6.44	8.3	11.25
COP (kW/kW)	28.1	30.5	32.8

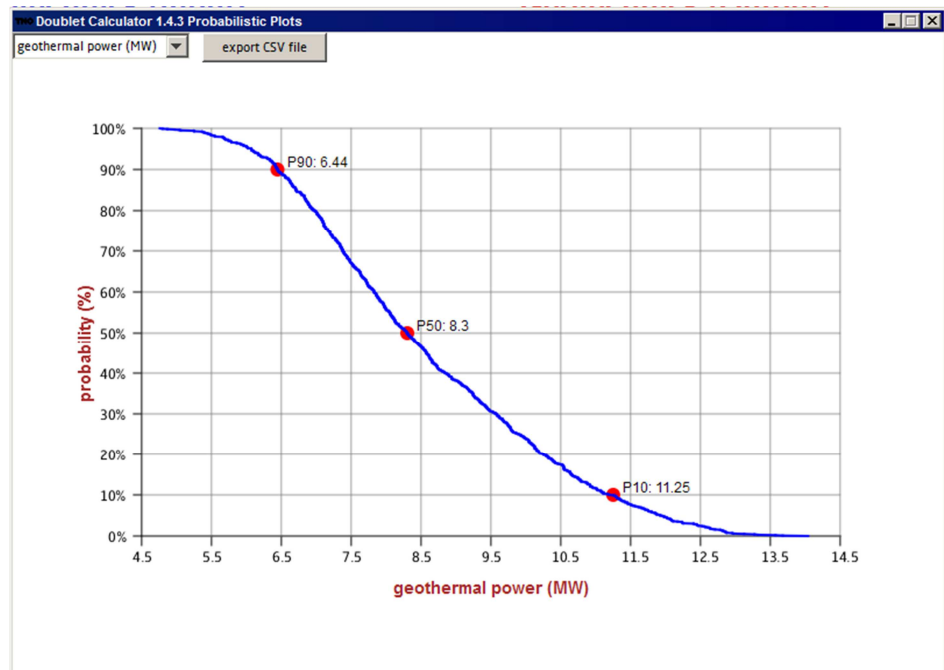
Property	value
aquifer pressure at producer (bar)	240.17
aquifer pressure at injector (bar)	237.08
pressure difference at producer (bar)	11.92
pressure difference at injector (bar)	22.42
aquifer temperature at producer * (°C)	84.98
temperature at heat exchanger (°C)	82.45

base case (median value inputs)	value
aquifer kH net (Dm)	21.0
mass flow (kg/s)	43.05
pump volume flow (m³/h)	146.6
required pump power (kW)	267.1
geothermal power (MW)	8.12
COP (kW/kW)	30.4

Property	value
aquifer pressure at producer (bar)	255.08
aquifer pressure at injector (bar)	251.18
pressure difference at producer (bar)	13.78
pressure difference at injector (bar)	25.81
aquifer temperature at producer * (°C)	89.28
temperature at heat exchanger (°C)	86.51
pressure at heat exchanger (bar)	16.35

* @ mid aquifer depth

Figuur 2: Uitvoerscher DoubletCalc1.4.3 van het project getoond in Figuur 1.



Figuur 3: De overschrijdingskansgrafiek in de uitvoer van DoubletCalc: het geothermisch vermogen tegen de overschrijdingskans. Bijvoorbeeld: de kans is 50% dat het geothermisch vermogen groter is dan 8.33 MW.

2 Beoogde locatie en putten

In dit hoofdstuk worden de aardwarmtevergunning waarbinnen het doublet valt, de locatie en de toepassing van het doublet behandeld.

2.1 Beoogde locatie

In deze paragraaf wordt opgesomd in welke aardwarmtevergunning (naam en dieptebereik) en gemeente de projectlocatie zich bevindt, met referentie naar de Staatscourant waar de toekenning van de vergunning is gepubliceerd.

2.2 Putten

In deze paragraaf worden de putten opgesomd die deel gaan uitmaken van het doublet of geothermisch systeem. De beoogde namen van de putten worden gespecificeerd en welke put beoogd wordt de injectie- te zijn en welke de productieput.

In de figuur (voorbeeld in Figuur 4) die u hier opneemt moeten minimaal de volgende punten te zien zijn:

- de begrenzing en de naam van de aardwarmtevergunning
- de locatie van het project,
- de beoogde oppervlakte- en TD-locaties inclusief het voorziene boortraject van de te boren putten en/of van reeds bestaande putten die onderdeel uit gaan maken van het aardwarmteproductiesysteem, geannoteerd met naam en functie.
- topografische elementen zoals gemeentegrenzen, waterlopen, stedelijke begrenzingen etc.

Figuur 4 moet tevens voorzien zijn van een duidelijke legenda, schaalbalk, noordpijl en referentie coördinaten langs de rand van de kaart. Deze cartografievereisten gelden voor alle kaarten in de rapportage.



Figuur 4: *Locatie van het aardwarmteproject*

3 Aanmelding voor regeling SDE+ en/of Garantierегeling

In dit hoofdstuk wordt gespecificeerd voor welke regelingen dit rapport de ondersteunende documentatie geeft alsmede wat wordt aangevraagd.

3.1 Aanmelding Garantierегeling

In deze paragraaf wordt gespecificeerd wat er voor garantstelling in de Garantierегeling wordt aangemeld. De aanmelding kan bestaan uit:

- een heel doublet of;
- een 'half doublet'. Dit kan de eerste, de tweede of een vervolgput zijn, waarbij een vervolgput als een vervangings- of extra capaciteitsput op een bestaand operationeel aardwarmteproductiesysteem wordt beschouwd.

In het geval van een 'half doublet' dient nader gespecificeerd te worden of het bestaat uit:

- enkel de eerste te boren put van het doublet (half doublet – eerste put) of;
- enkel de tweede put van het doublet (half doublet – tweede put). De tweede put dient ter completering van het doublet. Van dit doublet is de 'eerste' put reeds gerealiseerd als:
 - een 'droge' koolwaterstof exploratieput (i.e., geen koolwaterstoffen in vrije fase aangetroffen);
 - een reeds bestaande aardwarmteput.
- enkel de vervolgput in een bestaand aardwarmteproductiesysteem. Van dit doublet zijn de eerste en tweede put reeds gerealiseerd in een reeds bestaand aardwarmteproductiesysteem dat operationeel is of is geweest.
 - De vervolgput dient ter:
 - 1) vervanging van een verstopte dan wel anderszins niet meer operationele injectie- of productieput of;
 - 2) uitbreiding van het doublet of aardwarmteproductiesysteem voor het realiseren van extra capaciteit.

Putten

Indien de 'eerste' put van het aardwarmteproductiesysteem reeds is geboord als: een koolwaterstof-exploratieboring met als resultaat 'droog' (op het geothermische doelniveau) alsmede een uitgeproduceerde productieput op een ander niveau als het geproduceerde koolwaterstofreservoir, of een bestaande aardwarmteboring(en) van het beoogde aardwarmteproductiesysteem, dan meldt u in deze paragraaf: de naam van deze put(ten). In paragraaf 5.1 geeft u een beschrijving van de geschiedenis van en beschikbare gegevens uit deze put(ten).

Gegevens en analyse van gegevens uit deze put(ten) zijn essentieel voor de inschatting van het geothermisch vermogen van het doublet. Deze gegevens en analyseresultaten dienen dan ook onderdeel te zijn van de geologische onderbouwing die in de navolgende hoofdstukken wordt gegeven. Relevante gegevens en analyseresultaten moeten worden toegevoegd als bijlage bij dit rapport.

Let op: gezien het belang van de resultaten van de eerste put voor de verwachte resultaten van de tweede put of vervolgput is een uitgebreide presentatie van de putresultaten essentieel.

3.2 Aanmelding SDE+

In deze paragraaf wordt gespecificeerd wat er voor SDE+ wordt aangemeld. De aanmelding kan bestaan uit:

- een heel geothermisch systeem of;
- een 'uitbreiding van een bestaand geothermisch systeem met een aanvullende put'.

Extra vermogen door aanvullende put voor een SDE+ aanvraag

Indien de aanvraag de categorie "een productie-installatie als bedoeld in de onderdelen a, of b, waarvoor op het moment van aanvragen reeds een subsidie is verleend op grond van het besluit die wordt uitgebreid met ten minste één aanvullende put met een diepte van ten minste 500 meter"² betreft dan dienen drie DoubletCalc-scenario's en de berekeningsresultaten gegeven te worden:

- 1) Het DoubletCalc scenario waarin de aanvullende put die het extra vermogen genereert is meegenomen.
- 2) Het DoubletCalc referentie-scenario. Dit is het realisatiescenario van het bestaande operationele doublet zonder verdiscontering van de aanvullende put. Het "base case" vermogen, berekend op basis van de actuele middenwaarden, zou het gerealiseerde vermogen moeten benaderen.
- 3) Het DoubletCalc scenario waarop de SDE+ subsidie van de bestaande doublet is toegekend.

Indien het DoubletCalc scenario genoemd onder punt twee niet opportuun is omdat de geologische parameters tussen de twee bestaande putten te veel verschillen, wordt hier een degelijk onderbouwde opgave van het gerealiseerde vermogen gegeven. Voor verantwoording van de gebruikte parameters in die opgave wordt verwezen naar de relevante paragrafen in het rapport.

² Staatscourant 2016 nr 37730, 20 juli 2016, §3.3.4 Geothermie warmte artikel 34, lid c.

4 Geologische setting

4.1 Lokale geologie

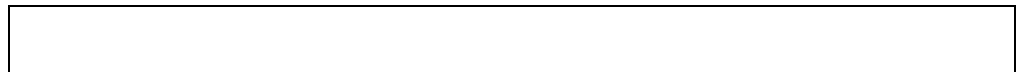
De aan te boren aquifer en de laagpakketten boven die aquifer worden hier lithostratigrafisch beschreven. Eventuele hiaten in de stratigrafie moeten meegenomen worden in de beschrijving. De gelaagdheid van maaiveld tot en met de aquifer wordt geïllustreerd aan de hand van één of meerdere referentieputten. De keuze van de referentieput(ten) moet onderbouwd worden. De begravingsgeschiedenis van de projectlocatie op basis van de referentieput moet behandeld worden. Bij de beschrijving van de aquifer dienen naast de lithostratigrafie ook de lithologie, het afzettingmilieu, en de laterale uitgebreidheid geadresseerd te worden. Minimaal dienen hier referenties gebruikt te worden uit publiek materiaal zoals bijvoorbeeld het boek *Geology of the Netherlands* (Wong et al. 2007), de kaartbladen van RGD, NITG-TNO en/of TNO, en publieke informatie die via de EZ-website www.nlog.nl verkrijgbaar is. Deze beschrijving van de gesteenteopvolging vormt de basis voor de uiteindelijke detailuitwerking in het boorprogramma, waar de operationele en geologische gevaren van het doorboren van de gesteentelagen worden geïdentificeerd en beschreven.



Figuur 5: Locatie van het aardwarmteproject/vergunning ten opzichte van de structureel geologische elementen. (Voor de hand liggend zijn de structurele elementen van Jura/Krijt ouderdom omdat die indicatie geven van de begravingsgeschiedenis. Indien een andere structureel geologische elementenkaart meer relevant is dan staat het vrij die te gebruiken.)



Figuur 6: (Schematische) dwarsdoorsnede door het projectgebied (loodrecht op de structurele geologische / belangrijkste breuktrend)



Figuur 7: Stratigrafie op de projectlocatie

4.2 Koolwaterstof voorkomens in de nabijheid van het project.

In deze paragraaf dient het (gevaar op het) voorkomen van koolwaterstoffen in de ruime omgeving van de projectlocatie geïnventariseerd te worden. Bij de beschrijving van de aard van de koolwaterstoffen (olie/gas, vrij/sporen) dient ook het reservoir of aquifer genoemd te worden waarin deze zich zouden bevinden (inclusief het voorkomen van z.g. "shallow gas"). De projectlocatie en de betreffende begrenzing van de aardwarmtevergunning worden, samen met de locatie van nabije olie- en gasvelden, op een kaart gepresenteerd (Figuur 8). Informatie over de (producerende) gas- en olievelden is te vinden op het Nederlandse olie- en gasportaal www.nlog.nl.

Het aantreffen van koolwaterstoffen wordt overigens niet als een geologisch risico aangemerkt in de Garantierегeling 'Risico's dekken voor aardwarmte'.



Figuur 8: Locatie aardwarmteproject/vergunning ten opzichte olie- en gasvoorkomens

5 Beschikbare en gebruikte putten en seismische data

In dit hoofdstuk wordt beschreven welke boringen en seismische data zijn gebruikt.

5.1 Keuze van de referentieputten en putinformatie

In deze paragraaf wordt beschreven welke boringen zijn gebruikt voor de seismische interpretatie (Hoofdstuk 6), de petrofysische evaluatie (Hoofdstuk 7) en de waterevaluatie (Hoofdstuk 8). Ook wordt beschreven welke boringen zijn genegeerd en om welke reden dit is gebeurd. Daarnaast wordt een beoordeling gegeven van de relevantie van de putten voor dit project en een oordeel over de kwaliteit van de putgegevens. Voor verschillende toepassingen kunnen verschillende subsets van de totale verzameling beschikbare boringen zijn gebruikt (bijvoorbeeld subset A voor seismische interpretatie, subset B voor petrofysica).

De locatie van al deze gegevens wordt op een kaart weergegeven (Figuur 9). Hierop zijn ook belangrijke topografische fenomenen (zoals steden, dorpen, hoofdwegen en rivieren) afgebeeld, evenals de begrenzing van de aardwarmtevergunning waarbinnen het project wordt uitgevoerd. Voor detailinformatie van de gebruikte gegevens verwijst u naar Bijlage 1.

Indien ook of enkel gebruik is gemaakt van publiek beschikbare putgegevens moet dit eenduidig gerefereerd worden.

Indien de Garantierегelingaanvraag een 'half doublet', tweede of vervolgput betreft is de 'eerste' put of zijn eerdere putten per definitie de belangrijkste referentieput(ten). In alle analyses, onder meer seismische, petrofysische en geologische analyses moeten die putten een centrale plaats innemen.

Als één of meerdere putten van het toekomstige aardwarmteproductiesysteem reeds zijn geboord als een olie- of gasboring (zie Hoofdstuk 3) dan meldt u in deze paragraaf: de naam van deze put(ten), gecombineerd met een beschrijving van de geschiedenis van en beschikbare gegevens uit deze put(ten).

Gegevens en analyses van gegevens uit deze bestaande put(ten) zijn essentieel voor de inschatting van het geothermisch vermogen van het doublet omdat ze de meest relevante referentieputten zijn. Deze gegevens en analyseresultaten dienen dan ook onderdeel te zijn van de geologische onderbouwing die in de navolgende hoofdstukken wordt gegeven. Relevante gegevens en analyseresultaten moeten worden toegevoegd als bijlage bij dit rapport.

5.2 Seismische gegevens

De naam en/of code(s) van de seismische survey(s) (evt. welk deel ervan) en de bedekkingsgraad van de geïnterpreteerde seismische lijnen over het aangevraagde gebied wordt opgesomd en geïllustreerd op een kaart (Figuur 9). De opsomming van de essentiële metadata van de seismiek omvat onder meer formaat, polariteit, fase, line spacing en/of het de versie betreft die in het publieke domein verkrijgbaar is of dat het een recentere reprocessing betreft.

Voor een uitgebreide opsomming van de gebruikte seismische lijnen en/of surveys en de bijbehorende metadata verwijst u naar Bijlage 1.

Indien ook of enkel gebruik is gemaakt van publiek beschikbaar kaartmateriaal moet dit hier gerefereerd worden. Indien eerder seismisch interpretatiewerk gedaan is in dit gebied wordt verwezen naar eerdere rapporten



Figuur 9: *Gebruikte gegevens: locatie van gebruikte putten, niet gebruikte putten, gebruikte seismische data en kaartmateriaal.*

5.3 Coördinaatsysteem

Indien relevant geeft u hier een beschrijving van het gebruikte coördinaatsysteem en de gebruikte methode om data die in een ander coördinatensysteem is aangeleverd te converteren naar het gebruikte systeem. (bijvoorbeeld: het gebruikte systeem is het Rijks Driehoekstelsel. Gegevens aangeleverd in UTM31, ED50 zijn naar dit systeem geconverteerd met behulp van etc.). Op alle gepresenteerde kaarten in dit rapport dient het geografische referentie-grid in het kader van de kaart te worden gepresenteerd.

6 Seismische interpretatie en dieptemodel

De kaart die de diepte van de top van de aquifer weergeeft dient in volgorde van afnemende voorkeur gebaseerd te zijn op:

1. een zo recent mogelijke (eventueel nog niet publieke) 3D-seismische survey (indien beschikbaar voor de aanvrager);
2. een recente reprocessing van een (eventueel nog niet publieke) 3D-survey (indien beschikbaar voor de aanvrager);
3. een relevante 3D-seismische bedekking van het vergunde gebied van de meest recente publiek beschikbare 3D-survey;
4. Indien geen 3D-seismiek beschikbaar is dan worden alle relevante, publieke 2D-seismische lijnen gebruikt die het gebied kruisen of in de nabijheid van het gebied liggen, op zodanige wijze dat het gebied zo goed mogelijk bedekt wordt en omsloten is met seismische lijnen. Eventueel worden deze aangevuld met lijnen uit niet-publieke bron;
5. Eerder locatie specifiek seismisch interpretatiewerk uitgevoerd door aanvrager of derden;
6. Indien geen van bovenstaande aanwezig zijn kan enkel voor SDE+ aanvragen terug gevallen worden op publieke kaarten uit bijvoorbeeld de kaartenserie van RGD, NITG-TNO en/of TNO (zie www.nlog.nl of www.thermogis.nl)

Relevant betekent onder meer dat de beoogde aquiferdiepte uit seismiek en kaarten kan worden afgeleid. Voor Garantieregeling dient minimaal één seismische lijn door het betreffende vergunningsgebied te lopen.

6.1 Methode beschrijving

Gebruikte software, in geval van 3D seismische interpretatie om de hoeveel in-lines / cross-lines geïnterpreteerd is. De reden waarom sommige lijnen niet of juist wel gebruikt zijn.

6.2 Additionele gegevens

Opsomming van bestaande interpretaties ter referentie.

6.3 Well to seismic ties

Opsomming van de namen van de relevante putten die gebruikt zijn om de seismische reflectoren aan de laagpakketten te correleren en de diepte te kalibreren. Indien die relevante referentieputten buiten de aardwarmtevergunning liggen dient de informatie via een seismische lijn naar het projectgebied gebracht te worden. In geval van Garantieregeling aanvraag 'half doublet – 'tweede put dan wel vervolgput' en /of 'aanvullende put voor een SDE+ aanvraag' dient, indien de opgenomen data dit toestaat, de 'eerste' put dan wel het bestaande doublet eenduidig onderdeel te zijn van de "well to seismic" analyse. Een korte beschrijving van het seismische karakter van de relevante reflectors wordt hier gegeven. Bij voorkeur geïllustreerd met een figuur.



Figuur 10: "Seismic to well tie" van put X.

6.4 Seismische interpretatie

Een korte beschrijving van de kwaliteit van de seismiek en de definitie van de belangrijke geologische laagvlakken als seismische horizonten. Vervolgens de methode van het interpreteren van de gekarteerde horizonten: handmatig 'gepicked', gedeeltelijk 'ge-autotracked' etc. Er wordt aangegeven welke horizonten zijn geïnterpreteerd en waarom. De resolutie van de seismiek wordt gerelateerd met de verwachte dikte van de aquifer, zodat duidelijk is hoe de seismiek gebruikt kan worden in de aquifer definitie (distributie, dikte, seismische facies, (relatieve) indicatieve porositeit). Relateer dit ook aan de cumulatieve data dichtheid (aantal lijnen per kilometer) van de seismische surveys (2D-3D) en de breukdichtheid. Een tabel wordt bovenstaande eenduidig samengevat.

Geïnterpreteerde horizon	Lithostratigrafische code van horizon	karakter	kwaliteit	Interpretatie methodiek
Basis Noordzee Groep	N		Uitstekend	autotrack

Tabel 1: gegevens gekarteerde seismische reflectoren.

6.5 Gridding algoritme

De methode die gebruikt is om het tijd-grid te maken. Opsomming van de tijd-grids die gemaakt zijn. Er wordt in de contouring/gridding rekening gehouden met breuken. Geïnterpreteerde en afgeleide tijdgrids worden getoond in Bijlage 5.

6.6 Tijd-diepte conversie

De methode en parameterbeschrijving (bijvoorbeeld de V_0 en k of constant interval snelheid) van de tijd-diepte conversie, waarbij rekening is gehouden met de lokale geologische opbouw. De parameters worden in een tabel gegeven (Tabel 2). Er wordt ook een korte argumentatie voor de gekozen methode gegeven. Als er andere methodieken zijn gebruikt waarbij andere parameters relevant zijn worden die gemeld.

Laagpakket / eenheid	Base horizon	Model	V_0	k
Noordzee	Basis Noordzee	V_0k		
Chalk	Basis Chalk	V_0k		
Zechstein		V_{int}		

Tabel 2: V_0 en k parameters of V_{int}

In het proces om van het tijddomein naar het dieptedomein te komen dienen de verschillen tussen gekarteerde horizon en putdiepten geanalyseerd te worden. Deze zogenaamde residuen geven inzicht in de kwaliteit van het toegepaste snelheidsmodel: het streven is om bij elke put een residu van zo dicht mogelijk bij de 0 te krijgen (zonder 'well-tie') alvorens het dieptegrid aan de putten aan te passen (tie to wells). De residuen kaart en tabel van het gebruikte snelheidsmodel en de referentieputten op relevante horizons dienen in de bijlage toegevoegd te worden. Een voorbeeld van een adequate werkwijze is beschreven op het 'DinoLoket' (<https://www.dinoloket.nl/node/6502>) voor de regionale kartering. Indien de putten alleen olie- en gasboringen zijn die aantoonbaar behoren tot een aselechte distributie, doordat ze bijvoorbeeld enkel op structurele hogen / horstblokken zijn gesitueerd, dient het risico op een afwijkend snelheidsprofiel in de slenken / de laag gelegen delen te worden beargumenteerd.

6.7 Diepte kaart van top/basis aquifer

Een korte beschrijving van de top/basis aquiferkaart refererend naar de kaart (Figuur 11 & Figuur 12). Als de top of de basis van de aquifer niet direct van de seismiek is af te leiden, wordt de methode waarmee de top en of basis aquiferkaart is geconstrueerd beschreven. Indien hier bijvoorbeeld diktekaarten zijn gebruikt dan dient er ook een opsomming van de data en beschrijving bijgevoegd te worden van de compilatiemethode die ten grondslag ligt aan de betreffende kaart. Indien er kaarten zijn gebruikt in de compilatie dan moeten die ook in een figuur worden gepresenteerd of verwezen (voor dikte kaart op basis van putgegevens zie Figuur 14). Ook dient in de beschrijving van de kaart een beschrijving van de breuken die de aquifer doorsnijden te worden gegeven. Met name de breuken die het dichtst bij of tussen de doubletputten zijn gesitueerd.

De top aquifer-dieptekaart wordt gepresenteerd met:

- eventueel aanwezige breuken die de aquifer doorsnijden;
- doorprikpunten van bestaande putten met de gekarteerde aquifer, inclusief labels van putnaam en dieptewaarde. In geval van Garantieregelingaanvraag 'half doublet', tweede of vervolgput, dienen voorgaande putten met dieptewaarde top reservoir op de kaart zijn aangegeven;
- de locatie van de beoogde doorprikpunten op top aquiferniveau van de doubletputten (incl. in een tabel met RD-coördinaten);
- het traject van de seismische lijnen of de verticale schematische sectie die als illustratie zijn gekozen;
- begrenzing van de aardwarmtevergunning;
- de kaartopmaak dient met schaalbalk en grid-annotatie te gebeuren.



Figuur 11: a&b Kaart top en/of basis aquifer op basis van seismische interpretatie



Figuur 12: Kaart dikte aquifer op basis van seismiek.

Geïnterpreteerde en afgeleide diepte- en diktegrids worden getoond in Bijlage 5.

6.8 Discussie van onzekerheid van de top/basis aquiferkaart

De diepte van de top van de aquifer op de doellocaties van de putten wordt afgelezen van de top aquifer dieptekaart. In deze paragraaf kan een beschouwing gegeven worden over de nauwkeurigheid van de top aquiferkaart. Deze beschouwing dient primair als input voor het op te stellen boorplan. Let wel, in de DoubletCalc software wordt de onzekerheid in de diepte-contourkaart gesteld op 10% van de verwachtingswaarde. In deze relatief grote onzekerheid wordt tevens de onzekerheid in de geothermische gradiënt verdisconteerd (welke in DoubletCalc zonder onzekerheidsmarge wordt opgegeven).

7 Model en karakterisering van de aquifer

Het doel van dit hoofdstuk is het onderbouwen van de aquiferparameters, die gebruikt zijn voor de berekening van het indicatieve geothermische vermogen.

Om een efficiënte audit van de onderbouwing van de gebruikte aquifer-parameters en eventuele spreiding daarin mogelijk te maken wordt de daarvoor gebruikte dataset beschikbaar gesteld in de Bijlagen 2 t/m 4. Datasets die gebruikt kunnen worden om de aquiferpermeabiliteit te bepalen zijn puttest gegevens, productie/injectie gegevens, kernmetingen en “well log” gegevens. Van de voor de bepaling van de aquiferpermeabiliteit relevante putten dienen, indien beschikbaar, al deze gegevens te worden geëvalueerd.

In geval van een Garantieregelingaanvraag 'half doublet', 'tweede of vervolgput' en/of 'aanvullende put voor een SDE+ aanvraag' moet bij de karakterisering van de aquifer in elk van de paragrafen van dit hoofdstuk de data uit de voorgaande putten van het aardwarmteproductiesysteem behandeld te worden, naast informatie van de andere referentieputten.

De methodiek voor de bepaling van het gewicht van de permeabiliteitswaarde heeft een voorkeursvolgorde:

1. Puttest-gegevens,
2. Productie gegevens,
3. Petrofysische evaluatie (logs en kernmetingen),
4. Publieke bronnen.

De permeabiliteit van de aquifer op een locatie kan geschat worden uit verschillende soorten brongegevens. Vaak zijn de brongegevens afkomstig van een andere locatie dan waar geboord zal worden. In dat geval is het nodig de afgeleide permeabiliteit(-en) te extrapoleren naar de projectlocatie. In dit hoofdstuk volgt de (niet uitputtende) opsomming van een aantal mogelijkheden waarop dit gedaan kan worden.

Indien er nog geen puttest is uitgevoerd en/of petrofysische evaluatie mogelijk is dan wordt minimaal een adequate inschatting gepresenteerd op basis van literatuurgegevens zoals bijvoorbeeld ThermoGis (<http://www.thermogis.nl>) en/of onderliggend kaartmateriaal (<http://www.thermogis.nl/publicaties.html>), datasets op www.nlog.nl of kaartbladen van RGD, NITG-TNO en/of TNO.

7.1 Stratigrafische correlatie en laterale diktevariatie van de aquifer

In deze paragraaf wordt een korte beschrijving gegeven van de laterale ontwikkeling van de aquifer in de omgeving van de projectlocatie. Dit wordt geïllustreerd met een correlatiediagram (paneel) waarin de referentieputten centraal staan.

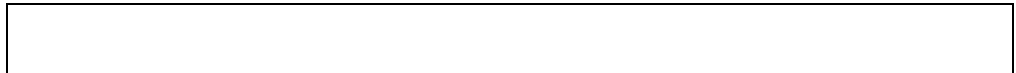


Figuur 13: Correlatiediagram van de aquifer

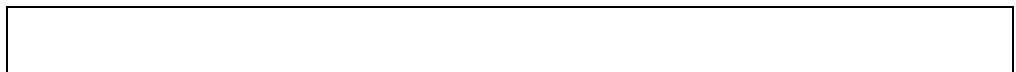
Bruto dikte van de aquifer

De eventuele laterale variatie van de bruto dikte van de aquifer wordt geïllustreerd aan de hand van een diktekaart (Figuur 14). Op de kaart wordt per datapunt / boorgat, per individuele aquifer-pakket/sequentie de dikte van de aquifer aangegeven. Er wordt eenduidig beschreven hoe de diktekaart tot stand is gekomen. Geef ook aan welke putten om welke reden (bijvoorbeeld: erosie top aquifer, breukuitsnijding niet volledig doorboord) niet zijn meegenomen in de contouring. De gebruikte contourmethode wordt genoemd inclusief eventueel gebruikte parameters (bijvoorbeeld correlatielengte, nugget en sill als kriging is gebruikt, of de exponent voor 'inverse distance'). Als de berekening van de diktekaart gestuurd is door een breukenkaart of een dikte-trendkaart op basis van de seismiek (§ 6.7, Figuur 12) wordt deze ook opgenomen, met een beschrijving van de karteermethodiek (contour-algoritme en eventueel ten grondslag liggende geologische concepten). Ook dient een bij de diktekaart behorende foutenmarge gegeven te worden inclusief een beschrijving hoe die tot stand gekomen is.

De keuze van de dikte en de spreiding hierin, die als invoer dient voor de DoubletCalc berekening van het indicatief geothermisch vermogen worden genoemd, getabelleerd en vervolgens beargumenteerd.



Figuur 14: Bruto diktekaart van de aquifer op basis van putgegevens. De begrenzing van de vergunning, de locatie van de correlatie lijn van Figuur 13 en de voorgestelde putlocaties op aquiferniveau, met boringnaam en aquiferdikte, staan ter referentie op de kaart



Figuur 15: Sturende kaart. De begrenzing van de vergunning en de voorgestelde putlocaties op aquiferniveau staan ter referentie op de kaart.

	Min.	Meest waarschijnlijk	Max.
Bruto dikte (m) projectlocatie			

Tabel 3: Bruto dikte projectlocatie

7.2 Petrofysische evaluatie

Het uiteindelijke doel van de petrofysische evaluatie is onder andere een goede inschatting te kunnen maken van de netto-bruto verhouding en de permeabiliteit. Dit gebeurt door een petrofysische evaluatie adequaat uit te voeren waarbij van (één of) meerdere putten met behulp van de porositeits-logs (density, neutron en / of sonic logs) een porositeitscurve van de aquifer in een put te berekenen. Deze porositeitscurve wordt vervolgens nader geëvalueerd om de netto reservoir dikte te bepalen waaruit de netto-bruto waarde is te berekenen. Vervolgens, wordt de porositeitscurve geconverteerd naar een permeabiliteitscurve voor die aquifer. Van de intervallen die bijdragen aan de netto aquiferdikte kan de gemiddelde netto aquifer

permeabiliteit berekend worden. Alle stappen in de petrofysische evaluatie worden beschreven en gedocumenteerd met inbegrip van gebruikte methodiek (petrofysische modellen), opgave van de gebruikte parameters en gebruikte cut-off parameters.

Onzekerheid in de petrofysische evaluatie

Aan elke petrofysische evaluatie zijn inherent onzekerheden verbonden die invloed hebben op de uitkomsten. Bijvoorbeeld: 1) de onzekerheid in de gebruikte (default) petrofysische parameters en 2) onzekerheid in de porositeit-permeabiliteit conversie functie. In dit hoofdstuk legt u ook uit hoe u de onzekerheden heeft geadresseerd en hoe ze tot uiting komen in de waarden en de spreiding van de aquiferparameters die als DoubletCalc invoer dienen.

Kernplugmetingen

De selectie van kernplugmetingen (porositeit en permeabiliteit) uit een aantal representatief geachte putten wordt gepresenteerd. Er wordt beargumenteerd waarom de selectie representatief geacht wordt, en waarom de putten die buiten de selectieset vallen niet gekozen zijn. Indien deze informatie beschikbaar is wordt de methode waarmee de pluggen zijn schoongemaakt, de druk waaronder de metingen zijn verricht, en de correcties die zijn toegepast (bijvoorbeeld Klinkenberg correctie) vermeld.

De kernplugmetingen worden tegen elkaar uitgezet in een semi-logaritmische grafiek, met de porositeit op de x-as en de permeabiliteit op de logaritmische y-as (een 'poro-permplot', zie Figuur 16). Er wordt zo nodig een correctie op de data uitgevoerd om de in situ effectieve porositeit en permeabiliteit te benaderen, bijvoorbeeld door gebruik te maken van:

- SCAL metingen;
- Constante correctiefactor op de porositeit (0,95 is vooralsnog een pragmatische veel gebruikte correctiefactor);
- Klinkenberg correctie op de permeabiliteit

Indien meerdere facies in het reservoir aanwezig zijn en deze duidelijk verschillende porositeit-permeabiliteit eigenschappen hebben, moeten deze in de opvolgende petrofysische evaluatie en permeabiliteit berekening worden onderscheiden.

Op de punten in de grafiek wordt een regressie uitgevoerd. Dit is niet noodzakelijkerwijs één enkele lineaire regressie. In het merendeel van de gevallen lijkt het of in de hogere porositeitsklassen er een andere relatie geldt voor de porositeit-permeabiliteit dan voor de lagere klassen. Indien de data dit toelaat dient bij voorkeur een gekromde regressielijn gebruikt te worden. Als dat niet mogelijk is dan in volgorde van voorkeur:

1. Gekromde lijn, bijvoorbeeld door toepassing van Swansons mean, polynoom of power relatie regressie (van Kempen 2016).
2. Geknikte lijn.
3. RMA lineaire regressie met truncatie op een maximale permeabiliteitswaarde.
4. Y over X lineaire regressie met truncatie op een maximale permeabiliteitswaarde.



Figuur 16: Porositeit-permeabiliteit grafiek van plugmetingen met de gebruikte correlatie lijn en bijbehorende functie.

De keuze van de permeabiliteitwaarde waarbij truncatie plaatsvindt dient beargumenteerd te worden.

Indien er 'special core analysis' data (SCAL) voor handen is om de petrofysische parameters voor de berekening van de effectieve porositeit en (water)permeabiliteit beter te bepalen dan wordt hier gemeld of deze data zijn gebruikt. Indien die data niet wordt gebruikt dan wordt beargumenteerd waarom niet. Als die data wel wordt gebruikt dan worden de verschillende stappen van de verwerking beschreven en geïllustreerd.

Ook worden de porositeitsmetingen tegen de diepte uitgezet om inzicht te krijgen van de aard van de porositeit diepte trend (Figuur 17).



Figuur 17: Porositeit-diepte grafiek van plugmetingen met de gebruikte correlatie lijn.

Evaluatie kleivolume

Per referentieput wordt een evaluatie van het kleivolume uitgevoerd. De meest gangbare methode om het kleivolume te bepalen is met behulp van de Gamma-Ray (GR) log. Deze evaluatie wordt uitgevoerd door per reservoir twee GR waarden te definiëren die "schoon zand" en "klei" representeren. Binnen deze twee randwaarden wordt de GR log genormaliseerd. Bij voorkeur wordt een lineaire relatie gebruikt. Het resultaat is een curve die het kleivolume in het boorgat beschrijft. Als alternatief kan ook de Neutron-Density logcombinatie gebruikt worden. Hierbij worden, doormiddel van drie puntenparen, een "schoon zand-lijn" en "klei-lijn" gedefinieerd in een grafiek waarin de Density en Neutron tegen elkaar geplotted worden. De GR en eventueel de Neutron-Density waarden die zijn gebruikt om het kleivolume-profiel te definiëren worden gegeven in Bijlage 2.

Evaluatie porositeit

Er wordt per referentieput een petrofysische evaluatie van 'porositeitslogs' uitgevoerd. Voor de analyse wordt bij voorkeur de density log gebruikt. Daarbij wordt uiteraard rekening gehouden met de vulling van de poriën (spoelingsfiltraat, water en/of vrij gas) door bijvoorbeeld de Neutron log en de (diepe en eventueel ondiepe) weerstandslogs bij de analyse te betrekken. Als de density log niet voorhanden is, of van slechte kwaliteit, kan de sonic log gebruikt worden. (In de zeldzame gevallen dat een NMR log beschikbaar is voor porositeitsevaluatie heeft die voorkeur boven de sonic log.). Het resultaat is een porositeitsprofiel van de aquifer in het boorgat. Indien er kernplugmetingen beschikbaar zijn in het geëvalueerde interval in de betreffende put dan dienen die meegenomen te worden in de evaluatie, bijvoorbeeld ter kalibratie van de berekende porositeit. Daarbij wordt rekening gehouden met een in-situ correctie en core-shift van de kernmetingen.

In deze paragraaf wordt ook genoemd welk petrofysisch model is of welke formules zijn gebruikt (bijvoorbeeld Indonesian, Waxman-Smits, Raymer-Hunt etc). Daarnaast worden alle relevante petrofysische parameters die zijn gebruikt bij de evaluatie opgesomd, zoals bijvoorbeeld de a , m en n factoren, R_w , dichtheden etc.. Indien de modelparameters, bijvoorbeeld de n , m en a , uit beschikbare SCAL metingen afgeleid kunnen worden dan heeft dat de voorkeur boven het gebruik van de standaardwaarden of benadering van deze waarden voortvloeiend uit het kalibratieproces. Voor de rapportage is het vereist dat put-specifiek op eenduidige, overzichtelijk wijze de petrofysische evaluatie methode en gebruikte parameters worden getabelleerd. Bijlage 2 bevat de uitgebreide behandeling van de petrofysica inclusief de gebruikte parameters die overzichtelijk en eenduidig in tabellen zijn weergegeven.

Gemiddelde aquiferporositeit & Netto/Bruto verhouding of Netto dikte

Voor de bepaling van de gemiddelde aquiferporositeit, permeabiliteit en netto-bruto verhouding moet de netto aquifer dikte bepaald worden. Hiervoor worden in het algemeen cut-offs toegepast op het "petrofysisch bepaald kleivolume" (V_{sh}) en op de porositeit.

De V_{sh} cutoff waarde wordt gegeven en er wordt beargumenteerd waarom deze keuze is gemaakt. De V_{sh} cutoff is gebruikelijk in de orde van 40-50%.

Indien een porositeits-cut-off waarde is gebruikt dan wordt de waarde gegeven en een argumentatie hoe men tot deze waarde is gekomen. Een reguliere methode is het definiëren van een permeabiliteitswaarde waaronder verwacht wordt dat er niet of nauwelijks stroming van water plaats kan vinden op productie-tijdschaal. Deze permeabiliteitsdrempel wordt omgezet naar een porositeitswaarde met behulp van de correlatie lijn in de porositeit-permeabiliteit grafiek (Figuur 16). Deze naar een rond getal afgeronde waarde kan als porositeit cut-off gebruikt worden. De permeabiliteitsdrempel die vaak gebruikt wordt / adequaat is voor gas, bedraagt 0,1 mD. Voor water is 1 mD een adequate waarde. De resulterende porositeit cut-off is gebruikelijk in de orde van 6-10%.

'Petrofysische' permeabiliteit

Met behulp van de in de porositeit-permeabiliteitgrafiek bepaalde regressielijn(en) wordt elk punt op de berekende porositeitscurve omgerekend naar een permeabiliteitswaarde. Hiermee ontstaat een permeabiliteitscurve.

Indien de datapunten in de porositeit-permeabiliteitgrafiek het niet toelaten een gekromde of geknikte correlatielijn te definiëren, welke de voorkeur genieten (zie § kernplugmetingen), kan voor een rechte lijn gekozen worden. In het geval deze rechte regressielijn in het hoge porositeitsbereik wordt geëxtrapoleerd zonder sturing van punten dan kan dat leiden tot zeer (onrealistisch) hoge permeabiliteitswaarden in de berekende permeabiliteitslog. Een truncatie op een maximale permeabiliteit is dan een adequate methode om dit euvel te omzeilen.

Voor de bepaling van de gemiddelde aquiferpermeabiliteit zijn meerdere middelingmethoden mogelijk (rekenkundig, geometrisch, harmonisch of combinaties daarvan – zie bijvoorbeeld: 'A course in The Fundamentals of Core Analysis', Core Laboratories 1973). De keuze van de middelingmethode is afhankelijk van de aard en opbouw van het reservoir. Voor de **eerste orde** inschatting van de gemiddelde (horizontale) reservoirpermeabiliteit voor de SDE+ aanvraag wordt het rekenkundig (Aritmetisch) gemiddelde afdoende geacht.

In een porositeit-permeabiliteitgrafiek zijn de datapunten gespreid rondom de correlatielijn(en). Dit geeft bij één porositeitswaarde een spreiding van de mogelijke permeabiliteit. Deze informatie kan gebruikt worden om de onzekerheid in de gemiddelde aquiferpermeabiliteit op de putlocatie te bepalen. Eén methode kan zijn om porositeitsklassen (bins) te definiëren met een bijbehorende permeabiliteitsdistributie. Door vervolgens voor elke berekende porositeitswaarde in het porositeitsprofiel trekking uit de permeabiliteitsdistributie te doen wordt een permeabiliteitsprofiel geconstrueerd. Uit het resulterende permeabiliteitsprofiel wordt de gemiddelde (aritmatische) permeabiliteit berekend. Door deze procedure bijvoorbeeld 1000 keer te herhalen kan een hoge (P90), lage (P10) en een verwachte gemiddelde (P50) aquiferpermeabiliteit bepaald worden.

Evaluatie NMR logs

Indien er in relevante putten een NMR 'permeabiliteitslog' is opgenomen dan worden de resultaten gepresenteerd en besproken. Hierbij dient zorg gedragen te worden dat in de berekening van de permeabiliteit de juiste parameters worden gebruikt, die gekalibreerd zijn aan kernmetingen.

Resultaten van de petrofysische evaluatie

Hier wordt een overzichtstabel gepresenteerd met alle gegevens per geanalyseerde put naast elkaar. Voor de complete set evaluatieresultaten per put wordt verwezen naar Bijlage 2. Tabel 4 presenteert de gemiddelde waarden voor de aquifer.

Put	Formatie / aquifer zone	Top interval (mAH en mTVD)	Basis interval (mAH en mTVD)	Bruto (m)	Netto (m)	N/B (%)	Lage porositeit schatting (%)	Gemiddelde porositeit schatting (%)	Hoge porositeit schatting (%)	Lage permeabiliteitschatting (mD)	Gemiddelde permeabiliteit (%)	Hoge permeabiliteitschatting (mD)	Transmissiviteit (Dm)

Tabel 4: Karakterisering van de aquifer op basis van log-gegevens.

Bovenstaande petrofysische evaluatie resultaten dienen in twee grafieken te worden gepresenteerd (Figuur 18 & Figuur 19):

- 1) Gemiddelde aquifer porositeit (x) versus permeabiliteit (y) (Figuur 19)
- 2) Diepte (x) tegen gemiddelde aquifer porositeit (y) (Figuur 18)

7.3 Puttest evaluatie

Indien in de ruime omgeving puttest gegevens (uit geothermie-, gas- of olieputten) voorhanden zijn waarmee de relevante eigenschappen van de doelaquifer bepaald kunnen worden dan kunt u deze gebruiken om een indicatie van de permeabiliteit van de aquifer te krijgen. In deze paragraaf licht u toe hoe u uit beschikbare puttesten de permeabiliteit schat. De gebruikte puttest dient over een relevante aquifersectie te zijn uitgevoerd en adequaat te zijn geïnterpreteerd. In het geval dat de

transmissiviteit is afgeleid uit stromingstest(en) wordt een geïllustreerde samenvatting van de interpretatie van de puttest bijgevoegd als figuur. Details van de puttesten en bijbehorende interpretaties vermeldt u in Bijlage 3. Instructies of richtlijnen hoe een puttest te interpreteren worden gegeven in TNO rapport TNO 2015 R10943, Actualisatie Richtlijnen puttest en doublettest 8 juni 2015³

U beschrijft de gebruikte methode om de puttestgegevens te analyseren om zodoende tot een transmissiviteit of permeabiliteit te komen.

U presenteert de resultaten van de analyse, alsmede de validiteit en eventuele onzekerheid van de gepresenteerde gegevens in Tabel 5.

Put	Formatie / aquifer zone	Top interval	Basis interval	Delta P over put aquifer interface (bar)	Q (m ³ /hr)	Stof (water/gas/olie)	kH (mDm)	Skin	Gemiddelde permeabiliteit (mD)	PI (m ³ /hr/bar)

Tabel 5: Karakterisering aquifer uit puttest.

7.4 Productiedata evaluatie

Indien er in de ruime omgeving productiegegevens voorhanden zijn van de winning van water, gas of olie op basis waarvan reservoir eigenschappen bepaald kunnen worden, dan kunt u deze gebruiken om een indicatie van de permeabiliteit van de aquifer te krijgen. In deze paragraaf licht u toe hoe u uit productiedata de permeabiliteit heeft geschat. U moet beschrijven welke methode en parameters zijn gebruikt om de productiegegevens te analyseren en om tot een transmissiviteit of permeabiliteit te komen. De resultaten van de analyse worden in tabelvorm gepresenteerd. U bespreekt de validiteit en eventuele onzekerheid van de gepresenteerde gegevens. Details van de productiedata presenteert u in Bijlage 4.

Put	Formatie / aquifer zone	Top interval	Basis interval	Delta P over put aquifer interface (bar)	Q (m ³ /hr)	Stof (water/gas/olie)	kH (mDm)	Skin	Gemiddelde permeabiliteit (mD)	PI (m ³ /hr/bar)	Prod. Water temp (°C)

Tabel 6: Karakterisering van de aquifer uit productiegegevens

³ Dit document zal medio 2017 wederom worden geactualiseerd. Vanaf dat moment dient dat rapport als referentie.

7.5 Permeabiliteit uit publieke informatie.

Indien de permeabiliteits-schatting uit publiek beschikbare bronnen is afgeleid moeten deze bronnen worden gerefereerd. Daarnaast moet de eventuele verwerkingsmethode worden beschreven.

7.6 Bepaling aquiferkarakteristieken voor de projectlocatie

Indien er permeabiliteitswaarden zijn bepaald met verschillende technieken dan wordt een evaluatie uitgevoerd waar de verschillen worden geduïd. Bovendien wordt beargumenteerd vermeld of ze al dan niet in combinatie met elkaar gebruikt kunnen worden.

Indien relevant worden aan de verschillende aquifer eigenschapswaarden een gewicht toegekend op basis van betrouwbaarheid van de analyse waarbij bovendien rekening gehouden wordt met de voorkeursmethode (1-puttest; 2-productiedata; 3-petrofysica; 4-publieke informatie).

Vervolgens wordt een argumentatie gegeven hoe de waarde naar de projectlocatie te extrapoleren waarbij rekening gehouden wordt met (maximale) begravingdiepte en facies.

Petrofysische data extrapolatie

De petrofysisch bepaalde gemiddelde aquiferporositeit en netto-bruto waarde zijn aan elkaar gerelateerd door de gebruikte "cut-off" waarden. In deze paragraaf worden de berekende waarden op zodanige wijze in een geologisch en areaal kader geplaatst dat duidelijk wordt wat de meest waarschijnlijke reservoir eigenschapswaarde (porositeit, netto-bruto en permeabiliteit) is op de projectlocatie. Daarnaast wordt hier beschreven hoe de spreiding rond deze meest waarschijnlijke waarde is bepaald.

De permeabiliteit is een van de meest bepalende factoren bij de berekening van het geothermisch vermogen. De keuze van de minimum, maximum en verwachtingswaarden die in DoubletCalc worden ingevuld wordt bepaald door alle relevante analyseresultaten in het geologisch model van het gebied.

Er zijn veel methoden om door extrapolatie van lokale petrofysische gegevens (zoals hierboven beschreven) een inschatting te maken van de permeabiliteit op de projectlocatie. De keuze van de methode is afhankelijk van de lokale geologie, het type aquifer, en de hoeveelheid beschikbare gegevens. Voor de rapportage wordt de gekozen methode beschreven. Hierbij worden de methode, parameters en eventuele aannames opgesomd en beargumenteerd. In het proces wordt in ieder geval de hieronder genoemde locatie onafhankelijke methode gepresenteerd. Indien relevant en/of het aantal datapunten dat toestaat, dan dient de vervolgstap waarbij de laterale variatie meegenomen wordt ook uitgevoerd te worden.

Locatieonafhankelijke analyse

Als eerste orde benadering kan de opgestelde dataset (Tabel 4) van de referentieputten gebruikt worden om te onderzoeken of er een porositeit-(maximale) begravingdiepte relatie is (Figuur 18). Zo ja dan kan deze relatie gebruikt worden om de porositeit op de diepte van de projectlocatie in te schatten inclusief een maximale en minimale porositeit. Deze porositeitswaarden kunnen met behulp van de gemid-

delde porositeit-permeabiliteit grafiek (Figuur 19) omgezet worden naar permeabiliteitswaarden.

Grafiek toevoegen als voorbeeld

Figuur 18: Grafiek gemiddelde aquiferporositeit tegen gemiddelde diepte top aquifer op basis van boringen / logs. Trendlijnen en of omhullendelijnen kunnen de porositeit diepte relatie inzichtelijk maken (op basis van de gegevens uit Tabel 4).

Grafiek toevoegen als voorbeeld

Figuur 19: Grafiek gemiddelde aquiferporositeit tegen gemiddelde aquiferpermeabiliteit op basis van logs (op basis van de gegevens uit Tabel 4)

Reservoireigenschap-kaarten

Met behulp van de verzamelde lokale (gemiddelde) aquiferporositeits- en netto/bruto-waarden wordt een porositeits- en netto/brutokaart gemaakt. De interpolatiemethode wordt genoemd evenals de hierbij gebruikte parameters.

Als uit de basisgegevens blijkt dat er een porositeitstrend is, bijvoorbeeld de begravingstrend (huidige dan wel maximale begraving, zie § Locatieafhankelijke analyse) dan wordt hiermee rekening gehouden in de contouring door bijvoorbeeld de diepte kaart als sturende kaart mee te nemen in de contouring (co-kriging). Indien de datakwaliteit van de seismische survey het toelaat kan een van de seismische attributen die variatie in de porositeit kunnen oppikken, zoals de akoestische impedantie, sturend zijn bij de contouring.

De porositeit op de doellocatie van het doublet kan worden afgelezen van de kaart. De permeabiliteit wordt bepaald door de gemiddelde reservoirporositeit af te lezen in de porositeit-permeabiliteitsgrafiek uit de petrofysische evaluatie van de gebruikte putten (Figuur 18).

In het geval een (co-)Kriging methode is gekozen voor de contouring kan de onzekerheid in de porositeit direct afgeleid worden uit de resultaten van deze analyse (bijvoorbeeld als 2x de standaarddeviatie).

De onzekerheid in de porositeit op de doellocatie kan ook benaderd worden door enkel de porositeit in referentieputten te beschouwen (zie § Locatieafhankelijke analyse). De spreiding in porositeit kan afgeleid worden uit de spreiding van de gemiddelde porositeit op de diepte van de doellocatie (Figuur 18).

De porositeitwaarden (incl. de hoge en lage schattingen) worden geconverteerd naar gemiddelde aquiferpermeabiliteit met de grafiek uit Figuur 19.

De aquiferkaarten worden gepresenteerd. Op de kaarten zijn de doellocaties van de boringen zichtbaar, als ook de locatie van de datapunten waarop de kaart is gebaseerd. Deze datapunten zijn gelabeld met de putnaam en de parameterwaarde. Daarnaast is uiteraard de begrenzing van de aardwarmtevergunning zichtbaar op de kaart weergegeven.



Figuur 20: Kaart porositeit aquifer



Figuur 21: Kaart permeabiliteit aquifer (eventueel)



Figuur 22: Bij contouring gebruikte sturende kaart(-en), bijvoorbeeld akoestische impedantie

7.7 Anisotropie

Voor de berekening van het positieve effect van een gedeveerd put-traject door de aquifer op de stroom van water van of naar de put-aquifer intersectie is de parameter "anisotropie" nodig (zie ook handleiding DoubletCalc⁴, Hoofdstuk 8). Met behulp van de gegeven formules en een vijftal parameterwaarden, waaronder de anisotropie, wordt het verwachte positieve effect uitgedrukt in een negatieve skinwaarde voor de betreffende put. Deze anisotropie parameter is de verhouding tussen de horizontale en de verticale permeabiliteit: k_h/k_v .

Er zijn verschillende methodes om een inschatting te maken van de anisotropie. Hieronder worden er een aantal genoemd.

Anisotropie uit kernmetingen

In een heel aantal gevallen is voor dezelfde diepte in een put zowel een horizontale als een verticale permeabiliteit gemeten op een kernplug. Deze gegevens zijn beschikbaar in het publieke domein. Per diepte waarde kan een anisotropie berekend worden en vervolgens een gemiddelde aquifer-anisotropie. Deze gegevens kunnen ook per permeabiliteitspaar geplot worden in een log-log plot van verticale tegen horizontale permeabiliteit waarbij ook de iso-anisotropie lijnen van 1, 10, 100 en 1000 zijn getrokken. Dit geeft een goed inzicht in de spreiding. Deze methode geeft een aquiferanisotropie op kernplug schaal. Daardoor wijkt deze waarde mogelijk af van de aquiferanisotropie zoals bepaald via onderstaande methoden, die de aquiferanisotropie op reservoirniveau weergeven.

Grafiek toevoegen als voorbeeld

Figuur 23: Anisotropie- grafiek, verticale tegen horizontale permeabiliteit.

Anisotropie op basis van de permeabiliteitslog

Voor de putten waarvoor een permeabiliteitsprofiel is berekend kan het aritmetisch- en het harmonisch gemiddelde berekend worden. Aannemende dat het aritmetisch gemiddelde staat voor parallelle stroming en daarmee de horizontale permeabiliteit het best benaderd, en aannemende dat het harmonisch gemiddelde staat voor serie stroming en daarmee een adequate benadering van de verticale permeabiliteit

⁴ TNO 2014 R11396, DoubletCalc 1.4 manual, English version for DoubletCalc 1.4.3, 1 oktober 2014.

is, kan uit de ratio van beide een indicatie verkregen worden van de anisotropie van de aquifer in de put.

Anisotropie op basis van rekenmodellen.

In de publieke literatuur zijn verschillende methodieken gepubliceerd die op basis van modellen en een aantal parameters een benadering geven voor de anisotropie van een reservoir. Het artikel van Begg, Chang en Haldorsen uit 1985⁵ is daar een voorbeeld van.

Anisotropie op basis van puttest resultaten

Afhankelijk van de modelkeuzes gemaakt in een puttest interpretatie is het mogelijk de verticale permeabiliteit te berekenen. Bij het gebruik van "derivative analysis" bij puttest interpretatie kan bij, bijvoorbeeld de model keuze "two-layers / double permeability" of het "partial penetration" model een verticale permeabiliteit afgeleid worden .

Keuze anisotropie waarde voor berekening

Het heeft de voorkeur om de anisotropie bepaling op basis van de permeabiliteitslog, met de anisotropie bepaling op basis van de kernplugmetingen ter ondersteuning, het zwaarste gewicht te geven in de uiteindelijke keuze van de anisotropie waarde.

7.8 Resultaten en discussie over onzekerheid

De gekozen aquiferwaarde en bijbehorende marge (lage, midden en hoge verwachtingswaarde) worden in tabelvorm gepresenteerd.

Aquifer	Lage waarde	Midden waarde	Hoge waarde
Bruto dikte			
Netto / bruto			
Gemiddelde porositeit			
Gemiddelde permeabiliteit			
Saliniteit			
K_h/k_v	-nvt		-nvt

Tabel 7: Gemiddelde aquiferparameters

Vervolgens wordt, per aquifereigenschap, beargumenteerd waarom deze waarden gekozen zijn. Indien er verschillen zijn tussen de resultaten van de verschillende gebruikte methoden van bijvoorbeeld de permeabiliteitsbepaling dan worden deze besproken. Indien er een keuze op de resultaten van één van de methoden is gevallen wordt kort beargumenteerd op grond waarvan de voorkeur is bepaald. Als de resultaten van de ene methode (lagere voorkeurs methode) een trend laten zien (bijvoorbeeld een porositeit (dus permeabiliteit) diepte trend) die gebruikt kan worden om de resultaten van de hoge voorkeurs methode (bijvoorbeeld puttestresultaten in een ondiepere referentieput) te extrapoleren dan wordt dat hier uitgelegd.

⁵ Begg, S.H., Chang, D.M. & Haldorsen, H.H. 1985, A simple Method for calculating the effective Vertical Permeability of a reservoir containing discontinuous shales. SPE 14271.

8 Formatiewater karakterisering

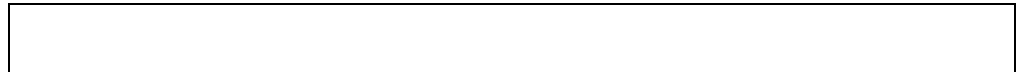
In dit hoofdstuk presenteert u de inschatting van de temperatuur en de saliniteit van het formatiewater op de doellocatie.

8.1 Temperatuur

Evaluatie temperatuurgegevens en schatting van de geothermische gradiënt

Als default waarde wordt de gemiddelde geothermische gradiënt van Nederland gebruikt (31 °C per km met een gemiddelde oppervlakte temperatuur van 10 °C; Bonté et al., 2012). Als uit analyse blijkt dat voor de projectlocatie een andere gradiënt opportuun is, dan wordt hier die analyse gepresenteerd. Gegevens om de temperatuurgradiënt te bepalen hebben een voorkeursvolgorde zowel qua acquisitiemethode als verwerkingsmethode. Gegevens voor de bepaling van de geothermische gradiënt zijn in volgorde van voorkeur:

1. Temperatuurgegevens uit geothermische systemen
2. Gestabiliseerde temperatuurmetingen opgenomen na het boren uit referentieputten
3. Als die niet of slechts beperkt voorhanden zijn, worden (gecorrigeerde) ruwe meetgegevens gebruikt met een onderbouwing hoe deze redelijkerwijs gebruikt kunnen worden.
4. Er kan gerefereerd worden naar een geothermische gradiënt uit publieke studies en datasets indien geen eigen analyse van putgegevens is uitgevoerd.



Figuur 24: Grafiek temperatuur tegen diepte met daarin de gekozen geothermische gradiënt. De datapunten zijn gelabeld met de putnaam

De onzekerheid in de temperatuurgradiënt wordt verdisconteerd in de onzekerheid in de diepte top aquifer, die DoubletCalc standaard op 10% stelt.

8.2 Evaluatie van het formatiewater

In deze paragraaf beargumenteert u hoe u uit de gebruikte dataset(s) tot de hoge en lage schatting van de saliniteit van het formatiewater komt. Gebruikte dataset(s) maakt u beschikbaar in Bijlage 1.

In de rapportage wordt de methode die gebruikt is beschreven alsmede de spreiding van de parameterwaarden in de verschillende putten, en de onzekerheid van de saliniteitswaarden die besloten ligt in de evaluatiemethode. Deze onzekerheid dient als indicatie voor de in DoubletCalc op te geven spreiding. In principe wordt qua volgorde de voorkeur gegeven aan saliniteitsbepalingen op watermonsters, dan uit logmetingen en als laatste uit publieke overzichtspublicaties.

In watermonsters gemeten saliniteit

De saliniteit van de watermonsters uit relevante referentieputten wordt hier opgesomd en besproken. De saliniteit wordt gegeven als "Total Dissolved Solids" (TDS)

in parts per million (ppm) NaCl equivalenten. De methode om de saliniteit te bepalen uit de basisgegevens wordt besproken dan wel gerefereerd.

Put	monsterdiepte	Formatie	Saliniteit (ppm)

Tabel 8: Formatiewater saliniteit uit watermonsters.

Uit logs afgeleide saliniteit

De saliniteit is ook te bepalen door een evaluatie van de porositeits- en weerstandslogs (Pickett plot). Als het mogelijk is, kunt u deze evaluatie uitvoeren voor watervoerende aquifers in de referentieputten. De resultaten worden in en tabel gepresenteerd.

Put	Interval (top—bottom in m)	Formatie	Rw	Saliniteit (ppm)

Tabel 9: Formatiewater weerstand en saliniteit.

Saliniteit uit gegevens uit het (wetenschappelijke) publicaties

Er kan gerefereerd worden naar saliniteitschattingen uit publieke studies en locatie specifieke datasets indien geen relevante putgegevens beschikbaar zijn.

Resultaten en discussie over onzekerheid

De gekozen saliniteitswaarde en bijbehorende marge (lage, midden en hoge verwachtingswaarde) worden in tabelvorm gepresenteerd.

Aquifer	Lage waarde	Middenwaarde	Hoge waarde
Saliniteit (ppm)			

Tabel 10: Waarden saliniteit: lage, midden en hoge schatting.

Koolwaterstoffen

Wanneer er een risico op het aantreffen van koolwaterstoffen (vrije fase of opgelost in het formatiewater) is geïdentificeerd (paragraaf 4.2), worden hier de gevolgen voor de eigenschappen van het formatiewater besproken zoals bijvoorbeeld een indicatie van het “bubblepoint”.

8.3 Aquiferdruk

In het algemeen wordt er van uit gegaan dat de aquiferdruk op de doellocatie hydrostatisch is. Deze aanname is in DoubletCalc geïmplementeerd. DoubletCalc berekent modelmatig de aquiferdruk aan de hand van de diepte, geothermische gradiënt en de dichtheid van het water op basis van de opgegeven saliniteit. In deze paragraaf wordt duidelijk gemaakt of:

1. verondersteld wordt dat de aquiferdruk hydrostatisch is of
2. dat er gegronde redenen zijn om aan te nemen dat er een ander drukregime in de aquifer heerst. Indien dat het geval is moet er een onderbouwing gegeven worden voor de verwachte aquiferdruk die in DoubletCalc als verwachtings-

waarde wordt ingevuld ([mid aquifer pressure at producer (bar)] en ([mid aquifer pressure at injector (bar)]) (zie DoubletCalc 1.4 handleiding).

DoubletCalc gaat er vanuit dat de waterkolom in de productieput en de injectieput met elkaar in drukcommunicatie staan. Mogelijkerwijs is dit in de realisatie niet het geval, bijvoorbeeld omdat er een ontgassingsinstallatie is geplaatst. In dit geval, is meer energie nodig om het water rond te pompen. Dit heeft invloed op met name de COP.

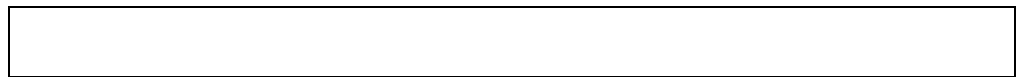
9 Doublet performance

In dit hoofdstuk komen de niet geologische parameters die in DoubletCalc ingevoerd moeten worden aan bod. Voor het uiteindelijke resultaat van het DoubletCalc scenario dat onderliggend is aan de Garantieregeling en/of de SDE+ aanvraag wordt verwezen naar de samenvatting (Hoofdstuk 1). Het staat aanvrager vrij om naast het DoubletCalc scenario een berekening uit te voeren met een eigen model. Dit dient dan gepresenteerd te worden met een eenduidige verhandeling waarom DoubletCalc in deze situatie niet adequaat is en vervolgens een verhandeling die de verschillen in uitkomst tussen de twee scenario's (DoubletCalc en eigen methode) inzichtelijk maakt en verklaart.

9.1 Doubletconfiguratie in de ondergrond

Er wordt een top aquiferkaart gepresenteerd met de locatie van de beoogde doorprikpunten op top aquiferniveau van de doubletputten, de oppervlaktelocatie van de putten en de omhullende van de onderhavige aardwarmtevergunning. U noemt en behandelt ook de afstand tussen productie en injectie put op aquifer niveau en de penetratiehoek in de aquifer. Daarnaast wordt een tabel met RD-coördinaten van de beoogde doellocaties en de oppervlaktelocaties van de putten gegeven.

Additioneel presenteert u een figuur waarin het beoogde doublet is geprojecteerd op een seismische sectie of schetsmatige doorsnede. Het gaat hierbij om minimaal één sectie die zodanig is georiënteerd dat de beoogde doorprikpunten van de putten met de aquifer nagenoeg op de sectie liggen.



Figuur 25: Top aquiferkaart met doorprikpunten, geplande en bestaande putten en begrenzing van de aardwarmtevergunning (evt. met verwijzing naar Figuur 11).

Locatie	X_RD	Y_RD
Oppervlakte locatie put 1		
Doorprikpunt top aquifer put 1		
TD put 1		
Oppervlakte locatie put 2		
Doorprikpunt top aquifer put 2		
TD put 2		

Tabel 11: RD coördinaten van de beoogde doellocaties en oppervlaktelocaties van de putten



Figuur 26: Het beoogde doublet geprojecteerd op de seismische sectie

Extra skin factor

Het positieve effect van het scheef doorboren van de aquifer kan verdisconteerd worden in een skinfactor. Deze wordt door DoubletCalc uitgerekend en gebruikt bij de berekening van het indicatieve geothermisch vermogen.

In andere gevallen, bijvoorbeeld als één put, of beide putten gestimuleerd (bijvoorbeeld gezuurd, gefraced zijn of radial drillings hebben) of horizontaal geboord

is/zijn dan kan het positieve effect op de productie en/of injectie verdisconteerd worden in een negatieve skin factor. Deze kan uitgerekend worden door de productiviteits-index van de gestimuleerde put of alternatieve putconfiguratie te relateren aan de productiviteits-index van een verticale ongestimuleerde put. De formule om dit te berekenen is bijvoorbeeld gegeven in Peters et al. (2015). (zie bijvoorbeeld <http://nlog.nl/tools> "Berekening van skin van horizontale putten").

Het effect van een extra injectie- of productiegat (extra put of multi-lateral) kan worden beschouwd als extra injectie- of productieoppervlak van de put-aquifer interface en dus verlaging van de stromingsweerstand, vergelijkbaar met een horizontale put of het plaatsen van een fracc. Derhalve kan het effect van de extra injectie- of productieput ingevoerd worden als negatieve skin in de huidige versie van DoubletCalc1.4.3. Deze benadering heeft momenteel de voorkeur omdat het een adequate benadering van het effect van een extra drainage of injectiepunt betreft en omdat voor het Garantieregeling de generieke methodiek voor het berekenen van een indicatief geothermisch vermogen gehandhaafd blijft.

Als deze extra skin (niet de 'scheve-put-skin') wordt opgevoerd dan moet de berekening van deze skin factor inzichtelijk gemaakt en onderbouwd worden.

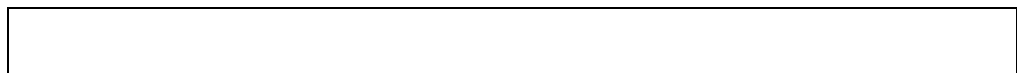
In de Garantieregeling wordt de skin factor beschouwd als een niet-geologische parameter die buiten de te garanderen geologische parameters valt.

9.2 Putarchitectuur

Hier dient een beschrijving gegeven te worden van de specificaties van de ondergrondse installatie. U noemt en behandelt de installatiespecificaties uit de tabellen 3 en 4, voor zover relevant voor productie- en injectieput:

- afhangdiepte pomp,
- pomp-efficiëntie,
- diameter boorgat in het reservoir,
- verbuizingsschema,
- dieptes van de segmenten in mAH en mTVD,
- binnendiameter opvoerbuis per segment,
- ruwheid opvoerbuis per segment.

Het configuratieschema van zowel de injectie- als de productieput wordt grafisch geïllustreerd (Figuur 27). De beoogde deviatietrajecten worden gegeven in Bijlage 6.



Figuur 27: Verbuizingsschema put. (voor elke put één figuur)

9.3 Operationele instellingen

In deze paragraaf behandelt u:

- de pompdruk die u denkt te gaan gebruiken bij de productie van aardwarmte. Bij de behandeling laat u zien dat u rekening houdt met de eisen die Staatstoezicht op de mijnen stelt aan het opereren van Aardwarmte installaties;
- de injectietemperatuur.

9.4 Indicatie en evaluatie van aandachtspunten bij boren⁶.

In deze paragraaf zet u uiteen welke geologische gerelateerde aandachtspunten geadresseerd moeten worden in het boorprogramma om met zo min mogelijk problemen op doel diepte te raken. Dit zijn bijvoorbeeld:

1. Het voorkomen van (vrije) koolwaterstoffen op het beoogde boortraject
2. Het doorboren van breuken op het boortraject (gevaar op significante spoelingsverliezen)
3. Het voorkomen van anomale (hogere of lagere) drukken t.o.v. hydrostatisch (in bijvoorbeeld "floaters")
4. Voorkomen van notoir lastig te doorboren gesteentelagen:
 - a. Zwellende kleien
 - b. Steenzout
 - c. Etc.
5. Doorboren van drinkwaterpakketten

9.5 Indicatie en evaluatie van aandachtspunten bij productie en injectie.⁷

In deze paragraaf geeft u een indicatie welke geologische gerelateerde aandachtspunten geadresseerd moeten worden bij de verwachte toekomstige ingebruikstelling van het doublet:

- 1) Scaling.
- 2) Corrosie
 - a. Chemisch
 - b. Mechanisch

⁶ Deze paragraaf is voor aanvraag Garantiefonds of SDE+ minder relevant en kan derhalve voor dat doel grotendeels overgeslagen worden. Echter, als deze rapportage ook ondersteunend is aan het op te stellen boorplan dat aan SodM aangeleverd moet worden is het adresseren van de onderwerpen genoemd in deze paragraaf opportuun.

⁷ Deze paragraaf is voor aanvraag Garantiefonds of SDE+ minder relevant en kan derhalve voor dat doel grotendeels overgeslagen worden. Echter, als deze rapportage ook ondersteunend is aan het op te stellen winningsplanplan dat aan SodM aangeleverd moet worden is het adresseren van de onderwerpen genoemd in deze paragraaf opportuun

- 3) Fines migration.
- 4) Radio-actieve straling van scaling en fines
- 5) Injectiedruk vs “fracture propagation” druk i.s.m. injectie relatief “koud” water.
- 6) Bodembeweging:
 - a. Bodensterijging / daling.
 - b. Seismiciteit.
- 7) Interferentie met olie en gaswinning.
- 8) Interferentie met aanpalende aardwarmtewinningssystemen

10 Referenties

In dit hoofdstuk worden de rapportages en artikelen opgesomd waar in alle voorgaande hoofdstukken naar wordt gerefereerd.

Bijlage 1. Gedetailleerde lijst van gebruikte gegevens

In de deze bijlage wordt opgenomen:

- Hoeveel seismische lijnen er beschikbaar zijn voor de evaluatie van het gebied;
- Welke data aan de kaarten ten grondslag liggen. Dit betreft, indien van toepassing: naam/code seismische survey(s) (evt. welk deel ervan) en de bedekkingsgraad van / aantal lijnen over het aangevraagde gebied;
- Tabel met putten in en in de omgeving van de aardwarmtevergunning met annotatie of ze zijn gebruikt en welke gegevens zijn gebruikt;
- Kaart met locatie van de seismische lijnen en geannoteerde putten.

		Put
		Reservoir zone
		Saturatiemodel
		Water resistivity (Rw) [Ohmm]
		Temperatuur bij Rw [°C]
		Sonic formatiewater [μs/ft]
		Hydrocarbon density [g/cm³]
		Hydrocarbon sonic [μs/ft]

Bijlage 3. Lijst van uitgevoerde welltests, details en resultaten van de evaluatie

Parameter	Put 1		Put 2	
	test 1	test 2	test 1	test 2
Interpretatie model				
Toegepaste correcties				
Top aquifer (m AH & TVD)				
Basis aquifer (m AH & TVD)				
Bruto aquifer dikte (m)				
Netto aquifer dikte (m)				
Zoutgehalte (ppm)				
Top productie-interval/perforatie/screen				
basis productie-interval/perforatie/screen				
Locatie pomp (m AH & TVD)				
Locatie sonde voor temp., druk (m AH & TVD)				
Verbuizings schema (m AH & TVD)				
Deviatiehoek in aquifer (°)				
Etc				
Resultaten				
Aquiferdruk				
Aquifertemperatuur				
Permeabiliteitsdikte (Dm)				
Permeabiliteit (mD)				
Skin (-)				
Productiviteits index (PI) (m ³ /hr/bar)				
Evt. Verticale permeabiliteit (mD)				

Bijlage 4. Lijst van productiedata, details en resultaten van de evaluatie

Bijlage 5. Kaarten die gebruikt zijn tijdens de evaluatie van de ondergrond

Hier presenteert u kaarten die gebruikt zijn, maar niet in de voorgaande hoofdstukken getoond:

- Tijdgrids van de geïnterpreteerde horizons
- Residualsmap. Met residuals waarde als label bij de referentieputten
- De (absolute en relatieve) residuen worden weergegeven in tabel 2. Indien een residu-grid is gemaakt en toegepast wordt deze weergegeven in figuur X.

Horizon	Put	Putdiepte (m)	Horizon diepte (m)	Absolute en relatieve residu

- Dieptegrids van de tijd-diepte geconverteerde horizons
- Additionele kaarten die gebruikt zijn bij het maken van de top- en basiskaarten van de aquifer
- Kaarten van de dikte, porositeit en permeabiliteit van de aquifer
- Kaarten met seismische attributen

Bijlage 6. Putontwerp

- Casingschema van de productie- en injectieput
- Deviatietraject van de productie- en injectieput