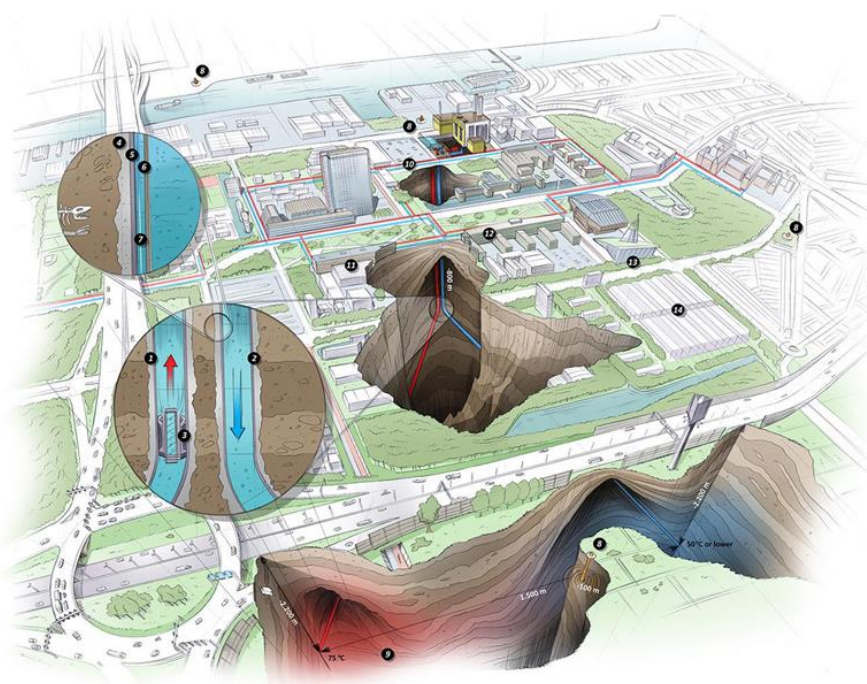


Winningsplan

Geothermie Delft



Indiener: GeoThermie Delft B.V. (KvK nummer 81146116)

Uitvoerder Mijnbouwwet: Aardyn B.V.

Opsporingsvergunning: Naam: Pijnacker-Nootdorp 6b
Kenmerk: ETM-EM/13116664
DGKE-WO/V-26187
Datum: 25 augustus 2015
22 juni 2022

Conform: Mijnbouwwet artikel 34 juncto Mijnbouwwet artikel 39

Ingediend op: 08 september 2022

Versie: Winningsplan GTD220908KHu final

Samenvatting

Wat is aardwarmte

Diep in de bodem is warm water aanwezig dat is opgeslagen in (poreuze) gesteentelagen. Hoe dieper in de aarde, hoe warmer het wordt. Met iedere kilometer diepte stijgt de temperatuur met ongeveer 30°C. Op twee tot drie kilometer diepte zit dus water van 60 tot 90°C. De energie die in dit warme water zit wordt aardwarmte of geothermie genoemd. Het water kan worden opgepompt en de warmte is te gebruiken voor bijvoorbeeld het verwarmen van woningen, gebouwen, industrie of kassen in de glastuinbouw.

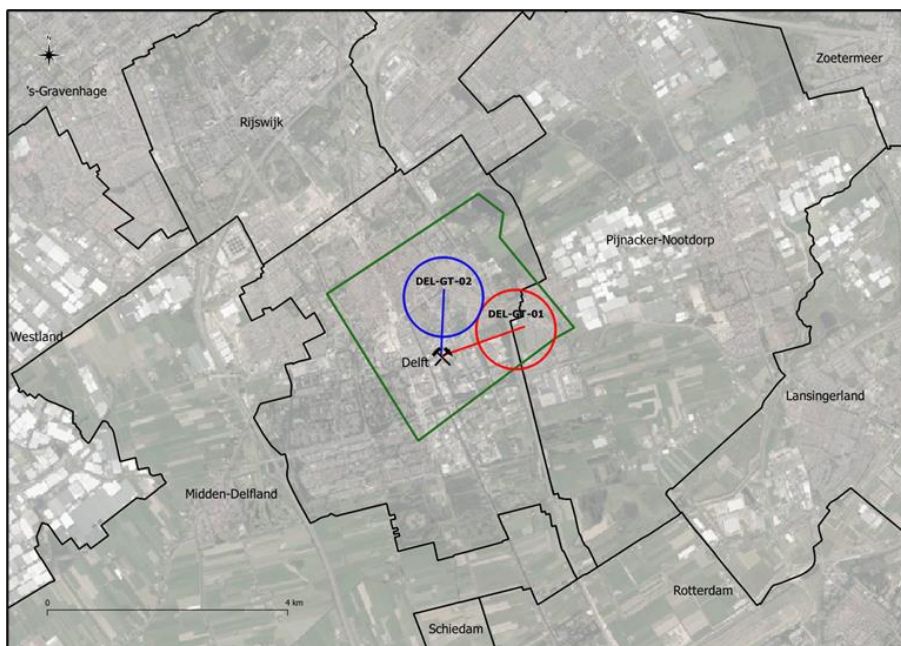
Kijk voor meer informatie op:

- www.hoewerkaardwarmte.nl
- www.geothermie.nl

Omschrijving locatie en formatie

GeoThermie Delft B.V (GTD) realiseert een aardwarmteproject aan de Rotterdamseweg te Delft. De ligging van de locatie is aangegeven in onderstaande figuren. De oppervlakte winningslocatie is aangegeven met mijnbouwteken met omschrijving "Delft" in de onderste figuur. De groene rand is grens gebied vigerende opsporingsvergunning, rode cirkel is invloedgebied winningsput en blauwe cirkel is invloedgebied injectieput. Het project wordt gerealiseerd vanaf het TUD terrein binnen de opsporingsvergunning Pijnacker-Nootdorp 6b. De Delft Zandsteenlagen zijn in reeds gerealiseerde geothermische installaties in dit gebied geschikt gebleken voor de toepassing van diepe aardwarmte. De bron levert aan warmteleverancier EQUANS, die op haar beurt de warmte middels een warmtepomp in temperatuur verhoogd om vervolgens in te voeden op het bestaande warmtenet op de TUD campus en het nieuw aan te leggen Open Warmtenet Delft (OWD).

Aardyn BV is mede aandeelhouder in GTD en zal voor het project als uitvoerder(operator) onder de mijnbouwwet functioneren. Aardyn BV is daarmee verantwoordelijk voor de veilige en gezonde uitvoering van de werkzaamheden op locatie.



Figuur 1-1 Luchtfoto met gemeentegrenzen en daaroverheen weergegeven de opsporingsvergunning Pijnacker-Nootdorp 6b en de geplande boringen van Geothermie Delft.



Figuur 1-2 Luchtfoto ligging en begrenzing van het plangebied. Ten westen (links op de kaart) van het plangebied loopt de Rotterdamseweg en ten oosten loopt de Leeghwaterstraat.

Risico's voor omgeving & milieu

Risicoanalyse naar de seismische risico's in Delft toont aan dat het risico op bodemtrillingen laag is. In het kader van het milieutechnisch veilig produceren van aardwarmte worden de putten uitgebreid gemonitord. Er zijn drie typen monitoring in plaats: continue putmonitoring, periodieke putmonitoring en omgevingsmonitoring. Integriteit van het systeem is hiermee gewaarborgd.

Onderzoeksprogramma

Geothermie op de TU Delft campus heeft twee doelen:

1. Duurzame verwarming van gebouwen: In fase 1 worden de gebouwen van de TU Delft aangesloten op de geothermiebron. In de toekomst (fase 2) worden mogelijk ook andere locaties binnen de gemeente Delft aangesloten op de bron.
2. Onderzoek en innovatie: Momenteel wordt er ongeveer 3 petajoule (PJ) energie uit geothermie in Nederland gewonnen. De overheid heeft besloten om in 2030 tot 15 petajoule (PJ) energie te winnen uit geothermie. Dat komt overeen met het energieverbruik van 300.000 - 500.000 huishoudens. De ambitie is om dit op te voeren tot ongeveer 50 PJ in 2050: het energieverbruik van circa 1,5 miljoen huishoudens. Daarbij is het nodig om de technologie grootschalig en kostenefficiënt toe te passen. De TU Delft onderzoekt in dit project mede hoe dat kan. Daarom worden de geothermieputten op de campus uitgerust met uitgebreide meetapparatuur en grondig gemonitord, zodat de onderzoekers hun modellen en theorieën kunnen controleren in een werkend systeem. Daarmee komt op de campus een unieke samenwerking tot stand tussen praktijk en onderzoek.

Formulier aanvraag instemming winningsplan EZK

Algemene gegevens	
Naam aanvrager (= uitvoerder)	GeoThermie Delft B.V.
Contactpersoon	
Postadres	Laan van Barcelona 800 3317 DD, Dordrecht
Telefoonnummer	
E-mail	@aardyn.nl
Soort plan	<i>Nieuwe aanvraag winningsplan</i>
Soort (delf)stof	Aardwarmte
Locatie	Territoir
Relevante bepalingen voor de beoordeling van uw aanvraag uit Mijnbouwwet en –regelgeving: - Artikelen 35 Mijnbouwwet	

Om op efficiënte wijze aan deze eis te voldoen en mogelijke vertraging in het autorisatieproces te voorkomen, wordt geadviseerd om het document te sturen:

1. naar het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, Directie Energiemarkt, Postbus 20401, 2500 EK DEN HAAG

en
2. de digitale versie naar [@minez.nl](mailto:info@minez.nl)

Inhoudsopgave

1.	Inleiding	12
1.1.	Wettelijk kader	13
1.2.	Verantwoorde winning, veilig voor mens en milieu.....	14
1.3.	Publiekscommunicatie.....	14
2.	Locatie en beschrijving van het geothermisch systeem.....	15
2.1.	Locatie	15
2.2.	Algemene beschrijving geothermisch systeem	19
3.	Ondergrond	20
3.1.	Algemene beschrijving ondergrond	20
3.2.	Resultaten reservoir karakterisatie	22
4.	Beoogde wijze van winning	24
4.1.	Beschrijving putten.....	24
4.2.	Put barrière enveloppe en elementen	29
4.3.	Putintegriteit en monitoring.....	32
4.3.1.	Continue monitoring	32
4.3.2.	Periodieke monitoring.....	33
4.3.3.	Omgevingsmonitoring	34
4.4.	Beoogde installatie	36
4.5.	Beoogde systeemconfiguratie.....	40
4.6.	Reservoir integriteit.....	44
4.6.1.	Integriteit afsluitende laag	45
4.6.1.	Seismiciteit.....	49
4.7.	Beoogde operationele instellingen	50
5.	Prognose winning	52
6.	Interferentie met ander gebruik (diepe) ondergrond	55
7.	Natuur en Milieu.....	58
7.1.	Bodemdaling of -stijging.....	58
7.2.	Beschermde gebieden	60
7.3.	Grondwater	61
8.	Bodemtrilling	62
8.1.	Inventarisatie van gevaar op bodemtrillingen	62
8.1.1.	Seismische Gevaren Analyse (SHA) QuickScan.....	62

8.1.2. SHA vervolgstappen.....	62
8.2. Monitoren van bodemtrillingen	64
9. Voorziene kosten van winning	66
10. Verklarende woordenlijst en afkortingen	68
11. Referenties	69
12. Bijlagen	70
Appendix A: Maximale injectiedruk	71
Maximale injectiedruk volgens SodM protocol (SodM, 2013)	71
Dynamische drukval	71
Maximale dynamische THP	72
Maximale dynamische THP inclusief temperatuureffect-correctie (SodM 2020).....	73
Appendix B: Seismische Gevaren Analyse	75
Verbinding met kristallijnen basis	76
Afstand (km) tot bestaande breuken	78
Oriëntatie van de breuk in heersende stressveld	79
Netto geïnjecteerd volume (x 1.000 m ³)	80
Drukcommunicatie tussen de putten.....	80
Injectiedruk (bar).....	81
Systeemdebiet (m ³ /h)	81
Afstand (km) tot natuurlijke aardbevingen	81
Afstand (km) tot geïnduceerde seismiciteit	81
Appendix C: DoubletCalc2D input parameters.....	83

Figurenlijst

Figuur 1-1 Luchtfoto met gemeentegrenzen en daaroverheen weergegeven de opsporingsvergunning Pijnacker-Nootdorp 6b en de geplande boringen van Geothermie Delft.	2
Figuur 1-2 Luchtfoto ligging en begrenzing van het plangebied. Ten westen (links op de kaart) van het plangebied loopt de Rotterdamseweg en ten oosten loopt de Leeghwaterstraat.	3
Figuur 2-1 Luchtfoto met gemeentegrenzen en daaroverheen weergegeven de opsporingsvergunning Pijnacker-Nootdorp 6b en de geplande boringen van Geothermie Delft.	15
Figuur 2-2 Luchtfoto ligging en begrenzing van het plangebied. Ten westen (links op de kaart) van het plangebied loopt de Rotterdamseweg en ten oosten loopt de Leeghwaterstraat.	15
Figuur 2-3 De oude opsporingsvergunning 'Pijnacker-Nootdorp 6a' is in 2022 opgesplitst in opsporingsvergunningen 'Pijnacker-Nootdorp 6b' en 'Pijnacker-Nootdorp 4c'. Zie Staatscourant-2022-9358.	16
Figuur 2-4 Omlijning van aangevraagde winningsvergunning voor Geothermie Delft in paars. Voor DEL-GT-01 en -02 zijn de puttrajecten, Franse cirkels en het middelpunt van het reservoir weergegeven in respectievelijk rood en blauw. Opsporingsvergunningen in groen. De omlijning is ruimer genomen dan de Franse cirkels omdat de 2D modellering aantoont dat de temperatuur na 35 jaar een ruimere beïnvloeding heeft dan de Franse cirkel van de injector. Dit is te zien aan de contouren in Figuur 2-5.	18
Figuur 2-5 De gemodelleerde temperatuurcontouren na 35 jaar productie van het DEL-GT-01&-02 doublet (contourinterval = 1°C).	18
Figuur 3-1 Tectono-stratigrafisch schema door het West Nederland Bekken voor het tijdinterval Boven Trias & Onder Krijt. De locatie van de op dit figuur weergegeven putten zijn te zien in Figuur 3-2. Het Delft gebied is aangeduid met een rode box. Mariene kleisteen = blauw, mariene zandsteen = lichtgeel, niet-mariene kleisteen = groen, niet-mariene zandsteen = oranje (Naar Adrichem Boogaert & Kouwe, 1993).	20
Figuur 3-2 Overzichtskarta van het gebied met bestaande boringen en olie- en gasvelden. De zwarte lijn duidt de loop van de stratigrafische doorsnede in Figuur 3-1. Het deel van deze lijn dat oranje is gemarkeerd geeft aan waar de Delft Zandsteen goed is ontwikkeld. De oranje punten zijn geothermische putten die een goed ontwikkelde Delft Zandsteen hebben aangeboord. De opsporingsvergunning is rood omlijnd.	21
Figuur 3-3 Schematische ZW-NO geologische doorsnede door het GTD gebied gebaseerd op DGM-Diep2014 (TNO).	21
Figuur 3-4 Puttencorrelatiediagram door 4 PNA-GT boringen, PNA-13 en DEL-08.	23
Figuur 4-1: Put diagram producer DEL-GT-01	25
Figuur 4-2: Put diagram injector DEL-GT-02.....	26
Figuur 4-3: Puttraject DEL-GT-01.....	27
Figuur 4-4: Puttraject DEL-GT-02.....	28
Figuur 4-5 Putbarrière elementen en enveloppe voor DEL-GT-01 (producer) en DEL-GT-02 (injector).	29
Figuur 4-6 Overzicht van seismometers van het KNMI. Het netwerk bestaat uit geofoons in de boorgaten (tot 200m diepte), versnellingsmeters en 'broadband' seismometers (Bron: knmi.nl). Geothermie Delft aangeduid met blauwe cirkel.	35
Figuur 4-7: Lokaal seismisch monitoring netwerk voor het GTD doublet, bestaande uit 4 stations (oranje driehoeken): DAPGEO-01/02/03 en ZH03.	35
Figuur 4-8 Schematisch overzicht geothermische inrichting met putkelders en deel warmtekrachtcentrale TU-Delft met geothermie installaties.	36
Figuur 4-9 Processchema van de geothermische installatie.	37
Figuur 4-10 Dieptekaart van de Delft Zandsteen Member met daarop de geplande productie- en injectieput (DEL-GT-01 in rood, DEL-GT-02 in blauw). Deze kaart geeft de gemiddelde diepte weer van 2 benaderingen tot	

Top Delft diepte, namelijk isochoring naar beneden van de op seismiek geïnterpreteerde top Rodenrijs Kleisteen Member en isochoring naar boven vanaf de geïnterpreteerde basis Delft Zandsteen. De rode cirkels langs de puttrajecten markeren de Top Delft doorprikpunten, de blauwe cirkels de basis Delft doorprikpunten. De Pijnacker-Nootdorp 6a opsporingsvergunningomtrek is weergegeven in groen. Blauwe polygonen zijn naar het zuidwesten hellende breuken, rode polygonen zijn naar het noordoosten hellende breuken.	41
Figuur 4-11 Diktekaart van de Delft Zandsteen Member met daarop de geplande productie- en injectieput (DEL-GT-01 in rood, DEL-GT-02 in blauw). De rode cirkels langs de puttrajecten markeren de Top Delft doorprikpunten, de blauwe cirkels de basis Delft doorprikpunten. Voor iedere bestaande put is ook de werkelijke verticaal gemeten dikte (TVT; True Vertical Thickness) weergegeven. De Pijnacker-Nootdorp 6a opsporingsvergunningomtrek is weergegeven in groen.....	41
Figuur 4-12 Seismische doorsnede parallel aan het geplande puttraject van de productieput DEL-GT-01. Deze is weergegeven met een rode lijn. Het geplande puttraject van de injectieput DEL-GT-02 is weergegeven in blauw; een doorgetrokken lijn waar het traject parallel loopt aan deze seismische lijn en gestippeld waar het traject afbuigt van deze seismische lijn en nog geprojecteerd wordt. Het verdere deel van het injectorputtraject is niet weergegeven op deze doorsnede. Breuken zijn weergegeven in donkerblauw en rood. De legenda geeft een overzicht van de geïnterpreteerde horizonten. Het met een roze gestreepte lijn omcirkelde gebied duidt een gebied aan met een mogelijke gas pocket. Het kaartje laat de loop van de getoonde seismische doorsnede op de kaart zien. De diepte (verticale as) is weergegeven in TVDSS (werkelijke verticale diepte onder zeeniveau/NAP).	42
Figuur 4-13 Seismische doorsnede parallel aan het geplande puttraject van de injectieput DEL-GT-02. Deze is weergegeven met een blauwe lijn. Het geplande puttraject van de injectieput DEL-GT-01 is deels weergegeven in rood; de rest van dat traject is niet weergegeven omdat deze sterk afbuigt van deze seismische lijn. Breuken zijn weergegeven in donkerblauw en rood. De legenda geeft een overzicht van de geïnterpreteerde horizonten. Het met een roze gestreepte lijn omcirkelde gebied duidt een gebied aan met een mogelijke gas pocket. Het kaartje laat de loop van de getoonde seismische doorsnede op de kaart zien. De diepte (verticale as) is weergegeven in TVDSS (werkelijke verticale diepte onder zeeniveau/NAP).....	43
Figuur 4-14: Methodiek voor bepaling te monitoren parameters en bijbehorende drempelwaardes voor Seismic Hazard & Caprock Integrity, gebaseerd op het ISO 16530. N.B. :Deze tabel zal post-drill worden aangepast	44
Figuur 4-15 Links: Schematisch overzicht van een injectieput, reservoir en bijbehorende drukken. Rechts: Dit overzicht geeft de definitie van de verschillende drukken binnen de putten en het reservoir en de bijbehorende berekeningen.....	46
Figuur 4-16: Voorbeeld: bepaling van de maximale THP en NWRP op basis van de drempelwaarden bepaald volgens de ISO16530 (Figuur 4-14) en berekend m.b.v. de rekenmethodiek zoals gepresenteerd in Figuur 4-15. Nader te bepalen na het boren en testen van de putten.	47
Figuur 5-1 Inputscherf van de DoubletCalc berekening voor het DEL-GT doublet.	52
Figuur 5-2 Input en output van de DoubletCalc berekening voor het DEL-GT doublet.	53
Figuur 5-3 Prognose cumulatieve energie van het DEL-GT doublet (TJ).....	54
Figuur 6-1 Velden in de regio rondom Geothermie Delft. Gas = groen, Olie = rood, Olie&Gas = oranje. Het gehele kaartgebied valt onder de koolwaterstof winningsvergunning genaamd 'Rijswijk vergunning'.	55
Figuur 6-2 Aardwarmte Opsporingsvergunningen (groen omlijnd) en winningsvergunningen (paars omlijnd).	56
Figuur 6-3 Drukverschil na 35 jaar voor de drie geothermische doubletten die in de Vrijenban Syncline opereren. Injectieputten zijn weergegeven in blauw, productieputten in rood. DEL-GT-01/02: Delft doublet. PNA-GT-05/06: Ammerlaan doublet. PNA-GT-03/04: Duijvestijn doublet. Input parameters zijn gegeven in Appendix C.....	57

Figuur 6-4 Temperatuurverdeling na 35 jaar voor de drie geothermische doubletten die in de Vrijenban Syncline opereren. Injectieputten zijn weergegeven in blauw, productieputten in rood. DEL-GT-01/02: Delft doublet. PNA-GT-05/06: Ammerlaan doublet. PNA-GT-03/04: Duijvestijn doublet. Input parameters zijn gegeven in Appendix C.	57
Figuur 7-1 Bodemdaling in het gebied van Geothermie Delft. Bron: www.bodemdalingskaart.nl	58
Figuur 7-2 a: Bodemdaling na 35 jaar op basis van enkel GTD productie. Maximale bodemdaling na 35 jaar ongeveer 4mm. b: Bodemdaling na 35 jaar op basis van 3 doubletten; DEL-GT-01&02, PNA-GT-03&04 en PNA-GT-05&06. Maximale bodemdaling na 35 jaar is ongeveer 7mm.	59
Figuur 7-3 Natuurnetwerk Nederland. Bron: pzh.maps.arcgis.com . De opsporingsvergunning Pijnacker Nootdorp 6b in groen, de geplande puttrajecten in rood (DEL-GT-01) en blauw (DEL-GT-02).	60
Figuur 7-4 Milieubeschermingsgebieden grondwater en strategische drinkwaterreserves. Bron: pzh.maps.arcgis.com . De opsporingsvergunning Pijnacker Nootdorp 6b in groen, de geplande puttrajecten in rood (DEL-GT-01) en blauw (DEL-GT-02).	61
Figuur 8-1: Stap 1 van de beslisboom voor Seismisch Gevaren in Geothermische Projecten (Baisch et al, 2016).	63
Figuur 8-2: Quickscan scoringsschema uitgewerkt voor Geothermie Delft (naar Baisch et al, 2016). De uitkomst van de SHA QuickScan is een score van 27/90 en die ligt onder de grens van 1/3. Hiermee is de dreiging van geïnduceerde seismiteit laag.	63
Figuur 8-3: Lokaal seismisch monitoring netwerk voor het DEL-GT doublet, bestaande uit 4 stations (oranje driehoeken): DAPGEO-01/02/03 en ZH03.	65
Figuur A-1: Dynamisch drukverliezen.	72

De maximale injectiedruk, de maximale Tubing Head Pressure (THP) op de injectieput is:

$$THP_{max} = TVD * (0,135 - dP) - \text{temperatuureffect [bar]}$$

Waarbij:

TVD	Verticale diepte van de injectieput, gemeten vanaf het maaiveld tot de top van het reservoir (gemeten in meters, TVD)
dP	Hydrostatische druk gradiënt van het lokale injectiewater als functie van het zoutgehalte (gemeten in bar/m)
0,135 bar/m	Deze constante waarde is gebaseerd op een conservatieve waarde voor de kleinste horizontale gesteentespanning.
Temperatuureffect	Indien de uitkoeling groter is dan 40 graden Celsius geldt voor elke graad extra uitkoeling, één bar temperatuureffect. Is de uitkoeling minder dan 40 graden Celsius dan vervalt deze term. = (dT - 40), waarbij dT de mate van uitkoeling is in graden Celsius.

Figuur

A-2: Rekenmethode uit Toezichtsignaal Integriteit van het geothermisch reservoir en de afsluitende lagen, SodM 2020.	73
Figuur B-1 Stap 1 van de beslisboom voor Seismisch Risico in Geothermische Projecten (Baisch et al, 2016).	75
Figuur B-2 Quickscan scoringsschema uitgewerkt voor Geothermie Delft (naar Baisch et al, 2016). De uitkomst van de SRA QuickScan is een score van 27/90 en die ligt onder de grens van 1/3. Hiermee is de potentie van geïnduceerde seismiteit laag.	76
Figuur B-3 Boven: Geologische doorsnede. Onder: Schematische dieptekaart in kilometers van de top van het pre-Silesian (Geluk et al, 2007).	77

Figuur B-4 Diepte van top Delft Zandsteen, inclusief breukinterpretatie. Oranje stippel lijn = de randbreuk van het Rijswijk Hoog, witte stippellijn = secundaire breuk bij injector. Witte cirkel met rode lijnen: regionaal gemeten oriëntaties van SHmax.	78
Figuur B-5 World Stress Map, Heidbach, Oliver; Rajabi, Mojtaba; Reiter, Karsten; Ziegler, Moritz; WSM Team (2016): World Stress Map Database Release 2016. GFZ Data Services.doi:10.5880/WSM.2016.001.....	79
Figuur B-6 De richting van extensie tijdens het Neogeen (Worum et al, 2005). De kleurenschaal duidt de dikte van het Kwartair. Actieve Mio-Pliocene breuken zijn weergegeven in zwart.....	80
Figuur B-7 Kaart met epicentrum van seismiciteit in Nederland (November 2018). Rode cirkels geïnduceerde seismiciteit. Blauwe punten natuurlijke seismiciteit en de meetstations in oranje. Rode vierkant geeft projectlocatie weer.....	82

Tabellenlijst

Tabel 2-1: Gegevens van de locatie van geothermische inrichting.....	17
Tabel 3-1: Diepte prognose DEL-GT putten.....	22
Tabel 3-2: Gemiddelde aquifer parameters voor de Delft Zandsteen Member. *Voor diepte en dikte is een gemiddelde gegeven tussen de productie- en injectieput.....	23
Tabel 4-1: Put traject en verbuigingsschema DEL-GT-01.....	24
Tabel 4-2: Put traject en verbuigingsschema DEL-GT-02.....	24
Tabel 4-3 Put barrière elementen voor DEL-GT-01, inclusief functie, failure mode, effect en consequentie..	30
Tabel 4-4 Put barrière elementen voor DEL-GT-02, inclusief functie, failure mode, effect en consequentie..	31
Tabel 4-5 Coördinaten en algemene putinformatie.....	40
Tabel 4-6: Maximale injectiedruk (THP) inclusief frictieverliezen en injectietemperatuurcorrectie (SodM, 2020).....	48
Tabel 4-7 Prognose van verwachte productie parameters geplande aardwarmtewinning. Nader te bepalen na boren en testen putten.	51
Tabel 4-8: Begrenzing productie parameters (maximaal / minimaal) voor de geplande aardwarmtewinning. Nader te bepalen na boren en testen putten.	51
Tabel 5-1 Verwachte productie van het DEL-GT doublet.....	54
Tabel 8-1: Locale seismische monitoring stations met coördinaten.....	64
Tabel 9-1 Meerjarenbegroting Geothermie Delft.	67
Tabel A-1: Parameters voor berekening maximale injectiedruk.....	71
Tabel A-2: Injectiedruk protocol SodM (2013) inclusief frictieverliezen.....	73
Tabel A-3: Injectiedruk (THP) inclusief frictieverliezen en injectietemperatuurcorrectie (SodM, 2020).....	74

1. Inleiding

Geothermie Delft BV (GTD) zal in Delft vanaf het TU Delft terrein twee diepboringen uitvoeren voor een aardwarmteproject. Uit de eerste geboorde put (DEL-GT-01) zal aardwarmte gewonnen worden en de tweede geboorde put (DEL-GT-02) zal gebruikt worden om het afgekoelde water weer in de ondergrond te brengen.

De locatie is bestemd voor het winnen van aardwarmte uit water uit de diepe ondergrond. Het warme water stroomt vanaf de productieput naar de ontgassingsinstallatie en de warmte wordt vervolgens overgedragen door een warmtewisselaar aan een warmtenet. De gewonnen warmte gaat in eerste instantie naar de TUD campus en in latere fase mogelijk ook naar de wijken Voorhof en Buitenhof in Delft. Het afgekoelde water wordt via de injectieput weer in de ondergrond gebracht. Het gas uit de ontgassingsinstallatie wordt gedroogd en vervolgens geleverd aan het aardgasnet. In geval van storingen, onderhoud of calamiteiten kan het gas afgeflamd worden via de aanwezige flakel.

Aardyn BV is, middels een dienstverleningsovereenkomst met GTD, operator (uitvoerder in het kader van de Mijnbouwwet) en heeft de operationele leiding over alle werkzaamheden op de locatie. Aardyn BV is verantwoordelijk voor o.a. het verkrijgen en naleven van alle noodzakelijke vergunningen om de aardwarmte installatie op te richten en in werking te hebben, de uitvoering van de werkzaamheden op de locatie zelf, alle veiligheidsaspecten van deze werkzaamheden, de communicatie over deze werkzaamheden met en naar de omgeving.

Dit winningsplan wordt opgesteld in het kader van de Mijnbouwwet en beschrijft hoe de winning van aardwarmte in Delft plaats vindt, wat de mogelijke effecten voor de omgeving en het milieu zijn en hoe deze beheerst worden. Het gaat hierbij in dit winningsplan om de ondergrondse effecten. Met de ondergrondse effecten wordt bedoeld 1) de mogelijke ondergrondse effecten in de bodem ten gevolge van de productie en injectie van het formatiewater 2) de mogelijke ondergrondse effecten die te maken hebben met de integriteit van de productie- en injectieputten.

Effecten voor de omgeving die veroorzaakt worden door bovengrondse activiteiten, zijn geregeld in de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht (Wabo) via de (zogenamde Wabo) omgevingsvergunning en worden hier verder niet behandeld.

Naast de instemming met dit voorliggende winningsplan, dient een operator dus tevens vergunningen (omgevingsvergunning en watervergunning) conform de Wabo te bezitten en heeft hij daarnaast een geïmplementeerd veiligheids- en gezondheidszorgsysteem voorhanden. Het drieluik van documenten dat gezamenlijk de borging van veiligheid, gezondheid, milieuverantwoorde winning en effecten op de omgeving beschrijft bestaat uit:

- Voorliggend winningsplan
- Wabo vergunningen
- Veiligheids- en gezondheidszorgsysteem

1.1. Wettelijk kader

Het winningsplan is gedefinieerd in artikel 33, 34, 35, 39 en 41 van de Mijnbouwwet. Nadere invulling van deze artikelen worden gegeven in de artikelen 30 en 53 van het Mijnbouwbesluit. Conform deze wetten en regels moet er een onderbouwd en goed gedocumenteerd plan overlegd worden waarin inzichtelijke gemaakt wordt hoe de productie ter hand genomen wordt. In zijn beleidsbrief gedateerd 8 februari 2018 geeft de minister van Economische Zaken en Klimaat onderstaande zaken aan:

De Mijnbouwwet is gericht op de opsporing en winning van delfstoffen, aardwarmte en de opslag van stoffen in de bodem. De vergunningenstructuur die de huidige Mijnbouwwet voor de winning van aardwarmte voorschrijft, is identiek aan die voor de winning van delfstoffen.

De ervaring opgedaan met de eerste geothermieprojecten leert dat de huidige reguleringsystematiek onvoldoende aansluit bij de specifieke kenmerken van geothermie.

Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) adviseert een procedurele aanpassing in de wetgeving waarbij er één instemmingsbesluit is voor alle belangrijke fases van een geothermieproject. Voor de opsporing en winning van delfstoffen en aardwarmte hebben ondernemers op grond van de huidige Mijnbouwwet een opsporingsvergunning, een winningsvergunning én een goedgekeurd winningsplan nodig. De bijbehorende termijnen, met name die tussen de winningsvergunning en een goedkeuring winningsplan, zijn gebaseerd op de praktijk van olie- en gaswinning. Bij geothermieprojecten wordt na een korte testperiode meteen aardwarmte gewonnen. Dit heeft technische en financiële redenen: een stilstaande geothermieput kan verstopt raken en zonder productie krijgt de ondernemer geen inkomsten, maar heeft hij wel kosten. SodM adviseert daarom om de wetgeving, met name de vergunningverleningssystematiek, aan te passen zodat deze aansluit bij de ontwikkeling van een geothermieproject.

In de brief 14 november 2019 geeft het Ministerie van EZK aan dat er een tijdelijk beleidskader voor geothermie geldt totdat de gewijzigde Mijnbouwwet, die ziet op het opsporen en winnen van aardwarmte, van kracht wordt. De gewijzigde mijnbouwwet, meer afgestemd op geothermie, wordt verwacht van kracht te zijn per januari 2023.

Dit winningsplandocument is opgesteld in lijn met het format zoals gesteld in het tijdelijk beleidskader.

Het winningsplan is de basis voor vervolg rapportages onder artikel 113 van de Mijnbouwwet waarin operators verplicht worden tot een jaarlijkse rapportage van de staat van winning en eventuele (significante) wijzigingen in het winningsplan.

Er dient per aardwarmte winningsinstallatie (geothermisch systeem) één winningsplan aangeleverd te worden. De voorlopige definitie van een aardwarmte winningsinstallatie is: het geheel aan geologische en technische componenten, tezamen met de besturings- en monitoringscomponenten, waardoor het warme productiewater en vervolgens het koude injectiewater stroomt waarbij het geheel als een gesloten systeem acteert, teneinde energie/warmte uit deze waterstroom te extraheren.

Het winnen van aardwarmte geschiedt ex artikel 34, eerste lid, van de Mijnbouwwet overeenkomstig een winningsplan, dat bij het Ministerie van Economische Zaken wordt ingediend.

De vergunninghouder wordt verplicht een winningsplan op te stellen. In dat plan zal hij moeten aangeven op welke wijze en in welk tempo hij de aardwarmte wil winnen. Dit winningsplan is van belang om te kunnen bezien of de hoeveelheid te winnen aardwarmte, de wijze en het tempo van winning in lijn zijn met een juist planmatig beheer. Tevens kan het plan worden bezien in het licht van een zorgvuldige winning met het oog op het voorkomen van bodemdaling / bodemstijging en bodemtrillingen (seismiciteit).

In dit plan wordt onder meer aangegeven welke de voorgenomen jaarlijkse winning is gedurende de looptijd van het plan. Als een voorgesteld winningsplan de instemming van de Minister van Economische Zaken heeft gekregen, zal de winning overeenkomstig het plan plaats moeten vinden.

Als bodemdaling, -stijging of bodemtrillingen (seismiciteit) te verwachten is, zal het winningsplan een beschrijving moeten bevatten van de nadelige gevolgen en van de (voorgenomen) maatregelen om deze nadelige gevolgen op te vangen. Bij de beoordeling van het plan door de Minister van Economische Zaken en Klimaat zal, naast een beoordeling in het kader van het planmatig beheer, ook beoordeeld worden of het winningstempo en de winningswijze met het oog op de veiligheid en het milieu acceptabel zijn en of de voorgestelde maatregelen voldoende waarborgen inhouden om de nadelige gevolgen van die winning op te vangen.

1.2. Verantwoorde winning, veilig voor mens en milieu

Met winning wordt hier het gehele aardwarmtesysteem bedoeld, dat minimaal bestaat uit één productieput en één injectieput. Randvoorwaarden voor verantwoorde winning in Delft zijn:

- Aardwarmte moet zo duurzaam mogelijk benut worden. Dus alleen gebruiken wanneer er een warmtevrage is.
- De winning van aardwarmte moet voor een lange termijn milieuvriendelijk, maatschappelijk acceptabel en veilig zijn.
- Productie van delfstoffen en productie/injectie van formatiewater ten behoeve van aardwarmtewinning dienen zo efficiënt en effectief mogelijk op elkaar te worden afgestemd.
- Schade door bodembeweging (daling, stijging, seismiciteit) wordt zo veel als mogelijk voorkomen. Dit impliceert o.a.:
 1. Productie en injectie put moeten qua waterstroom met elkaar in verbinding staan. Derhalve moet de injectie van water plaatsvinden in dezelfde formatie(s). Hierdoor kan het water stromen van injectie- naar productieput en wordt er netto geen drukverschil in de ondergrond opgebouwd. Daarnaast worden producer en injector niet gescheiden door een afsluitend breuksysteem.
 2. De maximale injectiedruk wordt gelimiteerd.

1.3. Publiekscommunicatie

Nieuwe winningsplannen liggen (als onderdeel van de procedure ter goedkeuring) ter inzage voor het publiek. Er is vanuit omgevingsmanagement contact met de omgeving van de locatie.

Zie ook de website:

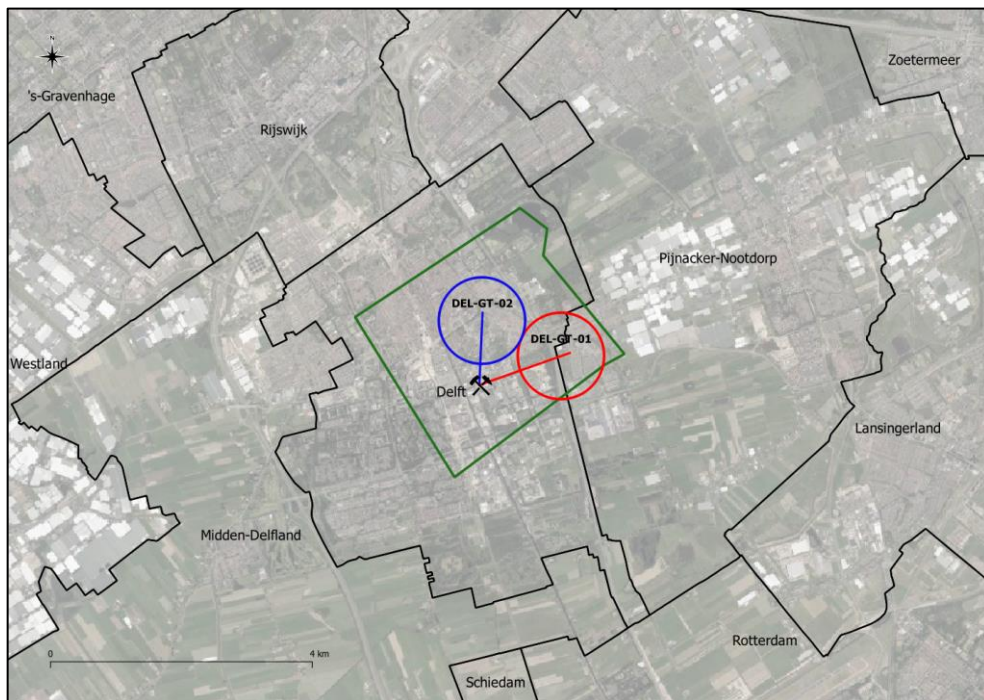
www.geothermiedelft.nl

www.mijnbouwvergunningen.nl.

2. Locatie en beschrijving van het geothermisch systeem

2.1. Locatie

De locatie van het geothermisch systeem is gelegen in het stedelijk gebied van gemeente Delft, provincie Zuid Holland (Figuur 2-1 en Figuur 2-4). Het plangebied ligt op het campus terrein van de TU Delft naast de warmtekrachtcentrale (WKC), tussen de Leeghwaterstraat en de Rotterdamseweg (Figuur 2-2).

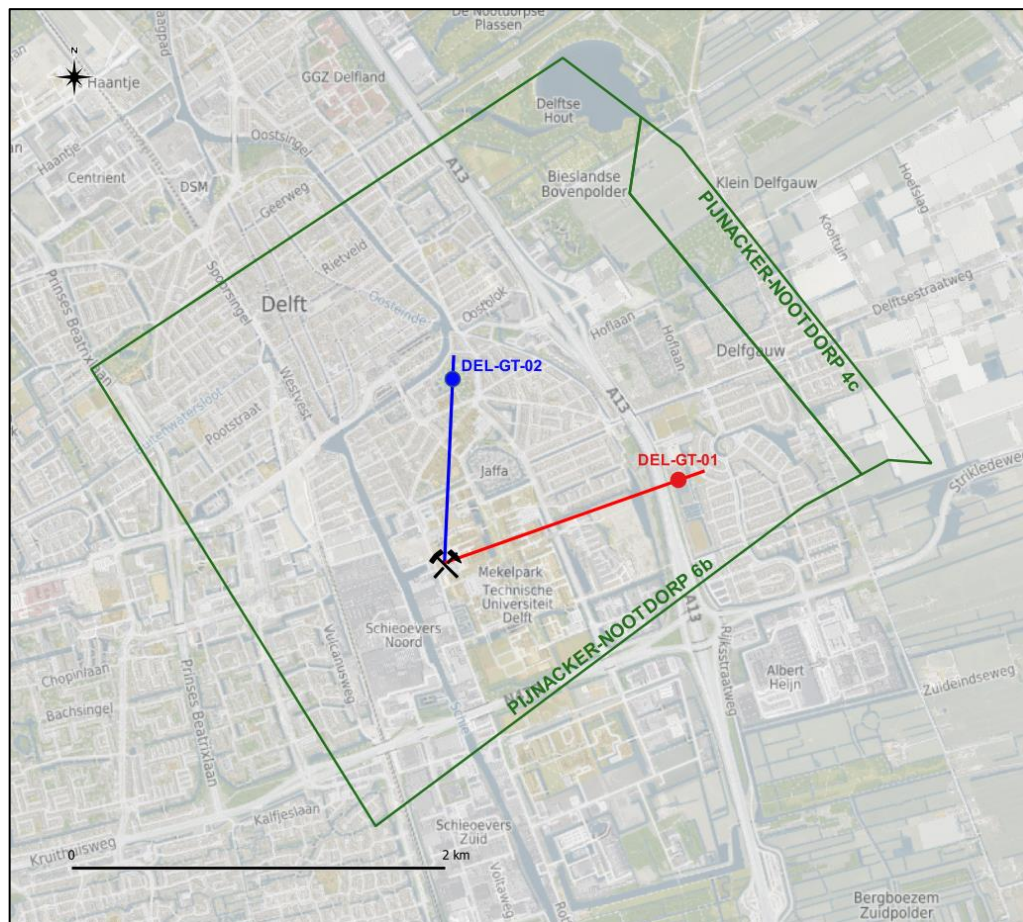


Figuur 2-1 Luchtfoto met gemeentegrenzen en daaroverheen weergegeven de opsporingsvergunning Pijnacker-Nootdorp 6b en de geplande boringen van Geothermie Delft.



Figuur 2-2 Luchtfoto ligging en begrenzing van het plangebied. Ten westen (links op de kaart) van het plangebied loopt de Rotterdamseweg en ten oosten loopt de Leeghwaterstraat

De locatie ligt in de opsporingsvergunning 'Pijnacker-Nootdorp 6b' welke een oppervlakte heeft van 8.58 km². Voorheen was de naam van deze opsporingsvergunning 'Pijnacker-Nootdorp 6a', maar in 2022 zijn er wijzigingen doorgevoerd in de opsporingsvergunningen in het gebied. Verwezen wordt naar Staatscourant Nr. 9358 (7 april 2022) 'Splitsing opsporingsvergunning aardwarmte Pijnacker-Nootdorp 6a; verlenen opsporingsvergunning aardwarmte Pijnacker-Nootdorp 6b en Pijnacker-Nootdorp 4c; toestemming overdracht opsporingsvergunning aardwarmte Pijnacker-Nootdorp 4c, Ministerie van Economische Zaken en Klimaat'. De oude versus de nieuwe omlijning is weergegeven in Figuur 2-3. In enkele figuren in Hoofdstuk 4 van dit rapport wordt nog de oude omlijning weergegeven. Het betreft figuren waar de omlijning van de opsporingsvergunning slechts als referentie is weergegeven.

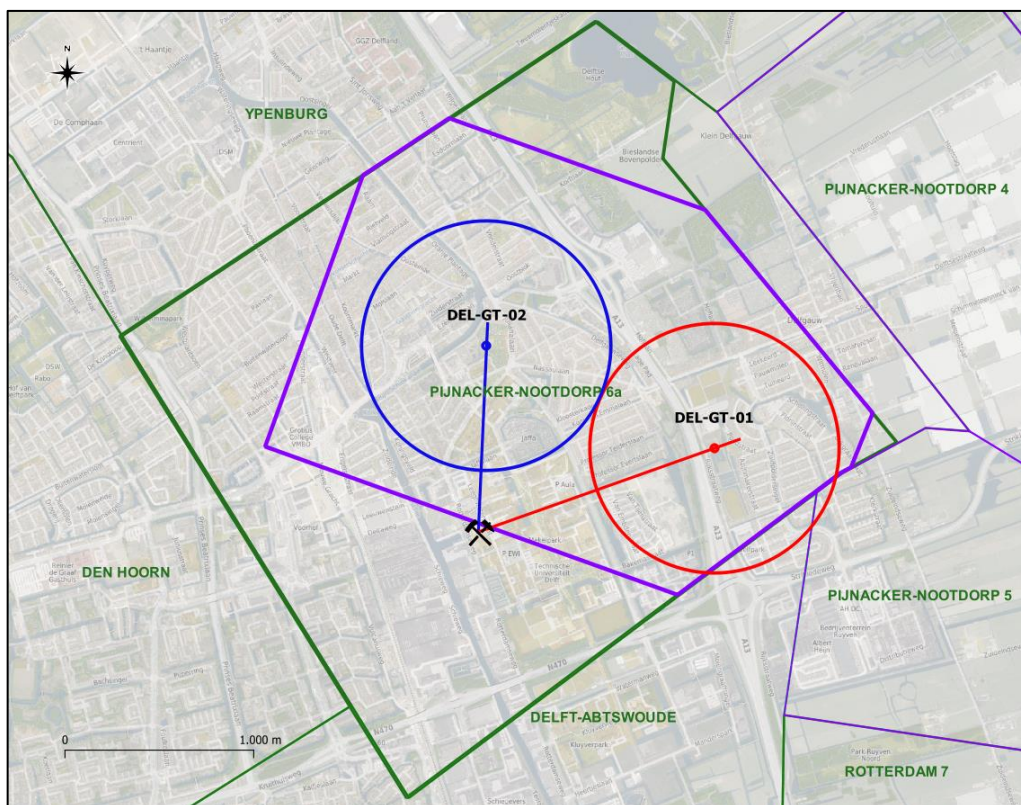


Figuur 2-3 De oude opsporingsvergunning 'Pijnacker-Nootdorp 6a' is in 2022 opgesplitst in opsporingsvergunningen 'Pijnacker-Nootdorp 6b' en 'Pijnacker-Nootdorp 4c'. Zie Staatscourant-2022-9358.

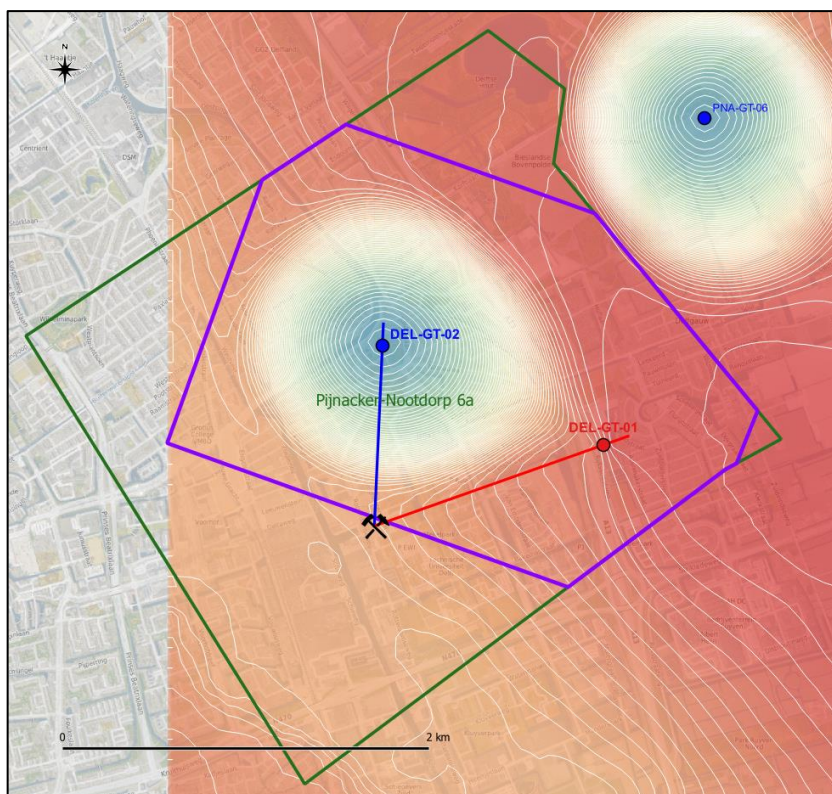
Het toekomstige winningsvergunningsgebied is gebaseerd op het beïnvloedsgebied dat volgt uit dynamische modellering en heeft een oppervlakte van 5.02 km². De omlijning van de vergunningen staat in Figuur 2-4. De gegevens van de locatie van de geothermische inrichting zijn weergegeven in Tabel 2-1. Alle coördinaten in dit Winningsplan worden gegeven in het Rijksdriehoekstelsel.

Tabel 2-1: Gegevens van de locatie van geothermische inrichting.

Naam	Geothermie Delft		
Coördinaten Mijnbouwlocatie	Punt	X	Y
	Bovengrondse locatie tussen puthoofden Producer en Injector	85103	446164
Adres Mijnbouwlocatie	Leeghwaterstraat 36, Delft		
Coördinaten in procedure zijnde Winningsvergunning	Punt	X	Y
	1	86301	447868
	2	87189	446792
	3	87074	446505
	4	87014	446472
	5	86155	445830
	6	83970	446615
	7	84488	448051
	8	84945	448353
In de gemeenten:	Delft		
Winningsvergunning	Nog niet verleend		
Start Winningsvergunning	Onbekend (input na verlening winningsvergunning bekend)		
Eind Winningsvergunning	Onbekend (input na verlening winningsvergunning bekend)		



Figuur 2-4 Omlijning van aangevraagde winningsvergunning voor Geothermie Delft in paars. Voor DEL-GT-01 en -02 zijn de puttrajecten, Franse cirkels en het middelpunt van het reservoir weergegeven in respectievelijk rood en blauw. Opsporingsvergunningen in groen. De omlijning is ruimer genomen dan de Franse cirkels omdat de 2D modellering aantoont dat de temperatuur na 35 jaar een ruimere beïnvloeding heeft dan de Franse cirkel van de injector. Dit is te zien aan de contouren in Figuur 2-5.



Figuur 2-5 De gemodelleerde temperatuurcontouren na 35 jaar productie van het DEL-GT-01&-02 doublet (contourinterval = 1°C).

2.2. Algemene beschrijving geothermisch systeem

Geothermie zal worden gewonnen uit geproduceerd formatiewater uit de Delft zandsteen door een productieput en het afgekoelde water zal worden afgevoerd door een injectieput. De voorziene boortrajecten, punten waarop de putten het reservoir in boren en de invloedcirkels zijn weergegeven in Figuur 2-4. Het systeem produceert water van ongeveer 80°C uit de Delft Zandsteen op een diepte van ongeveer 2162 meter en injecteert in de Delft Zandsteen op een diepte van ongeveer 1957 meter, het water heeft dan een temperatuur van minimaal 20°C. Het water wordt in de productieput omhoog gepompt middels een ESP. Vervolgens wordt het water ontgast in de ontgassingsinstallatie en ontdaan van fines in de filters.

Dan wordt de warmte afgegeven door middel van warmtewisselaars aan het secundaire warmtenet. Het afgekoelde water wordt na een tweede filterstraat met een zware pomp teruggepompt in de formatie. Het opgewarmde water aan de secundaire zijde van de bronwarmtewisselaars wordt door middel van transportpompen naar een nieuw te bouwen warmtepompcentrale gebracht. Voor een uitgebreide beschrijving van de beoogde installatie en het proces wordt verwezen naar paragraaf 4.4.

3. Ondergrond

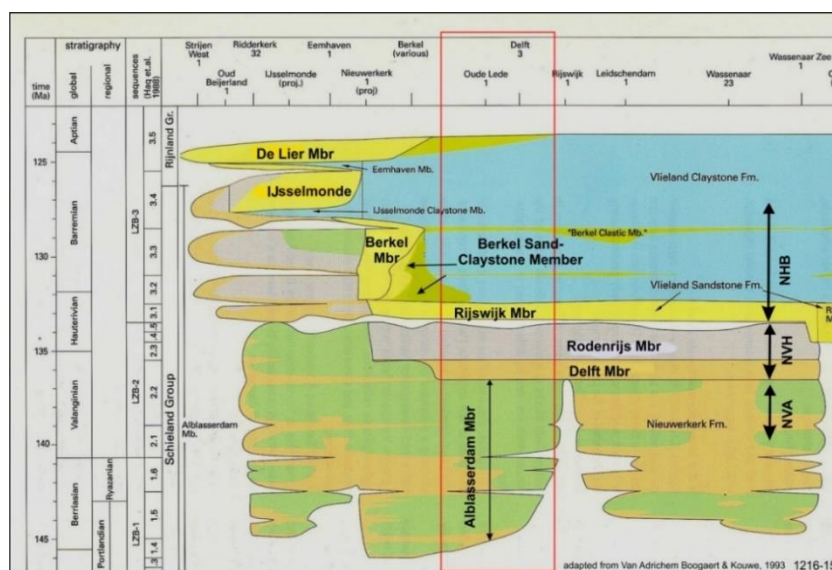
De ondergrond van Delft is uitgebreid onderzocht en bestudeerd met betrekking tot geothermie. Er is sinds 2008 door verscheidene onderzoeksbureaus (zoals IF Technology, PanTerra Geoconsultants en Well Engineering Partners) in opdracht van DAP (Delft Aardwarmte Project) en later Aardyn werk verricht aan het project. Daarnaast zijn veel aspecten van het project onderwerp van studie geweest voor studenten en onderzoekers van de TU Delft.

Het eerste uitgebreide geologische onderzoek werd uitgevoerd in 2010 en 2 jaar later geüpdatet met informatie uit 6 nieuwe geothermieboringen in de regio. In 2013 is een addendum opgesteld bij de twee eerste rapporten en werd een gereprocessde versie van de 3D seismiek door NAM beschikbaar gesteld. In 2016 is een nieuw gedetailleerd rapport geschreven op grond van nieuwe seismische interpretatie en interpretaties van de reservoir distributie en reservoir karakteristieken. In 2018 kwam wederom een nieuwe gereprocessde versie van de 3D seismiek beschikbaar van NAM. De laatste update aan het ondergrondwerk is gedaan in 2020, waarbij de meest recente gereprocessde seismische data is geïnterpreteerd en de putplanning verder is uitgewerkt. Deze laatste update is opgenomen in het geologische evaluatierapport dat ten grondslag lag aan de SDE++ subsidieaanvraag in 2020.

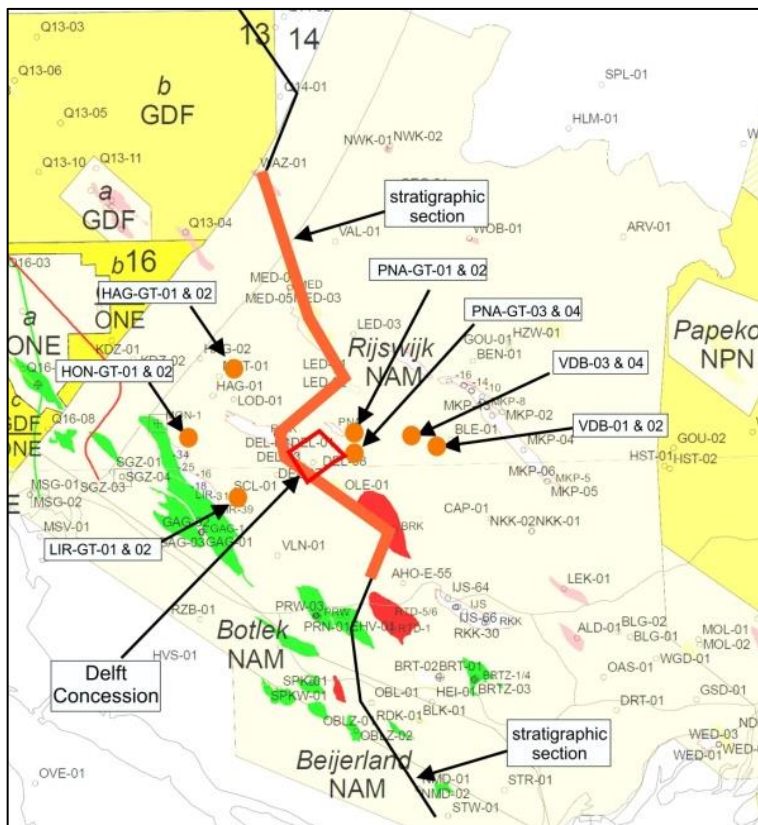
In de volgende paragrafen wordt een algemene beschrijving gegeven van het doelreservoir en diens karakteristieken. Een top dieptekaart en een diktekaart van het reservoir, alsmede seismische secties, worden gegeven in Hoofdstuk 4.5. Voor details m.b.t. de ondergrondevaluatie wordt verwezen naar de geologische bijlage van de SDE++ aanvraag in 2020 (PanTerra, 2020; Bijlage 1).

3.1. Algemene beschrijving ondergrond

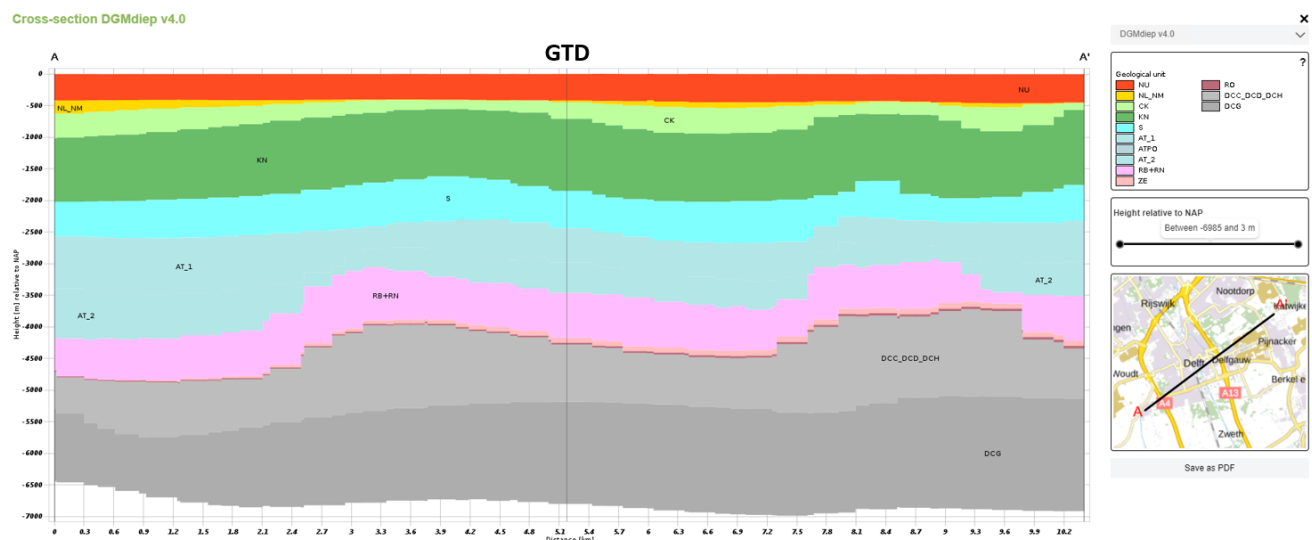
Het Geothermie Delft project is gesitueerd in het West Nederland Bekken. De DEL-GT-01 en DEL-GT-02 putten worden geboord in de Vrijenban syncline, gelegen tussen de Rijswijk en de Pijnacker anticlines. De putten zijn gepland op veilige afstand van de randbreuken die de syncline begrenzen (voor meer details zie Hoofdstuk 8.1.1 en Appendix B). De Delft Zandsteen Member (hierna Delft Zandsteen) vormt het aquifer. Dit lid is onderdeel van de Nieuwerkerk Formatie die onder de Delfland Subgroep van de Schieland Groep valt. De Delft Zandsteen ligt bovenop de Alblaserdam Member en onder de Rodenrijs Kleisteen Member (Figuur 3-1). De ouderdom van de afzetting is laat Jura/begin Krijt. De Delft Zandsteen is een zandsteen pakket met (ondergeschikte) klei intervallen. Het pakket is afgezet in een fluviatiel afzettingsmilieu.



Figuur 3-1 Tectono-stratigrafisch schema door het West Nederland Bekken voor het tijdinterval Boven Trias & Onder Krijt. De locatie van de op dit figuur weergegeven putten zijn te zien in Figuur 3-2. Het Delft gebied is aangeduid met een rode box. Mariene kleisteen = blauw, mariene zandsteen = lichtgeel, niet-mariene kleisteen = groen, niet-mariene zandsteen = oranje (Naar Adrichem Boogaert & Kouwe, 1993).



Figuur 3-2 Overzichtskaart van het gebied met bestaande boringen en olie- en gasvelden. De zwarte lijn duidt de loop van de stratigrafische doorsnede in Figuur 3-1. Het deel van deze lijn dat oranje is gemarkeerd geeft aan waar de Delft Zandsteen goed is ontwikkeld. De oranje punten zijn geothermische putten die een goed ontwikkelde Delft Zandsteen hebben aangeboord. De opsporingsvergunning is rood omlijnd.



Figuur 3-3 Schematische ZW-NO geologische doorsnede door het GTD gebied gebaseerd op DGM-Diep2014 (TNO).

3.2. Resultaten reservoir karakterisatie

Gedetailleerde seismische interpretatie, geologische evaluatie en petrofysische analyse hebben geleid tot een goed begrip van de ondergrond en vormen de basis van de prognose voor het Geothermie Delft project. De diepteprognose van de verschillende horizonten langs de geplande putten staat weergegeven in Tabel 3-1.

Tabel 3-1: Diepte prognose DEL-GT putten.

Formaties	DEL-GT-01		DEL-GT-02	
	m MD	m TVD	m MD	m TVD
Basis Tertiair	405	405	405	405
Basis Chalk	505	505	505	505
Top Mid Holland Kleisteen	757	755	741	740
Top Holland Groenzand	872	865	849	845
Top Rijswijk Kleisteen	2375	1970	2100	1957
Top Delft Zandsteen	2645	2162	2292	1957
Basis Delft Zandsteen	2835	2297	2416	2050
Basis Alblasserdam	n/a	2875	n/a	2650

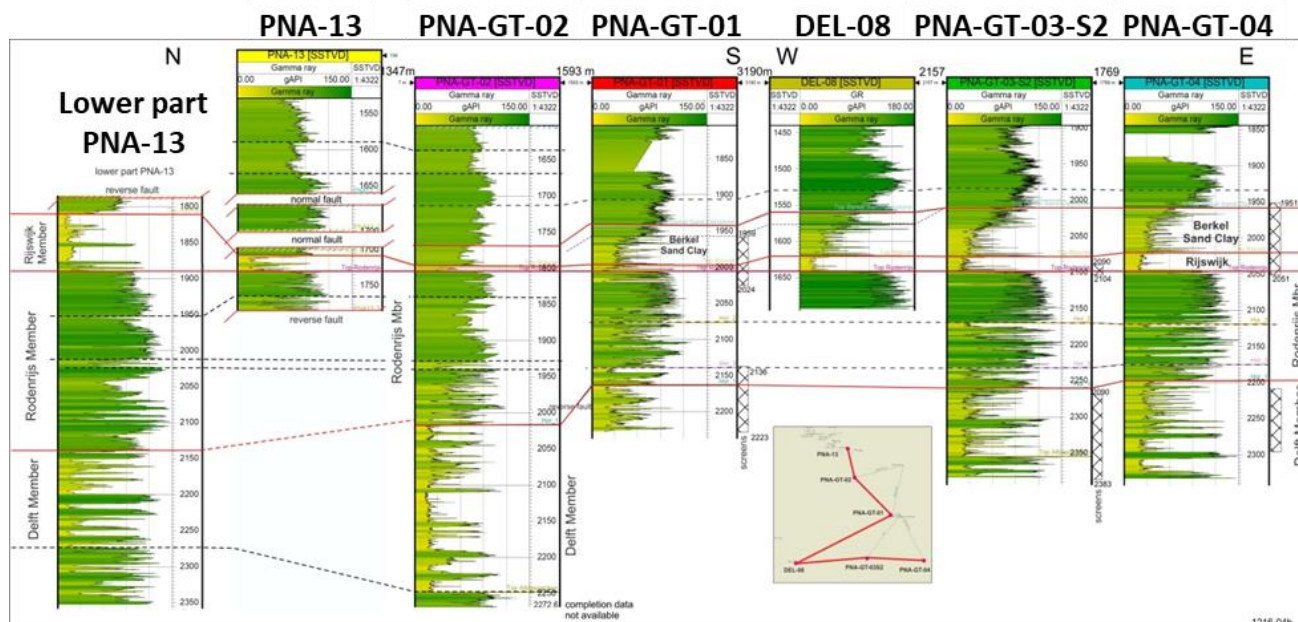
Een litholog met gedetailleerde informatie over de stratigrafie van de ondergrond komt beschikbaar tijdens het boren van de putten. Voorafgaand aan het boren kan een prognose van de stratigrafie worden afgeleid uit bestaande boringen. Hiertoe zijn de nabijgelegen geothermieboringen PNA-GT-01 t/m -06 het meest relevant omdat ze in dezelfde geologisch setting zijn geboord (Vrijenban syncline). De stratigrafische gegevens van PNA-GT-05 en PNA-GT-06 zijn ten tijde van dit schrijven nog niet publiek beschikbaar. Figuur 3-4 toont een puttencorrelatiediagram door relevante putten in de buurt. De zandsteen toont een variabel sedimentair karakter. In de Vrijenban syncline wordt verwacht dat de zandsteen goed zandig ontwikkeld is met enkele kleiige lagen.

Exacte diepte en dikte alsmede gedegen informatie over de reservoir eigenschappen zullen volgen uit het boren, loggen en testen van de putten DEL-GT-01 en DEL-GT-02. Voor nu wordt hier een zo goed mogelijke prognose gegeven van de verwachte kenmerken van de aquifer (Tabel 3-2).

Het is de verwachting dat er gas in oplossing aanwezig zal zijn in het geproduceerde water. De gas/water ratio die volgt uit de nabijgelegen boringen PNA-GT-01 t/m PNA-GT-06 duidt op iets meer dan 1m³ gas/m³ water in dit deel van de Vrijenban syncline. Na boren zullen het geproduceerde water en het opgeloste gas geanalyseerd worden teneinde de precieze samenstelling en hoeveelheid te bepalen.

Tabel 3-2: Gemiddelde aquifer parameters voor de Delft Zandsteen Member. *Voor diepte en dikte is een gemiddelde gegeven tussen de productie- en injectieput.

Aquifer: Delft Zandsteen	Lage waarde	Midden waarde	Hoge waarde
Diepte top aquifer (m TVD)	1854	2060*	2266
Diepte basis aquifer (m TVD)	1957	2174*	2391
Bruto Dikte (TST m)	92	123	154
Netto-Bruto (%)	62	72	85
Gemiddelde permeabiliteit (mD)	250	600	1300
Saliniteit (ppm)	105000	130000	150000
K_h/K_v		5	
Geothermische gradiënt °C/100m		0.0315	
Oppervlakte temperatuur °C		10	



Figuur 3-4 Puttencorrelatiediagram door 4 PNA-GT boringen, PNA-13 en DEL-08.

4. Beoogde wijze van winning

Geothermie zal worden gewonnen uit geproduceerd formatiewater uit de Delft zandsteen door de productieput genaamd DEL-GT-01. Het afgekoelde water zal worden afgevoerd door de injectieput genaamd DEL-GT-02. In hoofdstuk 4.1 wordt een uitgebreide beschrijving gegeven van de putten. Putintegriteit en monitoring wordt beschreven in paragrafen 4.3, 4.3.1 en 4.3.2. De beoogde installatie en systeemconfiguratie zijn te vinden in paragraaf 4.4 en 4.5. Reservoir integriteit en injectiedruk zijn beschreven in paragraaf 4.6. Tot slot worden de beoogde operationele instellingen in paragraaf 4.7 gegeven.

4.1. Beschrijving putten

Voor het geothermie doublet Delft zijn twee putten gepland, namelijk de productieput genaamd DEL-GT-01 en de injectieput genaamd DEL-GT-02. Beide putten zullen in een J-vorm geboord worden vanaf de bovengrondse locatie met als reservoir doel de Delft Zandsteen. Voor coördinaten van de putten wordt verwezen naar Tabel 4-5 in paragraaf 4.5. De geologische prognose wordt in Hoofdstuk 3.2 beschreven.

De put lengte, diameter en verbuizing staan weergegeven in Tabel 4-5, Tabel 4-1 en Tabel 4-2. De put diagrammen en puttrajecten zijn weergegeven in Figuur 4-1, Figuur 4-2, Figuur 4-3 en Figuur 4-4. Voor zowel de producer als de injector zal een Fiber Optische kabel geïnstalleerd worden als onderdeel van het Research & Development programma van de Technische Universiteit Delft. Deze zijn ook weergegeven in Figuur 4-1 en Figuur 4-2.

	Diepte (m MD)	Diepte (m TVD)	Inclinatie (°)	DLS (°/30m)	Azimut (°)
Conductor	60	60	0	0	0
KOP	580	580	0	2.1	70.5
16" x 13-3/8" Casing shoe	830	825	17.7	2.1	70.5
End of built	1220	1154	45.0	0	70.5
9-5/8" Liner shoe	2650	2165	45.0	0	70.5
Top Delft Sandstone	2645	2162	45.0	0	70.5
7" WWS Liner shoe	2835	2297	45.0	0	70.5
Well TD	2940	2370	45.0	0	70.5

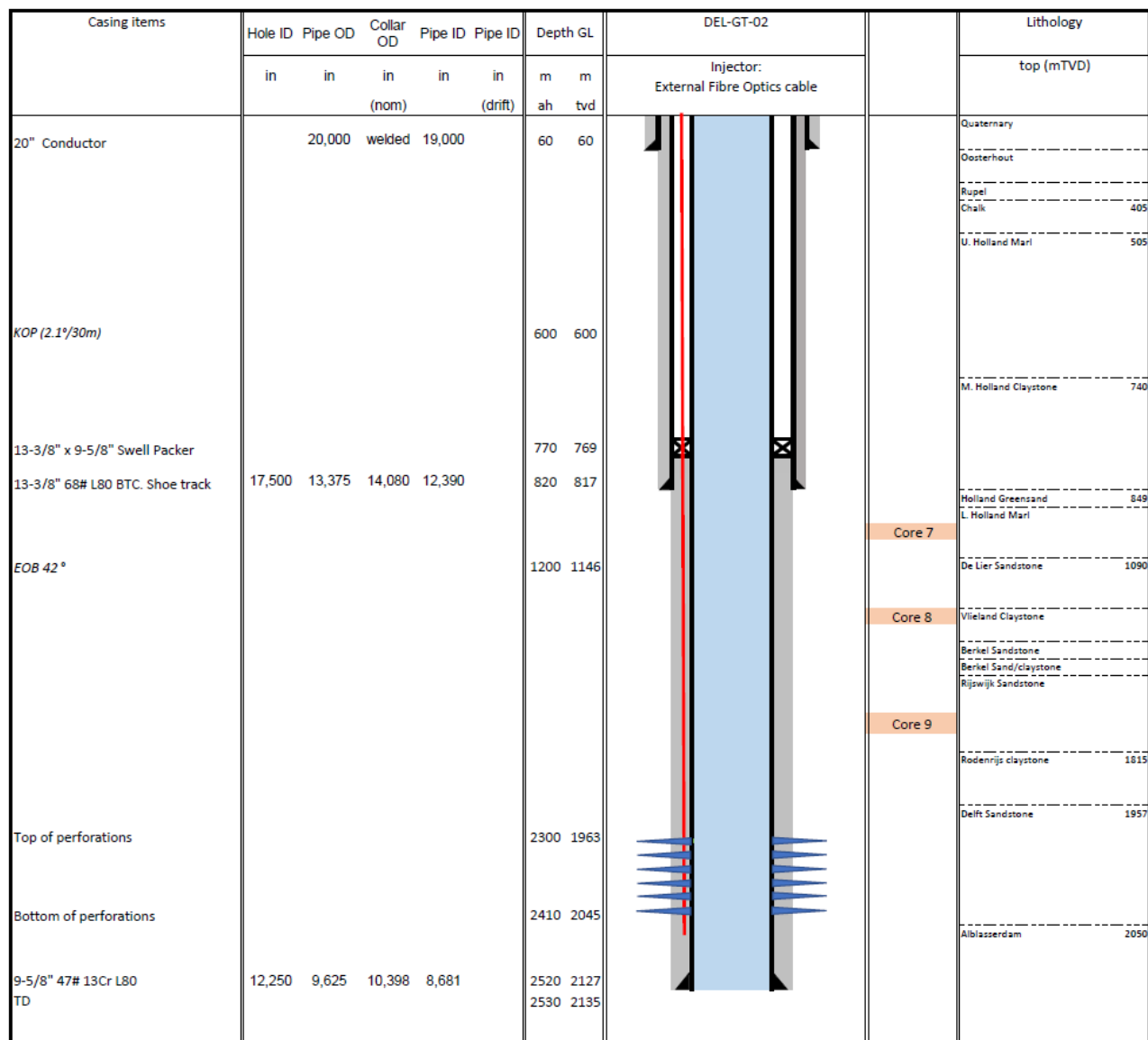
Tabel 4-1: Put traject en verbuizingsschema DEL-GT-01.

	Depth (m MD)	Depth (m TVD)	Inclinatie (°)	DLS (°/30m)	Azimut (°)
Conductor	60	60	0	0	0
KOP	600	600	0	2.1	2.6
13-3/8" Casing shoe	820	817	15.4	2.1	2.6
End of built	1200	1146	42.0	0	2.6
Top Delft Sandstone	2292	1957	42.0	0	2.6
9-5/8" Casing shoe	2520	2127	42.0	0	2.6
Well TD	2530	2135	42.0	0	2.6

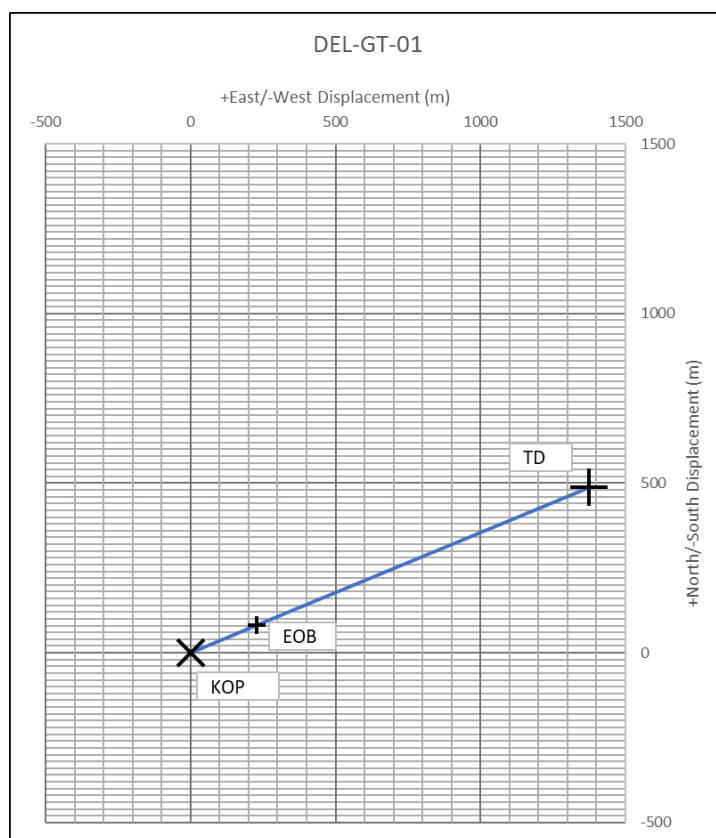
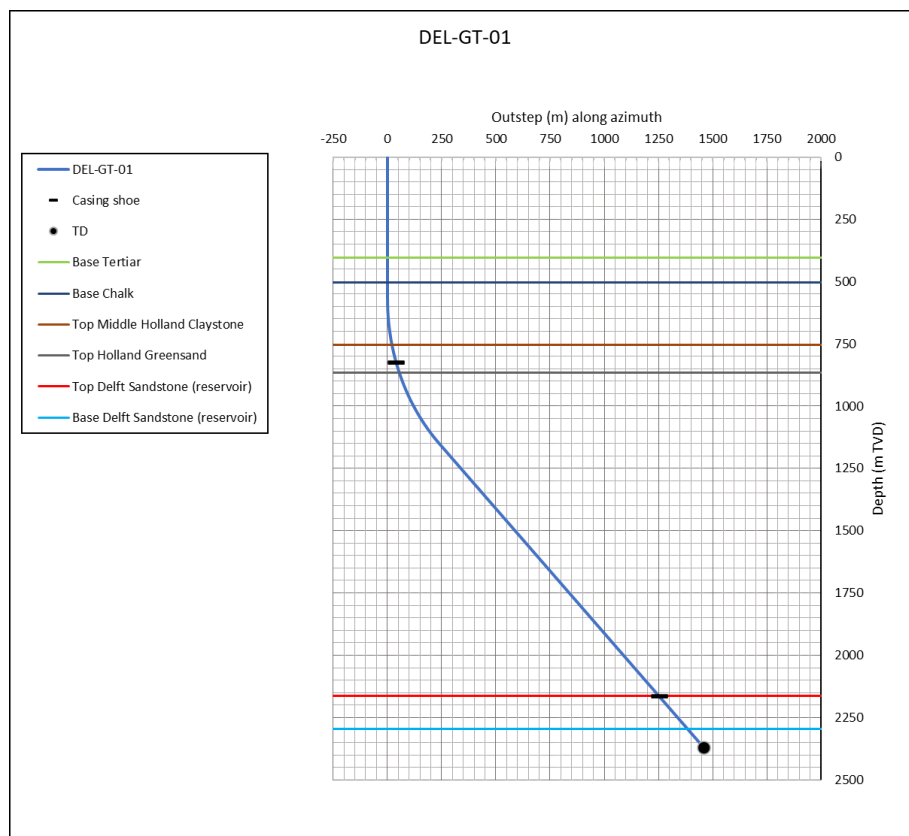
Tabel 4-2: Put traject en verbuizingsschema DEL-GT-02.

Casing Items	Hole ID	Pipe OD	Collar OD	Pipe ID	Pipe ID	Depth GL		DEL-GT-01		Depth GL		Pipe OD	Collar OD	Pipe ID	Pipe ID	ESP / Shroud / Fibre Optics	Planned Coring Interval mAHD / mTVD	Lithology	
	in	in	in	in	in	m	m	Producer: Internal Fiber Optics cable		m	m	in	in	in	in			top (mTVD)	
				(nom)	(drift)	ah	tvd			ah	tvd								
22" Conductor		22,000	welded	21,000		60	60											Quaternary	
																		Oosterhout	
																		Rupel	
																		Chalk	405
																		U. Holland Marl	505
KOP (2.17/30m)						580	580			580	580	9,625	10,398	8,681		9-5/8" 47# L80 13Cr Premium 9-5/8" x 13-3/8" Shroud ESP FO cable suspension X/O			
										600	600								
16" 84# L80 Premium, Surface casing 16" x 13-3/8" X/O 9-5/8" PBR 13-3/8" x 9-5/8" Liner Hanger	20,000	16,000	17,000	15,010		800	797			750	749	13,375	14,080	12,390		13-3/8" 68# L80 13Cr Premium 13-3/8" x 9-5/8" X/O 9-5/8" Seal Stem		M. Holland Claystone	755
13-3/8" 68# L80 premium, Shoe track	20,000	13,375	14,080	12,390		830	825			790	787	9,625	10,398	8,681					
																		Holland Greensand	872
EOB 45°						1220	1154											De Lier Sandstone	1120
																		Berkiel Sandstone	
																		Berkiel Sand/claystone	
																		Rijswijk Sandstone	
9-5/8" x 7" Screen Hanger 9-5/8" 47# 13Cr L80 Liner Top 7" WWS with 6-5/8" 22Cr/316 basepipe	12,250	9,625	10,398	8,681		2600 2650 2650	2130 2165 2165			2650	2165					FO cable centralizer	2620 / 2144	ROdenrijis claystone	1970
																FO DPS gauges over reservoir section	Total of 6 cores	Deift Sandstone	2162
Bottom 7" WWS with 6-5/8" 22Cr/316 basepipe	8,500	7,000		5,921		2835	2297			2870	2321					FO Cable bullnose	2920 / 2356	Alblasserdam	2297
TD						2940	2370												

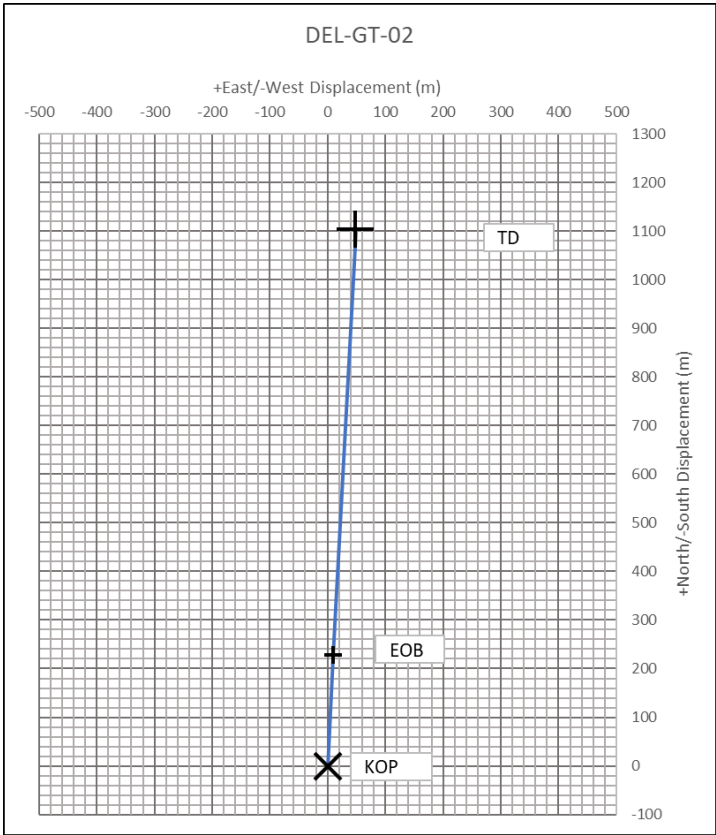
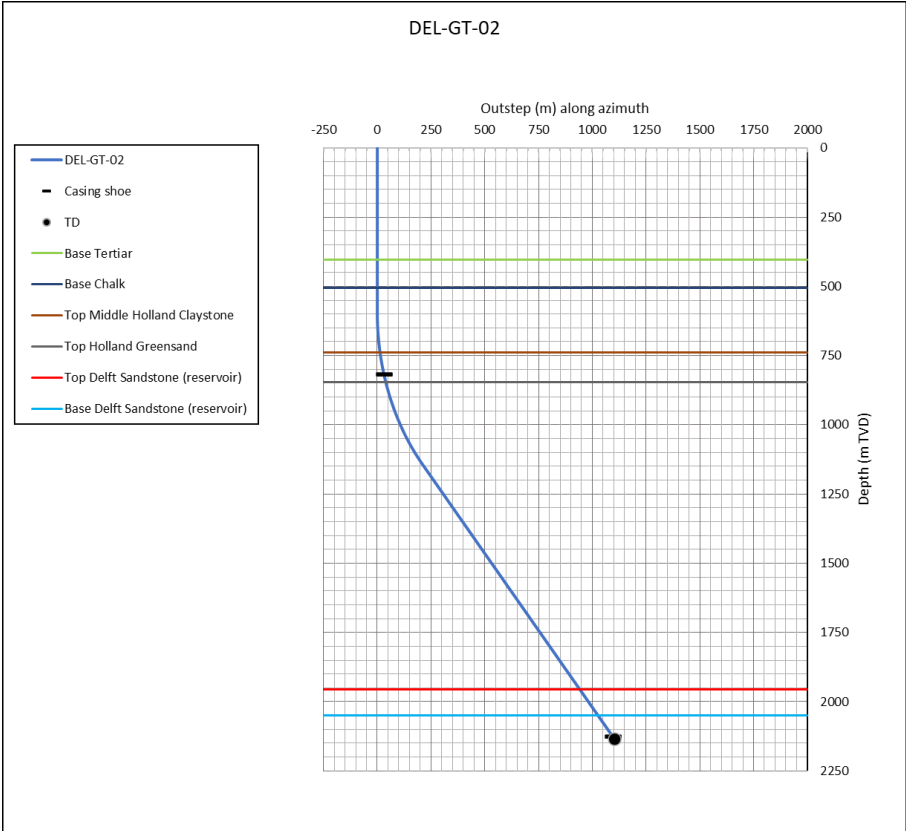
Figuur 4-1: Put diagram producer DEL-GT-01



Figuur 4-2: Put diagram injector DEL-GT-02



Figuur 4-3: Puttraject DEL-GT-01



Figuur 4-4: Puttraject DEL-GT-02

Figuur 4-5 laat een overzicht zien van de putbarrière enveloppe voor DEL-GT-01 en DEL-GT-02, waarbij de verschillende barrière elementen zijn genummerd. In Tabel 4-3 en Tabel 4-4 is een overzicht te vinden van alle barrière elementen per put, inclusief de functies en de eventuele gevolgen indien een barrière element faalt. Voor de eerste sectie van beide putten is een primaire (rood) en secundaire (blauw) barrière enveloppe aangegeven. Op basis van de risicoanalyse zal per barrière element een onderhouds- en monitorings-programma (Well Integrity Management Plan, WIMP) worden opgesteld om de risico's te mitigeren en de barrières elementen te borgen.



Tabel 4-3 Put barrière elementen voor DEL-GT-01, inclusief functie, failure mode, effect en consequentie.

Producer					
#	Description	Function	Failure modes	Effect	Consequences
1	Reservoir top seal	-	-	Only applicable for injector	-
2	Intermediate Liner	Prevent communication between wellbore fluid and formation.	Casing corrosion Leaking casing coupling Mechanical damage (drilling / intervention) Damage of casing by temperature variations	Loss of casing integrity Leaking of fluids from formation to the wellbore	Pollution of geothermal well with fluids & solids from formation
3	Cement liner	Support casing Prevent communication to shallower formations	Poor cementing of intermediate liner Damage of cement by temperature variations	Migration of fluids from deeper to shallower formations (outside of casing)	Pollution of shallower permeable formation
4	Surface casing	Prevent communication between annulus fluid and formation. Ability to test annulus.	Casing corrosion Leaking casing coupling Too high annulus pressure Damage of casing by temperature variations	Loss of secondary barrier	Non monitorable annulus Communication of fluid between controlled annulus and shallow formations
5	Cement surface casing	Support casing Prevent communication between to formations Prevent migration of Biogenic gas	Poor cementing of surface casing Damage of cement by temperature variations	Migration of fluids and/or biogenic gas to shallower permeable formations or surface (outside of casing)	Pollution of shallower permeable formation Biogenic gas bubbles to surface
6	Conductor	Prevent fluid interaction between annulus and fresh-water aquifers Provide foundation for wellhead	Casing corrosion Leaking casing coupling	Leaking of annulus fluid after surface casing failure to shallower formation (outside of casing)	Pollution of shallower permeable formation
7	Cement conductor	Support casing Prevent communication between shallower aquifers Prevent migration of Biogenic gas	Poor cementing of conductor Damage of cement by temperature variations	Migration of fluids and/or biogenic gas to shallower permeable formations or surface (outside of casing)	Pollution of shallower permeable formation Biogenic gas bubbles to surface
8	Shroud hanger & ESP/FO cable feedthrough	Prevent fluid interaction between wellbore and atmosphere.	Damage of hanger seals	Leaking of formation water to surface / cellar	Leaking of formation water to surface / cellar
9	Wellhead	Prevent fluid interaction between wellbore and atmosphere.	Suboptimal design of wellhead Poor functioning of wellhead Damage of seals by general wear	Leaking of formation water to surface / cellar	Leaking of formation water to surface / cellar
10	Main valves	Close in well	Suboptimal design of wellhead Poor functioning of wellhead Damage of seals by general wear	Unable to close in well in case of emergency	Unable to close in well in case of emergency
11	Annulus valves	Prevent interaction between annulus and atmosphere.	Suboptimal design of wellhead Poor functioning of wellhead Damage of seals by general wear	Loss of secondary barrier	Leaking of annulus fluid or gas (nitrogen) to atmosphere Non monitorable annulus Communication of fluid between annulus and atmosphere / cellar
12	Liner Hanger	Prevent fluid interaction between annulus and shallower formations	Damage of hanger packer seals	Loss of secondary barrier Loss of annulus fluid	Non monitorable annulus Communication of fluid between annulus formation
13	Seal stem & PBR	Create seal between shroud and intermediate liner	Damage of seals by general wear	Loss of primary barrier	Leaking of annulus fluid to wellbore
14	Shroud	Create a monitorable annulus Support ESP Provide flow path from top of liner to surface	Casing corrosion Leaking Shroud connection	Loss of primary barrier	Leaking of annulus fluid to wellbore

Tabel 4-4 Put barrière elementen voor DEL-GT-02, inclusief functie, failure mode, effect en consequentie.

Injector					
#	Description	Function	Failure modes	Effect	Consequences
1	Reservoir top seal	Prevent migration reservoir fluid to upper permeable formation	Too high injection pressure	Loss of reservoir top seal	Pollution of shallower permeable formation Seismicity
2	Production casing	Prevent communication between wellbore fluid and formation.	Casing corrosion Leaking casing coupling Too high injection pressure Damage of casing by temperature variations	Loss of casing integrity Leaking wellbore fluid to formation	Pollution of permeable formation, not being permeable drink water aquifers
3	Cement Production casing	Support casing Prevent communication between formations	Poor cementing of intermediate liner Damage of cement by temperature variations	Migration of formation water from deeper to shallower formations (outside of casing)	Pollution of shallower permeable formation, not being permeable drink water aquifers
4	Surface casing	Prevent communication between annulus fluid and formation. Ability to test annulus.	Casing corrosion Leaking casing coupling Too high annulus pressure Damage of casing by temperature variations	Loss of secondary barrier	Non monitorable annulus Communication of fluid between controlled annulus and shallow formations
5	Cement surface casing	Support casing Prevent communication between formations Prevent migration of Biogenic gas	Poor cementing of surface casing Damage of cement by temperature variations	Migration of fluids and/or biogenic gas to shallower permeable formations or surface (outside of casing)	Pollution of shallower permeable formation Biogenic gas to surface
6	Conductor	Prevent fluid interaction between annulus and fresh-water aquifers Provide foundation for wellhead	Casing corrosion Leaking casing coupling	Leaking of annulus fluid after surface casing failure to shallower formation (outside of casing)	Pollution of shallower permeable formation
7	Cement conductor	Support casing Prevent communication between shallower aquifers Prevent migration of Biogenic gas	Poor cementing of conductor Damage of cement by temperature variations	Migration of fluids and/or biogenic gas to shallower permeable formations or surface (outside of casing)	Pollution of shallower permeable formation Biogenic gas to surface
8	Casing Hanger	Prevent fluid interaction between wellbore and atmosphere.	Damage of hanger seals	Leaking of formation water to surface	Leaking of formation water to surface / cellar
9	Wellhead	Prevent fluid interaction between wellbore and atmosphere.	Suboptimal design of wellhead Poor functioning of wellhead Damage of seals by general wear	Leaking of formation water to atmosphere	Leaking of formation water to surface / cellar
10	Main valves	Close in well	Suboptimal design of wellhead Poor functioning of wellhead Damage of seals by general wear	Unable to close in well in case of emergency	Unable to close in well in case of emergency
11	Annulus valves	Prevent interaction between annulus and atmosphere.	Suboptimal design of wellhead Poor functioning of wellhead Damage of seals by general wear	Loss of secondary barrier	Leaking of annulus fluid or gas (nitrogen) to atmosphere Non monitorable annulus Communication of fluid between annulus and surface / cellar
12	Cement & Swell packer	Prevent communication between annulus fluid and formation. Ability to test annulus.	Poor cementing of production casing Damage of cement by temperature variations Damage or deterioration of swell packer	Loss of secondary barrier	Non monitorable annulus Communication of fluid between annulus and formations

4.3. Putintegriteit en monitoring

De basis van het putintegriteit programma (Well Integrity Management System, WIMS) wordt gevormd door de ISO TS 16530 standaard. De putintegriteit wordt gewaarborgd door de barrière enveloppe, die bestaat uit een reeks barrière elementen zoals beschreven in paragraaf 4.2. Het doel van dit programma is het definiëren en toepassen van technische, operationele, en organisatorische oplossingen om het risico van het falen van een of meerdere put barrière elementen gedurende de winningsfase te verminderen.

Het putintegriteit programma is een geïntegreerd systeem met de volgende elementen:

1. Definitie verantwoordelijkheden
2. Analyse risico's en definitie bijbehorende mitigaties
3. Beschrijving put-specificaties
4. Beschrijving put-barrières
5. Beschrijving put-standaarden en -limieten
6. Omschrijving monitoring-, onderhouds- en druk-managementprogramma

Een procedure voor veranderingsmanagement is ook onderdeel van het integrale putintegriteit programma. De naleving van het putintegriteit programma kan gemeten en geanalyseerd worden met behulp van audits en kritieke prestatie indicatoren. In het kader van het veilig produceren van aardwarmte wordt de put uitgebreid gemonitord. Er zijn twee typen monitoring in plaats: continue (hoofdstuk 4.3.1) en periodieke monitoring (hoofdstuk 4.3.2).

4.3.1. Continue monitoring

- **Productiviteit/injectiviteit monitoring**

De druk, debiet en temperatuur van zowel de injectie- als de productieput worden continu gemonitord. Indien afwijkend gedrag van de put wordt waargenomen zal aan de hand van Aardyn protocol worden vastgesteld wat de risico's en corresponderende mitigerende maatregelen zijn. Indien bepaalde grenswaarden bereikt worden kan het systeem automatisch wijzigingen doorvoeren of de plant uitschakelen.

- **Corrosie, erosie & scaling monitoring**

De putten zijn ontworpen met een hogere legering staal, namelijk 13% chroom ter voorkoming van corrosie. Daarbij zal de integriteit van de putten gemonitord worden om eventuele anomalieën vroegtijdig te identificeren. Geochemische waarde zoals de zuurtegraad, temperatuur en geleidbaarheid zullen continu gemeten worden, om de putintegriteit en een verslechtering van de casing, als gevolg van erosie of corrosie, in de gaten te houden. Vanuit scaling management wordt continu de pH en de conductiviteit gemeten op de bovengrondse installaties.

4.3.2. Periodieke monitoring

- **Casing integriteit**

De keuze voor 13% chroom casing is gebaseerd op de verwachte watersamenstelling van het productie water en de gewenste levensduur van het doublet. Aan de hand van deze gegevens wordt de casing integriteit geborgd geacht te zijn voor de eerste 30 jaar.

Bij aanvang van productie zal een nulmeting worden uitgevoerd om de casing wanddikte vast te stellen. Na een nog nader te bepalen productie periode zal een nieuwe wanddikte meting worden uitgevoerd. Deze herhaal meting heeft twee belangrijke redenen:

- Het bepalen van het fysieke wanddikte verschil ten opzichte van de nul meting.
- Het verifiëren van de continue corrosie & erosie monitoring.

Aan de hand van de deze wanddikte meting zal bepaald worden wanneer de volgende herhaal meting wordt uitgevoerd. Indien de putintegriteit in het geding is zullen maatregelen genomen worden om dit te repareren.

- **Spuitskruis**

Het spuitskruis wordt wekelijks visueel gecontroleerd op lekkages. Indien er lekkages zijn wordt dit direct gemeld en vervolgens worden passende mitigerende maatregelen genomen. Daarnaast wordt het spuitskruis bij installatie getest en gecertificeerd en bij herinstallatie onderworpen aan een druktest tot de maximale verwachte druk.

- **Corrosie coupon & Water analyse**

Elk kwartaal worden de corrosie coupons geanalyseerd. Met behulp van corrosie coupons wordt er gesimuleerd of er corrosie van de casing plaatsvindt. Aan de hand van de wanddikte metingen kunnen de coupon analyses geverifieerd worden.

Elk half jaar wordt er een watermonster genomen. Een volledige analyse van de kationen en anionen wordt gedaan, waarna twee standaard analyses worden uitgevoerd. Ten eerste wordt gekeken of concentratie opgeloste/vaste deeltjes niet toeneemt. Dit kan een indicatie zijn voor verhoogde corrosie/erosie. Ten tweede wordt gecontroleerd of de concentraties schadelijke stoffen binnen de wettelijk norm vallen.

- **Procesmonitoring**

Als onderdeel van de omgevingsmonitoring wordt jaarlijks de kwaliteit van het grondwater gecontroleerd met behulp van een aantal permanente peilbuizen in de omgeving van het doublet. Een zeer uitgebreid netwerk van sensoren monitoren het systeem real time. Indien bepaalde grenswaarden bereikt worden kan het systeem automatisch wijzigingen doorvoeren of de plant uitschakelen.

Vanuit scaling management wordt continu de pH en de conductiviteit gemeten op de bovengrondse installaties. Periodiek worden er gas en water samples genomen. De Production Engineer kan vanaf externe locatie meekijken in het data en besturingssysteem van de installaties. Dit gebeurt op basis van onverwachte events en standaard periodiek.

4.3.3. Omgevingsmonitoring

Seismische monitoring wordt uitgevoerd met behulp van het KNMI-netwerk in combinatie met een lokaal opgezet seismisch monitoring netwerk voor het GTD doublet (Figuur 4-6 & Figuur 4-7).

Het KNMI heeft een uitgebreid netwerk van seismometers om de seismiciteit in en rondom Nederland te meten (Figuur 4-6). Het netwerk bestaat uit geofoons in boorgaten (tot 200m diepte), versnellingsmeters en "broadband" seismometers.

Geregistreerde aardbevingen worden automatisch vermeld op de website van het KNMI. Specialisten van het KNMI interpreteren de bevinggegevens en dit kan leiden tot kleine aanpassingen van de vastgestelde sterkte en/of locatie van de beving. Voor de locatiebepaling van een beving is de dichtheid en daarmee gevoeligheid van het netwerk van belang. De locatiedrempel is een maat voor de gevoeligheid van het netwerk. De drempel geeft de laagste magnitude (ML) aan van een beving waarvan de locatie nog kan worden bepaald (deze is dan tenminste door 3 monitoringstations waargenomen). In Zuid-Holland is recentelijk de dichtheid van het KNMI netwerk uitgebreid (Figuur 4-6). Hiermee is de locatiedrempel op 1,0 komen te liggen (ML=1,0); kleine bevingen kunnen dan worden geregistreerd en tevens met voldoende zekerheid worden gelokaliseerd.

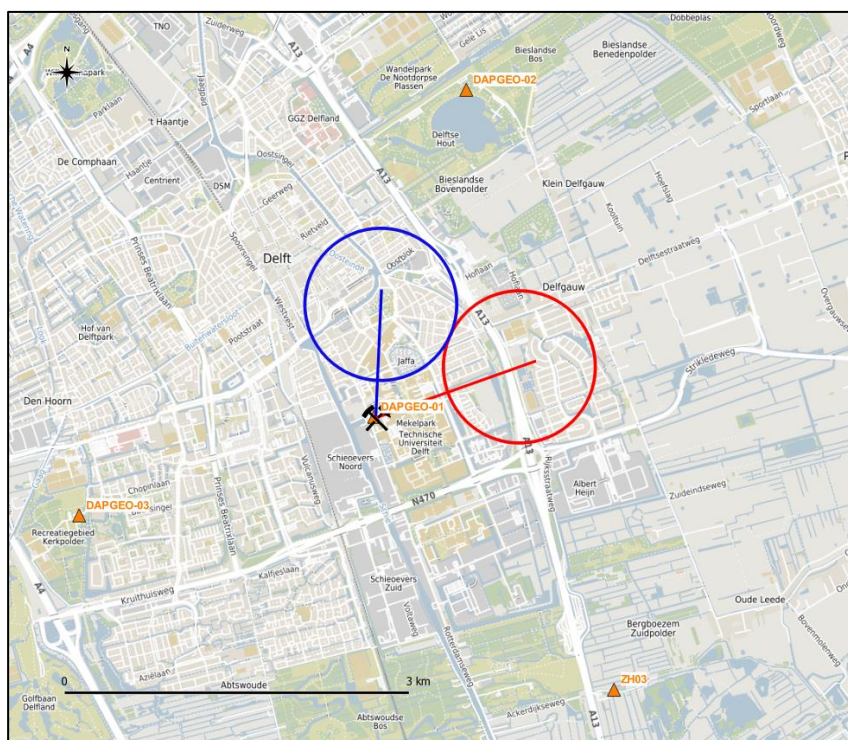
Daarnaast is er voor het GTD project een lokaal seismisch monitoringsnetwerk aangelegd specifiek voor het onderzoeksprogramma rondom het DEL-GT doublet. Dit lokale netwerk bestaat uit 4 boorgat stations (Figuur 4-7):

1. **DAPGEO-01:** op de GTD boorlocatie aan de Leeghwaterstraat 36, Delft. 200m diep boorgat met geofoons op 4 verschillende diepten (50-100-150-200m).
2. **DAPGEO-02:** in de Delftse Hout.
 - 200m diep boorgat met geofoons op 4 verschillende diepten (50-100-150-200m) en een versnellingsmeter aan het oppervlak.
 - 499m diep boorgat met ~12m laterale offset van 200m-diepe boorgat met geofoons op 2 verschillende dieptes (440-490m)
 - Twee 50m diepe boorgaten, ~ 100m offset van 200m-diepe boorgat, loodrecht op elkaar, met geofoon op 1 diepte (50m)
3. **DAPGEO-03:** in de Kerkpolder. 200m diep boorgat met geofoons op 4 verschillende diepten (50-100-150-200m).
4. **ZH03:** KNMI station bij de Ackerdijkse Plassen. 200m diep boorgat met geofoons op 4 verschillende diepten (50-100-150-200m) en een versnellingsmeter aan het oppervlak.

Voor het GTD project zal de seismische monitoring plaatsvinden met dit lokale netwerk in combinatie met het KNMI netwerk; hiermee zal de locatiedrempel nog lager komen te liggen (< ML=1,0) en de nauwkeurigheid van de seismische monitoring nog beter worden.



Figuur 4-6 Overzicht van seismometers van het KNMI. Het netwerk bestaat uit geofoons in de boorgaten (tot 200m diepte), versnellingsmeters en 'broadband' seismometers (Bron: knmi.nl). Geothermie Delft aangeduid met blauwe cirkel.



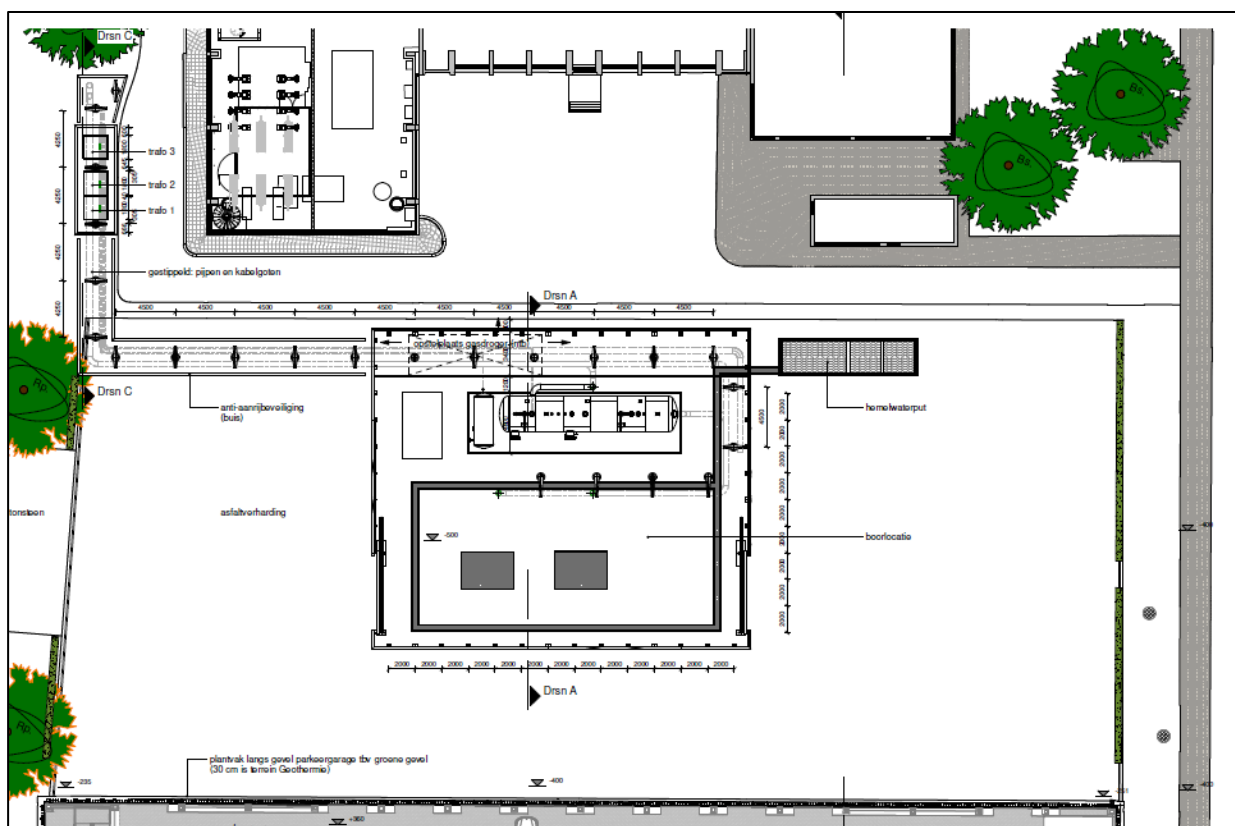
Figuur 4-7: Lokaal seismisch monitoring netwerk voor het GTD doublet, bestaande uit 4 stations (oranje driehoeken): DAPGEO-01/02/03 en ZH03.

4.4. Beoogde installatie

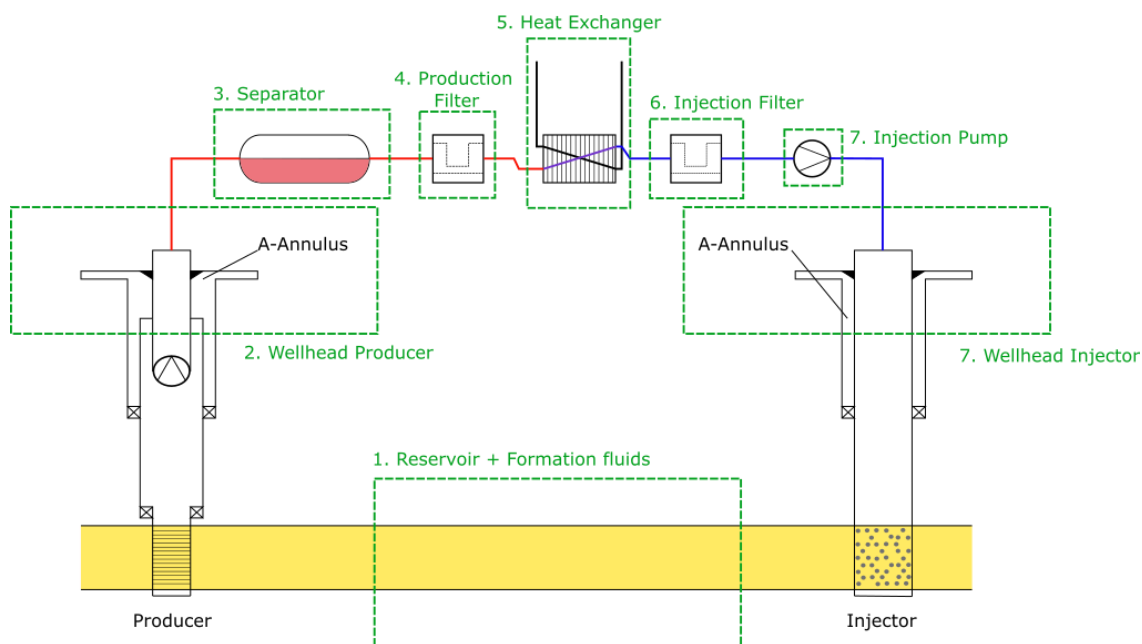
Binnen het mijnbouwwerk wordt warm water opgepompt vanuit de diepe ondergrond (productieput) en vervolgens ontgast en gefilterd. Het water wordt naar de warmtewisselaars geleid waar de warmte wordt overgedragen aan een secundair warmtenet, waarmee deze warmte wordt getransporteerd naar de nieuw te bouwen warmtepompcentrale. Het afgekoelde water wordt vervolgens middels injectiepompen weer in de ondergrond gebracht (injectieput).

Als grondstof van het proces dient het opgepompte warme bronwater uit de productieput. Het hoofdproduct is de warmte uit het warme bronwater, welke wordt overgedragen naar het secundaire warmtenet.

In Figuur 4-8 staat een schematisch overzicht van de geothermische inrichting en in Figuur 4-9 een processchema van de installatie.



Figuur 4-8 Schematisch overzicht geothermische inrichting met putkelders en deel warmtekrachtcentrale TU-Delft met geothermie installaties.



Figuur 4-9 Processchema van de geothermische installatie.

- **Electrical Submersible Pump (ESP)**

De aardwarmtebron wordt voorzien van een bronpomp voor het oppompen van het warme water, een zogenoemde ESP, die op een diepte ergens tussen 400-900 m in de productieput zal worden afgehangen. De afhangdiepte van de ESP-pomp is afhankelijk van de productiviteit van de put. De ESP wordt op een vast toerental gezet, afhankelijk van warmtevraag van de afnemers, door middel van een frequentieregelaar die in de warmtekrachtcentrale (WKC) van TU-Delft wordt geplaatst.

- **Ontgassing**

Nadat het bronwater is opgepompt door de ESP komt het in de gas-waterscheider. Deze scheidt het bronwater van het formatiegas. Tevens worden eventuele olieresten afgevangen in een apart gedeelte van deze tank. Het formatiegas wordt middels een gasopwerkingsinstallatie op de juiste conditie gebracht en gevoed in het, geen onderdeel van de inrichting uitmakende, bestaande Stedin aardgasnet. Bij storing van de gasopwerkingsinstallatie, zal het formatiegas tijdelijk in de fakkels worden verbrand.

- **Stikstof unit**

Om de putten en de bovengrondse installatie te beschermen tegen corrosie als gevolg van zuurstofintrede, wordt de installatie op druk gehouden middels stikstof. Daarnaast wordt de stikstofinstallatie gebruikt om de filterhuizen richting de blowdowntank leeg te drukken tijdens wisselen filters. De stikstof komt van een stikstofgenerator, welke in het WKC gebouw van TU-Delft zal worden geplaatst.

- **Filterinstallaties**

De filterinstallaties zorgen ervoor dat de bronwarmtewisselaars, injectiepompen en de injectieput zo schoon mogelijk blijven. Een te hoog drukverschil duidt op vervuiling van de filters, waarbij automatisch wordt overgeschakeld op het schone stand-by filter.

- **Bronwarmtewisselaars**

De bronwarmtewisselaars zijn van het type platenwarmtewisselaar en worden uitgevoerd met titanium platen. Buiten het gebruikelijk benodigde onderhoud, wordt hiermee gestreefd naar een verwachte levensduur van de warmtewisselaars van circa 30 jaar.

- **Boosterpompen**

De boosterpompen worden geplaatst tussen de gas-waterscheider en de productiefilters, upstream de bronwarmtewisselaars. De pompen hebben als doel om de druk in het systeem te verhogen t.b.v. het overbruggen van de weerstand in het leidingsysteem, filterinstallaties en warmtewisselaars. Daarnaast zorgen de pompen voor de benodigde voordruk van de injectiepompen.

- **Injectiepompen**

De injectiepompen worden na de warmtewisselaars en injectiefilters in het systeem geplaatst en zorgen voor de drukverhoging t.b.v. het injecteren van het 'koude' bronwater in de injectieput.

- **Circulatiepompen**

Bij elke bronwarmtewisselaar wordt een eigen circulatiepomp geplaatst. Deze pompen zorgen per stuk voor een optimaal debiet en rendement over de warmtewisselaars. Overige transportpompen van het secundaire warmtenet vallen onder de project scope van de warmtepompcentrale, welke geen onderdeel vormt van de geothermische installaties (door derden).

- **Blowdowntank**

Een blowdown tank ontvangt stromen van geowater tijdens het wisselen van de productiefilters en injectiefilters (dus niet-continu). Het verzamelde water wordt teruggevoerd naar de gas-waterscheider middels een drainpomp, waardoor het geowater binnen het gesloten systeem blijft.

- **Hulp- en grondstoffen**

Bij het proces van geothermie worden indien nodig zogenaamde mijnbouwhulpstoffen gebruikt. Mijnbouwhulpstoffen worden gebruikt voor uiteenlopende doelen:

- om corrosie van metalen te voorkomen (corrosion inhibitor);
- om afzetting van metaalzouten (o.a. ijzeroxide) te voorkomen (scaling inhibitor);
- om bacteriën (vooral H₂S producerende) te doden (biociden);

Het te winnen formatiewater (bronwater) is van nature zout en kan aanleiding tot corrosie geven, daarom dienen de leidingen en vaten van het "zoute circuit" daartegen beschermd te worden. Bij dit project wordt zowel voor de productieput als de injectieput 13% chroom verbuizing toegepast, waardoor dosering van corrosion inhibitor niet noodzakelijk is.

Met de materiaalselectie bovengrondse installaties is hiermee ook rekening gehouden. Leidingwerk is van het niet corrosieve GRE (Glassfiber Reinforced Epoxy) of van Duplex stainless steel. Apparatuur wordt vervaardigd van GRE, Duplex stainless steel of koolstofstaal met phenolic coating.

Indien er in de toekomst afzetting (scaling) van metaalzouten (o.a. ijzeroxide) binnen leidingen, apparatuur en/of injectieput zou plaatsvinden, zal er een scaling inhibitor gedoseerd gaan worden. Vooralsnog wordt dit niet noodzakelijk geacht, echter in de installatie wordt wel een doseerpunt meegenomen t.b.v. aansluiting van een eventueel toekomstige scaling inhibitor doseerinstallatie.

Tot slot bestaat de mogelijkheid dat micro organismen (bacteriën) zich hechten aan de zoutwaterzijde van de installaties, inclusief de injectieput. Dit kan aanleiding geven tot vervuiling van de installaties en vermindering injectiviteit formatiewater, waardoor dosering van biociden noodzakelijk kan zijn.

Vooralsnog wordt dit niet noodzakelijk geacht, echter in de installatie wordt wel een doseerpunt meegenomen t.b.v. aansluiting van een eventueel toekomstige Biocide doseerinstallatie.

- **Elektriciteitsvoorziening**

Buiten het WKC gebouw komen 3 trafo's te staan. Via de E-rooms in het WKC gebouw wordt de bronpomp (ESP) via de step-up trafo gevoed.

- **Gescheiden hemelwater opvangsysteem**

De locatie is voorzien van een gescheiden hemelwater opvangsysteem. Hiermee wordt voorkomen dat bij eventuele lekkage (in het puttenterrein) tijdens ondergrondse werkzaamheden, dit water op het oppervlaktewater terecht kan komen. Het schone hemelwater dat op de rest van de locatie (asfaltverharding en dak installatiegebouw) valt, kan rechtstreeks worden geloosd op het aanwezige hemelwater riool.

Het water afkomstig vanuit de pompruimte wordt via een vuilwaterput gemonsterd op zout en via een pomp op het vuilwater riool geloosd. Alle hemelwaterstromen die op het riool worden geloosd, worden eerst door een olie/vetafscheider met slib-afvangbak gestuurd.

Op de locatie is een buffervoorziening aanwezig, waarin bij een capaciteitstekort op het riool het water ter plaatse kan worden opgeslagen tot het moment dat weer voldoende capaciteit beschikbaar is. Dit proces kan worden aangestuurd via een telemetrie-systeem.

4.5. Beoogde systeemconfiguratie

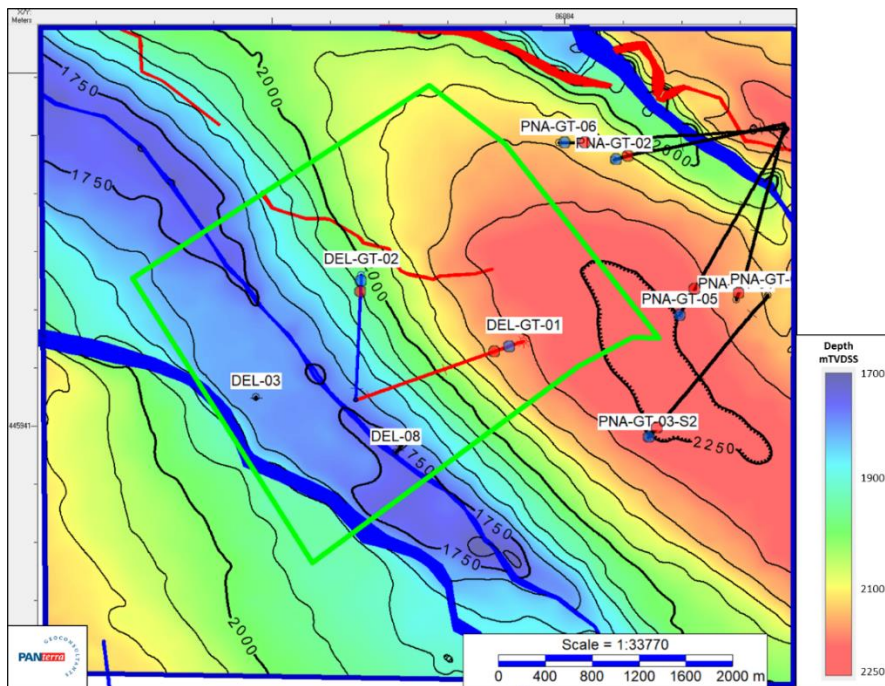
De configuratie van de putten is gebaseerd op seismische interpretatie, rekening houdend met breuken, andere geothermische installaties en olie/gas risico. Voor beide putten zijn in Tabel 4-5 de geplande coördinaten gegeven van de oppervlaktelocatie, het doorprikpunt van top reservoir en van de einddiepte van de put. In Figuur 4-10 en Figuur 4-11 staan respectievelijk een top dieptekaart en een diktekaart van het reservoir met bijbehorende breuken en daarop de geplande puttrajecten. De grootste breuk in de buurt van het doublet is de randbreuk die de Vrijenban syncline scheidt van het Rijswijk Hoog. Deze breuk is over een lange afstand te vervolgen en heeft op plaatsen een groot verzet. Het verzet op aquifer niveau is ter hoogte van het Geothermie Delft doublet echter gering. Het Top Delft doorprikpunt van DEL-GT-01 ligt zo'n 1225m van deze randbreuk vandaan, het doorprikpunt van DEL-GT-02 zo'n 730m. Op het niveau van basis reservoir is de afstand tot de breuk nog groter omdat de breuk naar het zuidwesten dipt en de putten naar het noordoosten (DEL-GT-01) en noorden (DEL-GT-02) worden geboord. Ten noorden van DEL-GT-02 is daarnaast een secundaire breuk geïdentificeerd met een klein verzet. Deze breuk is niet over een lange afstand te vervolgen. Figuur 4-12 en Figuur 4-13 tonen seismische doorsnedes met seismische interpretatie parallel aan de geplande boortrajecten. Hierop zijn alle geïnterpreteerde breuken weergegeven en is het zeer geringe verzet op de secundaire breuk goed te zien (Figuur 4-13). Dit verzet is vele malen kleiner dan de dikte van het reservoir, waardoor er reservoir-reservoir juxtapositie te verwachten mag zijn. De afstand tussen het Top Delft doorprikpunt van DEL-GT-01 en deze secundaire breuk is zo'n 680m. Voor DEL-GT-02 is deze afstand zo'n 375m. De interpretatie suggereert dat de secundaire breuk naar het noorden dipt en de afstand tussen de put en deze breuk op basis reservoir niveau nog groter is. De afstand tussen de putten en de breuken is meegenomen in de Seismische Gevaren Analyse (zie hoofdstuk 8.1.1 en Appendix B).

De geplande afstand tussen de DEL-GT-01 en DEL-GT-02 putten is 1322m op het niveau van het midden van het reservoir, 1257m op top reservoir niveau en 1385m op basis reservoir. In de aquifer heeft DEL-GT-01 een inclinatie van 44° en DEL-GT-02 van 42°. De skin als gevolg van doorboorhoek is derhalve respectievelijk -0.39 en -0.3. De puttrajecten zijn schematisch weergegeven in Figuur 4-3 en Figuur 4-4 in paragraaf 4.1.

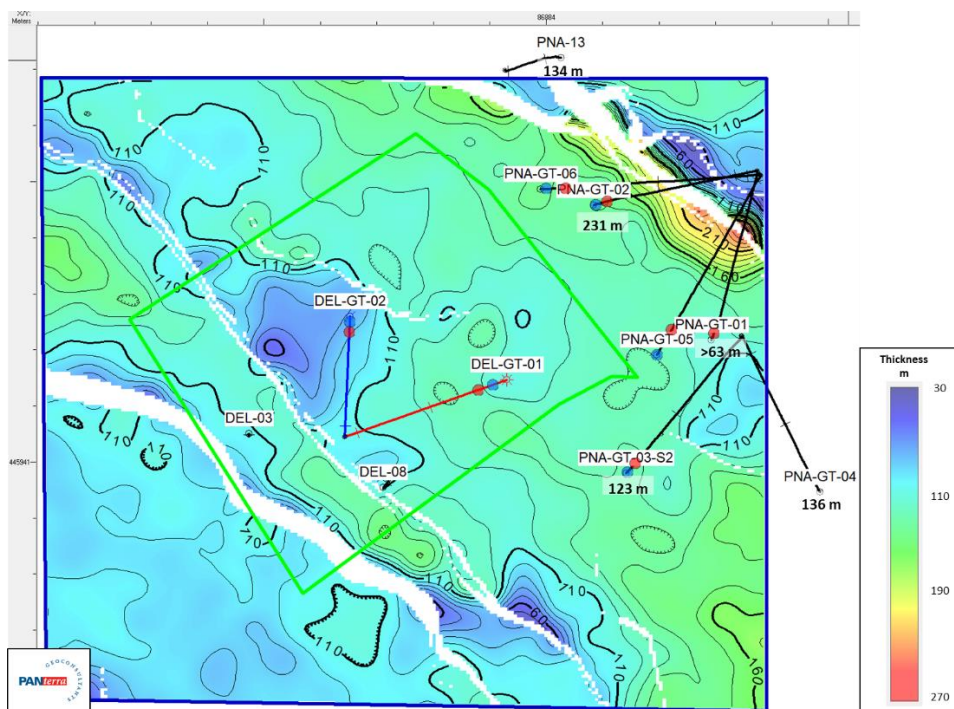
Tabel 4-5 Coördinaten en algemene putinformatie.

Putnaam	Delft-GT-01	Delft-GT-02
Type put	Water productieput	Water injectieput
Acroniem	DEL-GT-01	DEL-GT-02
Deviatie	J-vormig	J-vormig
Coördinaten oppervlaktelocatie (RD)	X: 85106 Y: 446165 Z: 2 m NAP	X: 85099 Y: 446162 Z: 2 m NAP
Coördinaten doorprikpunt top Delft (RD)	X: 86288 Y: 446584 Z: -2162 m NAP	X: 85145 Y: 447107 Z: -1957 m NAP
Totale diepte ¹	2371m TVD / 2940m AHD X: 86482 Y: 446652	2135m TVD / 2530 m AHD X: 85149 Y: 447265

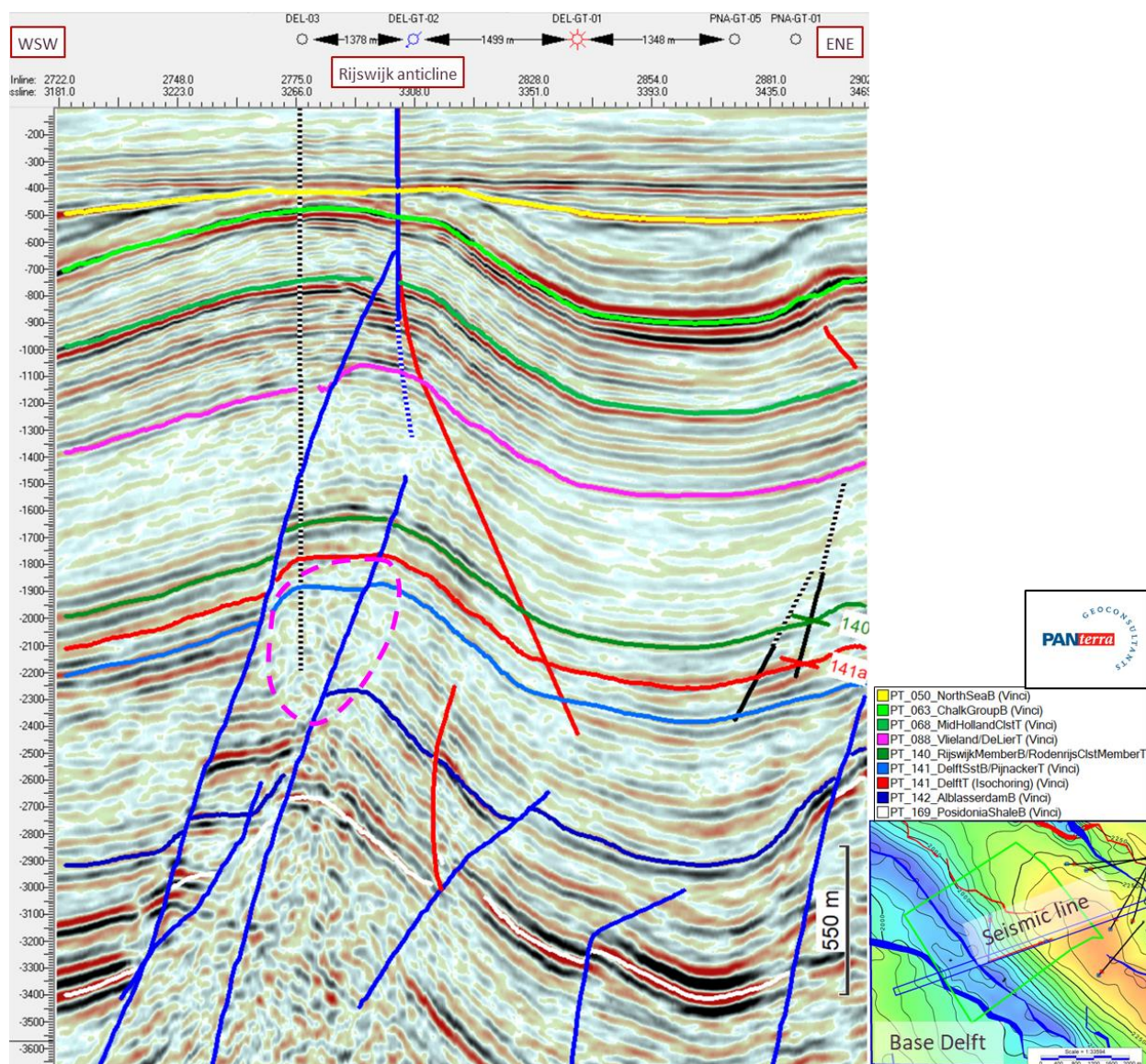
¹ Totale diepte is gebaseerd op een reservoir dikte van 135m TVT voor DEL-GT-01 en 93m TVT voor DEL-GT-02.



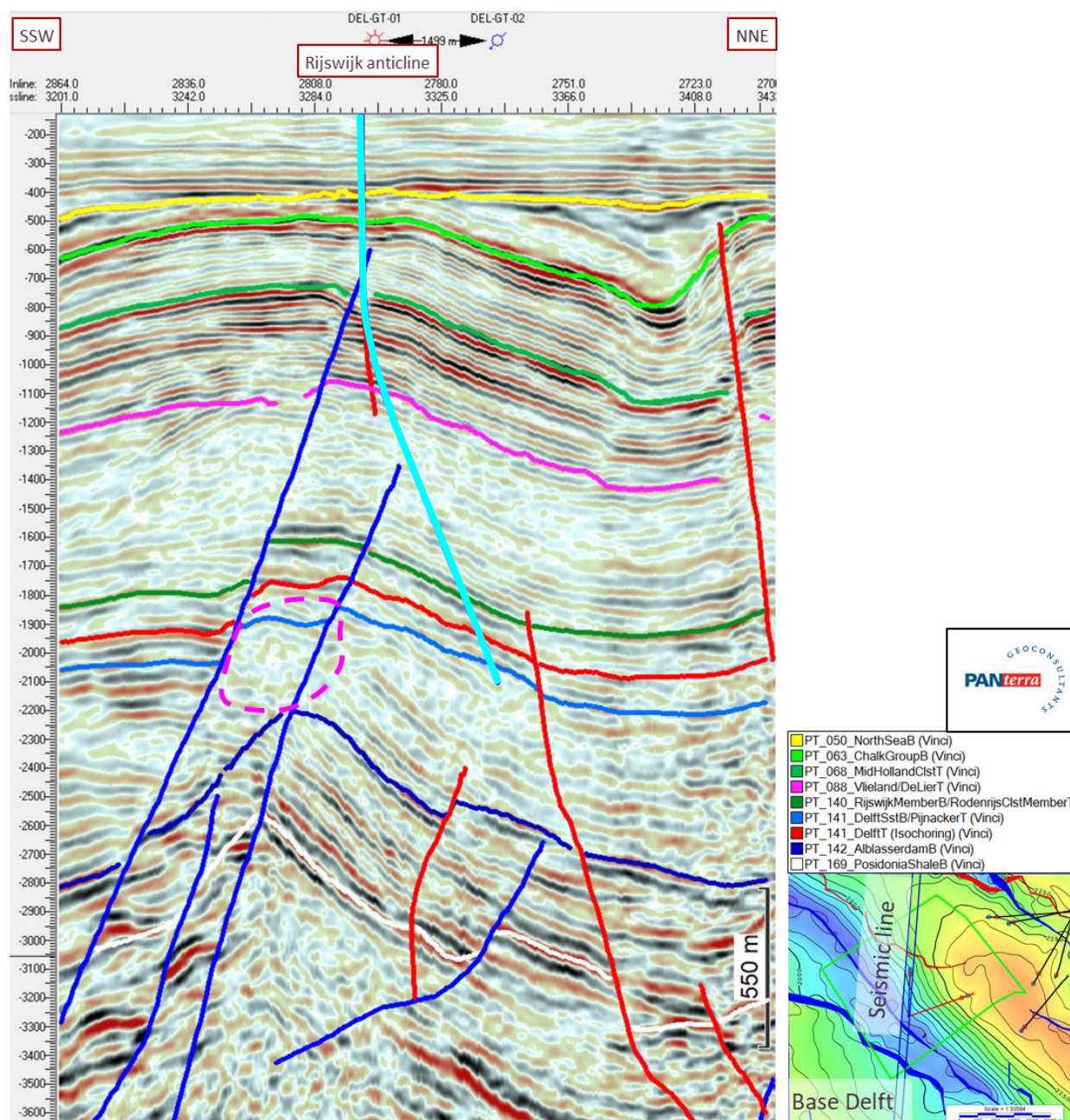
Figuur 4-10 Dieptekaart van de Delft Zandsteen Member met daarop de geplande productie- en injectieput (DEL-GT-01 in rood, DEL-GT-02 in blauw). Deze kaart geeft de gemiddelde diepte weer van 2 benaderingen tot Top Delft diepte, namelijk isochoring naar beneden van de op seismiek geïnterpreteerde top Rodenrijs Kleisteen Member en isochoring naar boven vanaf de geïnterpreteerde basis Delft Zandsteen. De rode stippen langs de puttrajecten markeren de Top Delft doorprikkpunten, de blauwe stippen de basis Delft doorprikkpunten. De Pijnacker-Nootdorp 6a opsporingsvergunningomtrek is ter referentie weergegeven in groen. Blauwe polygonen zijn naar het zuidwesten hellende breuken, rode polygonen zijn naar het noordoosten hellende breuken.



Figuur 4-11 Diktekaart van de Delft Zandsteen Member met daarop de geplande productie- en injectieput (DEL-GT-01 in rood, DEL-GT-02 in blauw). De rode stippen langs de puttrajecten markeren de Top Delft doorprikkpunten, de blauwe stippen de basis Delft doorprikkpunten. Voor iedere bestaande put is ook de werkelijke verticaal gemeten dikte (TVT; True Vertical Thickness) weergegeven. De Pijnacker-Nootdorp 6a opsporingsvergunningomtrek is ter referentie weergegeven in groen.



Figuur 4-12 Seismische doorsnede parallel aan het geplande puttraject van de productieput DEL-GT-01. Deze is weergegeven met een rode lijn. Het geplande puttraject van de injectieput DEL-GT-02 is weergegeven in blauw; een doorgetrokken lijn waar het traject parallel loopt aan deze seismische lijn en gestippeld waar het traject afbuigt van deze seismische lijn en nog geprojecteerd wordt. Het verdere deel van het injectorputtraject is niet weergegeven op deze doorsnede. Breuken zijn weergegeven in donkerblauw en rood. De legenda geeft een overzicht van de geïnterpreteerde horizonten. Het met een roze gestreepte lijn omcirkelde gebied duidt een gebied aan met een mogelijke gas pocket. Het kaartje laat de loop van de getoonde seismische doorsnede op de kaart zien. De diepte (verticale as) is weergegeven in TVDSS (werkelijke verticale diepte onder zeeniveau/NAP).



Figuur 4-13 Seismische doorsnede parallel aan het geplande puttraject van de injectieput DEL-GT-02. Deze is weergegeven met een lichtblauwe lijn. Het geplande puttraject van de injectieput DEL-GT-01 is deels weergegeven in rood; de rest van dat traject is niet weergegeven omdat deze sterk afbuigt van deze seismische lijn. Breuken zijn weergegeven in donkerblauw en rood. De legenda geeft een overzicht van de geïnterpreteerde horizonten. Het met een roze gestreepte lijn omcirkelde gebied duidt een gebied aan met een mogelijke gas pocket. Het kaartje laat de loop van de getoonde seismische doorsnede op de kaart zien. De diepte (verticale as) is weergegeven in TVDSS (werkelijke verticale diepte onder zeeniveau/NAP).

4.6. Reservoir integriteit

Aardyn streeft ernaar dat de integriteit van het geothermie systeem ten allen tijd wordt gehandhaafd om zo te voorkomen dat de winning van aardwarmte nadelige gevolgen zal hebben voor mens en milieu. Om dit te borgen maakt de operator gebruik van een integriteits-zorgsysteem dat opgezet is conform de ISO 16530 methodiek. Naast de integriteit van de putten zelf wordt ook gekeken naar de integriteit van het reservoir.

De operator heeft twee gevaren (hazards) vastgesteld m.b.t reservoir integriteit:

1. Integriteitsverlies van afsluitende laag
2. Seismische activiteit

ISO 16530-2 methodiek voor Seismic Hazard & Caprock integrity

Hazard	Consequence	Mitigation	Threshold	Monitoring
Caprock/ Baserock integrity loss	Loss of containment	BHP < minimum horizontal stress	Minimum horizontal stress = Geomechanical study / 0,135 bar/m* x depth - Temperature correction (SodM 2019)	Continuous pressure/ temperature monitoring Max THP = f(max BHP, Q, T _{injection}) T_{injection} > 20°C
Seismic event	Damage / impact on license to operate	$\Delta P_{(NWRP-RP)} < \text{SHRA threshold}$	$\Delta P_{(NWRP-RP)} < \text{SHRA threshold}$	RP = constant NWRP = f(Q) ** Continuous flow monitoring Q < SHRA threshold & Q < 360m3/h → $\Delta P_{(NWRP-RP)} < \text{SHRA threshold}$
Seismic event	Damage / impact on license to operate	Q < Q @ SHRA threshold	Q < Q @ SHRA threshold	Continuous flow monitoring Q < SHRA threshold & Q < 360m3/h

* Zonder geomechanische studie; stress gradiënt uit SodM protocol wordt aangenomen: conservatieve minimale horizontale stress gradiënt.

* Met geomechanische studie; afgeleide stress gradiënt wordt aangenomen.

** Onder aanname dat reservoir eigenschappen gelijk blijven (k, H, RP etc. = constant)

*Figuur 4-14: Methodiek voor bepaling te monitoren parameters en bijbehorende drempelwaardes voor Seismic Hazard & Caprock Integrity, gebaseerd op het ISO 16530. **N.B. :Deze tabel zal post-drill worden aangepast***

De beide gevaren worden hieronder verder toegelicht.

4.6.1. Integriteit afsluitende laag

De Geothermie Delft putten produceren uit en injecteren in de Delft Zandsteen. Boven deze zandsteen zit een afsluitende kleilaag in de vorm van de Rodenrijs Kleisteen. De Rodenrijs Kleisteen zal zijn afsluitende karakter moeten blijven behouden zodat formatiewater niet in ondiepere lagen terecht kan komen.

Een te hoge injectiedruk en of een te grote uitkoeling zou kunnen leiden tot niet toelaatbare scheurvorming van het (afsluitende) Rodenrijs Kleisteen gesteente. Dit gevaar wordt gemitigeerd door een bovengrens voor de putbodemdruk (BHP) te handhaven tijdens injectie.

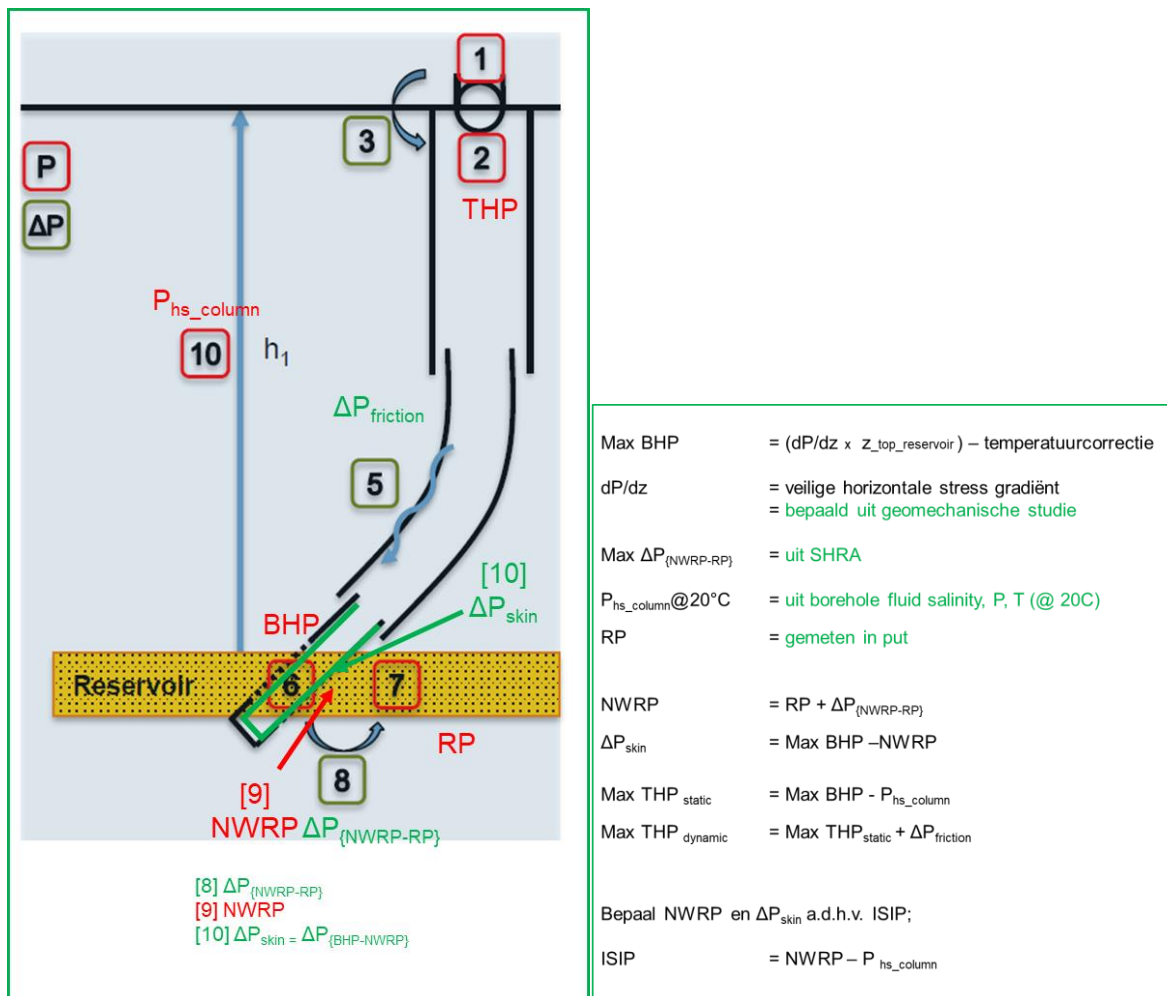
Voor de berekening van de maximaal toelaatbare injectiedruk zal gebruik gemaakt worden van het injectieprotocol van Aardyn. De methodiek behelst in het kort:

1. Geomechanische studie met als resultaat een veilige drukgradiënt en een beschrijving van de temperatuur afhankelijkheid.
2. O.b.v. de gradiënt en diepte van de perforaties wordt een maximale putbodemdruk (BHP) berekend. Hierbij wordt ook rekening gehouden met de temperatuurseffecten.
3. De putbodemdruk wordt vertaald in putmondruk door rekening te houden met de statische en dynamische drukeffecten in de put. Hieruit volgt een debietsafhankelijke maximaal toelaatbare Tubing Head Pressure (THP).

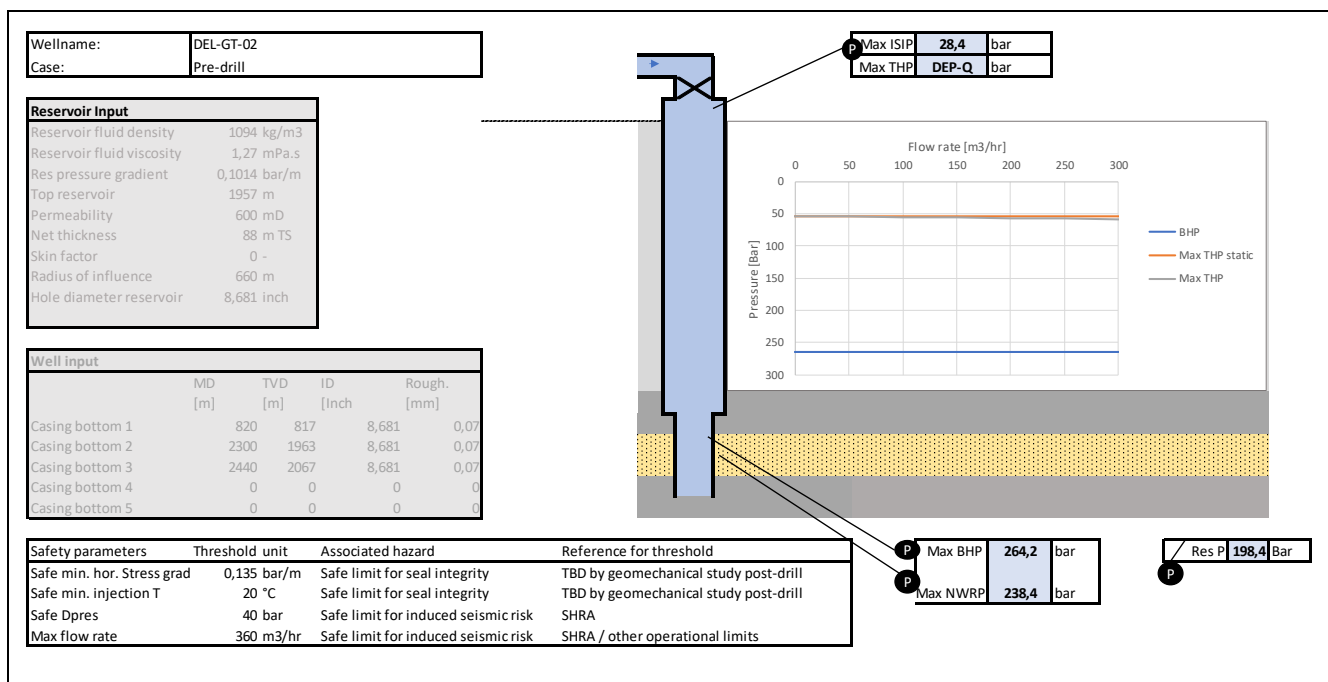
De te monitoren parameters worden vastgesteld op basis van de ISO 16530 methodiek zoals weergegeven in Figuur 4-14. In deze methodiek worden de mitigaties voor integriteitsverlies van de afsluitende laag en seismiteit, de bijbehorende drempelwaarden en de te monitoren parameters opgesteld. De continue te monitoren parameters zijn:

- Tubing Head Pressure
- Injectie temperatuur
- Debiet

Figuur 4-15 presenteert de rekenmethodiek voor de vertaling van de verschillende drukparameters binnen de put en het reservoir. Figuur 4-16 geeft een voorbeeld voor de bepaling van de maximale THP en NWRP (Near Wellbore Reservoir Pressure) op basis van de drempelwaarden bepaald volgens de ISO 16530 (Figuur 4-14) en berekend m.b.v. de rekenmethodiek zoals gepresenteerd in Figuur 4-15.



Figuur 4-15 Links: Schematisch overzicht van een injectieput, reservoir en bijbehorende drukken. Rechts: Dit overzicht geeft de definitie van de verschillende drukken binnen de putten en het reservoir en de bijbehorende berekeningen.



Figuur 4-16: Voorbeeld: bepaling van de maximale THP en NWRP op basis van de drempelwaarden bepaald volgens de ISO16530 (Figuur 4-14) en berekend m.b.v. de rekenmethodiek zoals gepresenteerd in Figuur 4-15. Nader te bepalen na het boren en testen van de putten.

De bovenstaande methodiek zal pas uitgevoerd kunnen worden nadat de putten zijn geboord en getest. Tot die tijd zal gebruik worden gemaakt van het SodM protocol. Deze is nader toegelicht in *Appendix A: Maximale injectiedruk* en leidt tot de voorlopige maximale THP zoals gepresenteerd in Tabel 4-6.

Tabel 4-6: Maximale injectiedruk (THP) inclusief frictieverliezen en injectietemperatuurcorrectie (SodM, 2020)

Maximale THP SodM protocol (SodM, 2013)					
THPmax [bar]	54,8				
Debietsafhankelijk frictieverlies					
	Debiet [m3/h]				
	0-200	200-250	250-300	300-350	350-400
Frictie verlies [bar]	2,2	3,4	4,8	6,5	8,4
Maximale debietsafhankelijke temperatuur-afhankelijke injectiedruk (THP) (SodM, 2020)					
Gebaseerd op reservoirtemperatuur bij injector van 72°C					
THPmax [bar]	Debiet [m3/h]				
Minimale injectie temperatuur (°C)	0-200	200-250	250-300	300-350	350-400
32	57,0	58,2	59,6	61,3	63,2
31	56,0	57,2	58,6	60,3	62,2
30	55,0	56,2	57,6	59,3	61,2
29	54,0	55,2	56,6	58,3	60,2
28	53,0	54,2	55,6	57,3	59,2
27	52,0	53,2	54,6	56,3	58,2
26	51,0	52,2	53,6	55,3	57,2
25	50,0	51,2	52,6	54,3	56,2
24	49,0	50,2	51,6	53,3	55,2
23	48,0	49,2	50,6	52,3	54,2
22	47,0	48,2	49,6	51,3	53,2
21	46,0	47,2	48,6	50,3	52,2
20	45,0	46,2	47,6	49,3	51,2

4.6.1. Seismiciteit

Het tweede risico m.b.t. reservoir integriteit is de seismiciteit. Een seismische gevaren analyse (SHA) is uitgevoerd voor het Geothermie Delft doublet en beschreven in hoofdstuk 8. De dreiging van de geïnduceerde seismiciteit wordt met behulp van de SHA Quickscan als “laag” ingeschat.

Onderdeel van de SHA Quickscan zijn een verwacht systeemdebiet en verwachte injectiedruk op reservoirniveau (dit is het verschil tussen Reservoir Pressure en Near Wellbore Reservoir Pressure, Figuur 4-15). De SHA drempelwaarden vormen ook onderdeel van de gevolgde ISO 16530 methodiek voor de reservoir integriteit (Figuur 4-14). Het maximale systeemdebiet is gesteld op 360m³/h en de verwachte bijbehorende injectiedruk op reservoir niveau (dit is het verschil tussen Reservoir Pressure en Near Wellbore Reservoir Pressure) wordt ingeschat op minder dan 40 bar, maar dit zal pas geëvalueerd kunnen worden nadat de putten zijn geboord en getest.

In de verwachte situatie dat de reservoir parameters gelijk blijven (dikte, permeabiliteit, reservoir pressure), bestaan de continue te monitoren parameters voor de seismiciteit uit het maximale debiet (Figuur 4-14). Daarnaast kan de Near Wellbore Reservoir Pressure (NWRP) geëvalueerd worden d.m.v. insluit testen. De monitoring van NWRP zal beschreven worden in een protocol dat onderdeel uitmaakt van het WIMS.

Opmerkingen:

- Voor mitigatie van het risico op verlies van integriteit van de afsluitende laag zijn BHP en injectietemperatuur de belangrijkste factoren.
- Voor mitigatie van het risico op geïnduceerde seismiciteit is verschillendruk op reservoir niveau (verschil tussen NWRP en Reservoir Pressure) de belangrijkste factor.
- Het regime tussen de drukken in (en direct rondom) de put en de drukken in het reservoir zelf zijn in praktijk gescheiden door de potentiële opbouw van skin in (en direct rondom) de putmond (Figuur 4-15). Het is essentieel om deze regimes apart te zien.
- Om zowel de integriteit van de afsluitende laag als de seismiciteit goed te kunnen monitoren zullen zowel (1) de Tubing Head Pressure en de injectie temperatuur en (2) het debiet continue gemonitord worden.
- (1) De monitoring van de THP en injectietemperatuur is nodig als mitigerende maatregel voor het verlies van integriteit van de afsluitende laag.
- (2) De monitoring van het debiet is nodig als mitigerende maatregel voor geïnduceerde seismiciteit, in combinatie met eventuele insluit testen.

4.7. Beoogde operationele instellingen

De putten DEL-GT-01 en -02 zijn ontworpen met een hogere legering staal, namelijk 13% chroom ter voorkoming van corrosie. Ook zullen de putten goed schoongemaakt worden alvorens productie- of injectie-testen uit te voeren. In eerste instantie zullen er geen inhibitors of biociden worden toegepast, maar deze passen wel in de mitigerende maatregelen als er tijdens de levensduur van putten geochemische bescherming nodig blijkt.

In het opgepompte formatiewater bevindt zich tevens formatiegas, dat wordt afgescheiden in de gaswaterscheider. Het formatiegas wordt middels een gasopwerkingsinstallatie op de juiste conditie gebracht en gevoed in het bestaande, geen onderdeel van de inrichting uitmakende, Stedin aardgasnet. Bij storing van de gasopwerkingsinstallatie, zal het formatiegas tijdelijk in de fakkel worden verbrand.

De warmtevraag vanuit de warmtepompcentrale zal variëren, afhankelijk van dagdeel en/of seizoen. In Tabel 4-7 staat een samenvatting van de prognose van de verwachte productie parameters van het geothermische systeem (gerelateerd aan prognose in hoofdstuk 5). Let wel: dit zijn niet de maximale waarden(!); voor de duidelijkheid wordt de begrenzing van de productie parameters gegeven in Tabel 4-8.

Tabel 4-7 Prognose van verwachte productie parameters geplande aardwarmtewinning. Nader te bepalen na boren en testen putten.

Geothermisch systeem		Eenheid	Prognose waarde <i>NTB na boren en testen putten!</i>
Aanvang winningsvergunning		Datum	- nog niet verleend-
Verwachte levensduur		Jaar	35
Het verwachte debiet		m ³ /h	300 (P90 scenario) 360 (P50 scenario) 450 (maximaal haalbaar put debiet) Maximaal: 360 m ³ /h (zie paragraaf 4.6) (Hetzelfde voor producer en injector)
Producer	Gemiddelde productie-temperatuur	°C	79
	Gemiddelde druk direct onder ESP @360 m ³ /h	bar	38 <i>Afhankelijk van o.a. skin, frictieverlies, etc;</i>
	Laagste druk direct onder ESP @360 m ³ /h	bar	35 <i>Afhankelijk van o.a. skin, frictieverlies, etc;</i>
	Operationele productiedrukverschil op reservoir niveau @360m ³ /h	bar	15
	Gas/Water ratio	Nm ³ /m ³	1.0
	Ingebrachte inhibitor	l/m ³	- nog niet bepaald; enkel indien nodig -
Injector	Injectie-temperatuur	°C	Minimaal: 20 (zie paragraaf 4.6)
	Druk aan injectieputkant van de injectiepomp @360 m ³ /h	bar	29 <i>Afhankelijk van o.a. skin, frictieverlies, etc;</i> Maximaal: zie paragraaf 4.6
	Operationele injectiedrukverschil op reservoir niveau @360 m ³ /h	bar	32 <i>(verschil Near Wellbore Reservoir Pressure & Reservoir Pressure)</i>
	Ingebrachte inhibitor	l/m ³	- nog niet bepaald; enkel indien nodig -
Verwacht Electraverbruik ESP + injectiepomp		kW	768
Aantal draaiuren per jaar		Uur	8256
Aantal vollasturen		uur	7695
Geïnstalleerd vermogen installatie		MW _{th}	23
Verwachte warmtewinning		TJ/jaar	633

Tabel 4-8: Begrenzing productie parameters (maximaal / minimaal) voor de geplande aardwarmtewinning. Nader te bepalen na boren en testen putten.

Begrenzing	Eenheid	Waarde
Maximale injectiedruk THP	bar	Zie Tabel 4-6
Minimale retour temperatuur	°C	20
Maximaal debiet gehanteerd voor SHA	m ³ /h	360

5. Prognose winning

Het beoogde geothermisch vermogen is berekend met DoubletCalc1D v1.4.3. De input en resulterende output van de uitgevoerde DoubletCalc1D berekening staan in Figuur 5-1 en Figuur 5-2. Daarnaast is er ook een DoubletCalc2D berekening gedaan op basis van dezelfde aannames. Deze berekening wordt beschreven in Hoofdstuk 6. Hieruit blijkt dat er met deze operationele *settings* na 35 jaar nog geen doorbraak van het koudefront wordt verwacht. De verwachte productie van het doublet en de prognose van de cumulatieve energie over de komende 16 jaar wordt gepresenteerd in Tabel 5-1 en Figuur 5-3.

Geotechnical input

A) Aquifer properties

Property	min	median	max	Property	value
aquifer permeability (mD)	250	600	1300	aquifer kh/kv ratio (-)	5
aquifer net to gross (-)	0.62	0.72	0.85	surface temperature (°C)	10.0
aquifer gross thickness (m)	92	123	154	geothermal gradient (°C/m)	0.0315
aquifer top at producer (m TVD)	1946.0	2162	2378.0	[mid aquifer temperature producer (°C)]	0.0
aquifer top at injector (m TVD)	1761.0	1957	2153.0	[initial aquifer pressure at producer (bar)]	0.0
aquifer water salinity (ppm)	105000	130000	150000	[initial aquifer pressure at injector (bar)]	0.0

B) Doublet and pump properties

Property	value
exit temperature heat exchanger (°C)	20
distance wells at aquifer level (m)	1321
pump system efficiency (-)	0.7
production pump depth (m)	600
pump pressure difference (bar)	54

C) Well properties

calculation length subdivision (m)

Producer					Injector				
outer diameter producer (inch)					outer diameter injector (inch)				
skin producer (-)					skin injector (-)				
penetration angle producer (deg)					penetration angle injector (deg)				
skin due to penetration angle p (-)					skin due to penetration angle i (-)				
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	600	600	9.850	1.97	1	2300	1963	8.681	2.75
2	750	749	12.390	1.97	2				
3	790	787	8.681	1.97	3				
4	2600	2130	8.681	2.75	4				
5	2650	2165	5.921	2.75	5				
6					6				
7					7				
8					8				

Figuur 5-1 Inputscherf van de DoubletCalc berekening voor het DEL-GT doublet.

Geotechnics (Input)

Property	min	median	max
aquifer permeability (mD)	250.0	600.0	1300.0
aquifer net to gross (-)	0.62	0.72	0.85
aquifer gross thickness (m)	92.0	123.0	154.0
aquifer top at producer (m TVD)	1946.0	2162.0	2378.0
aquifer top at injector (m TVD)	1761.0	1957.0	2153.0
aquifer water salinity (ppm)	105000.0	130000.0	150000.0

Property	value
number of simulation runs (-)	1000.0
aquifer kh/kv ratio (-)	5.0
surface temperature (°C)	10.0
geothermal gradient (°C/m)	0.0315
[mid aquifer temperature producer (°C)]	0.0
inital aquifer pressure at producer (bar)]	0.0
[initial aquifer pressure at injector (bar)]	0.0
exit temperature heat exchanger (°C)	20.0
distance wells at aquifer level (m)	1321.0
pump system efficiency (-)	0.7
production pump depth (m)	600.0
pump pressure difference (bar)	54.0
outer diameter producer (inch)	8.5
skin producer (-)	0.0
skin due to penetration angle p (-)	-0.44
pipe segment sections p (m AH)	600.0,750.0,790.0,2600.0,2650.0
pipe segment depth p (m TVD)	600.0,749.0,787.0,2130.0,2165.0
pipe inner diameter p (inch)	9.85,12.39,8.68,8.68,5.92
pipe roughness p (milli-inch)	1.97,1.97,1.97,2.75,2.75
outer diameter injector (inch)	12.25
skin injector (-)	0.0
skin due to penetration angle i (-)	-0.3
pipe segment sections i (m AH)	2300.0
pipe segment depth i (m TVD)	1963.0
pipe inner diameter i (inch)	8.68
pipe roughness i (milli-inch)	2.75

Geotechnics (Output)

Monte Carlo cases (stochastic inputs)	P90	P50	P10
aquifer kH net (Dm)	34.82	54.4	89.93
mass flow (kg/s)	76.77	106.43	140.77
pump volume flow (m³/h)	258.5	358.6	473.4
required pump power (kW)	553.9	768.4	1014.4
geothermal power (MW)	16.27	22.76	30.32
COP (kW/kW)	27.8	29.6	31.4

aquifer pressure at producer (bar)	208.82	221.57	234.85
aquifer pressure at injector (bar)	188.93	200.22	211.71
pressure difference at producer (bar)	11.97	14.88	16.84
pressure difference at injector (bar)	25.27	31.53	35.56
aquifer temperature at producer * (°C)	76.32	80.03	83.85
temperature at heat exchanger (°C)	75.37	78.99	82.68

base case (median value inputs)	value
aquifer kH net (Dm)	53.14
mass flow (kg/s)	104.66
pump volume flow (m³/h)	352.4
required pump power (kW)	755.2
geothermal power (MW)	22.36
COP (kW/kW)	29.6

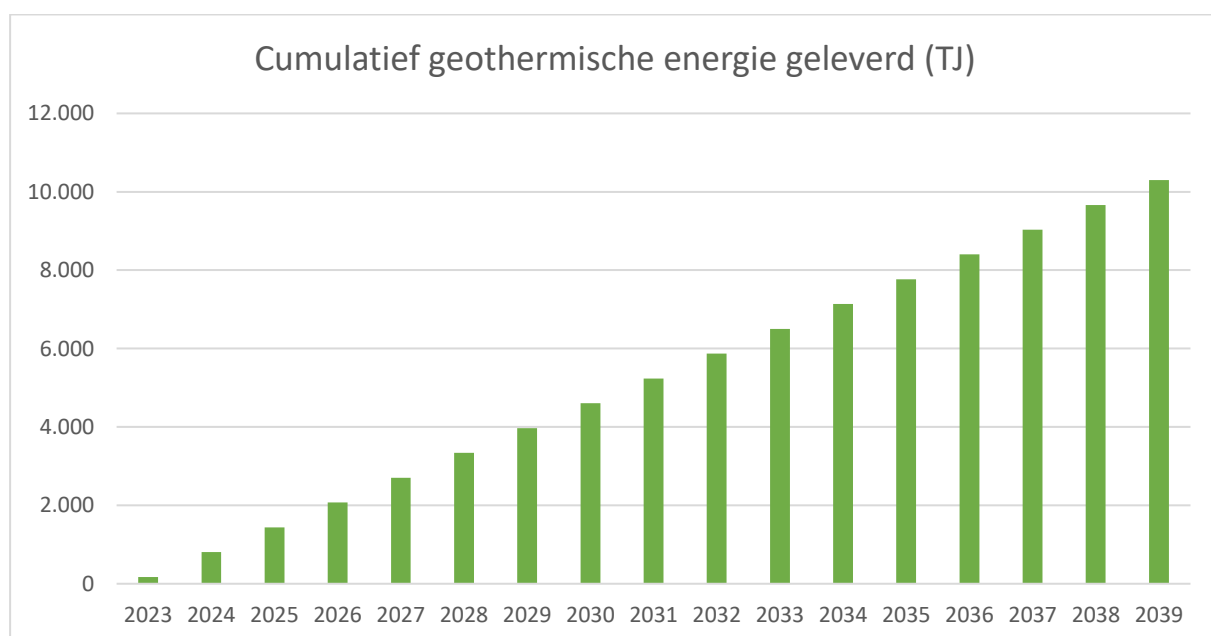
aquifer pressure at producer (bar)	221.81
aquifer pressure at injector (bar)	200.36
pressure difference at producer (bar)	14.98
pressure difference at injector (bar)	31.74
aquifer temperature at producer * (°C)	80.04
temperature at heat exchanger (°C)	79.02
pressure at heat exchanger (bar)	27.0

* @ mid aquifer depth

Figuur 5-2 Input en output van de DoubletCalc berekening voor het DEL-GT doublet.

Tabel 5-1 Verwachte productie van het DEL-GT doublet.

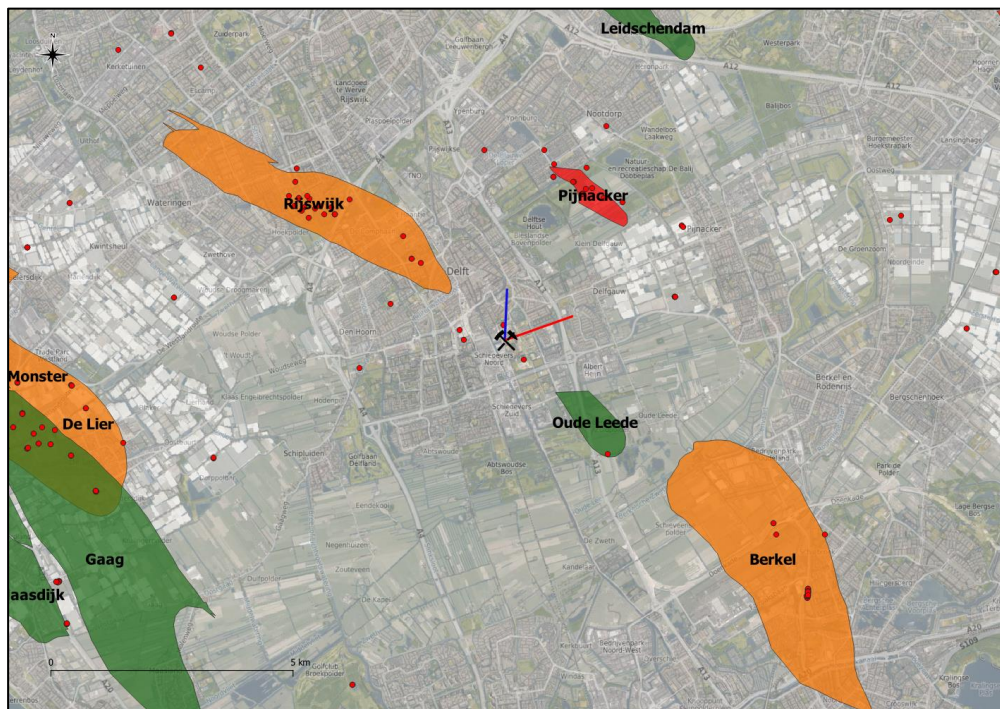
jaar	productie temperatuur	Hoeveelheid formatiewater gewonnen (x 1.000 m3/jaar)	Geothermische energie geleverd (TJ)	Hoeveelheid productiegas (x1.000 nm3 / jaar)	Aantal vollasturen (uur)	Elektra verbruik per jaar (MWh / jaar)	Cumulatief geothermische energie geleverd (TJ)
2023	79	767	175	767	2.129	1.635	175
2024	79	2.770	633	2.770	7.695	5.910	808
2025	79	2.770	633	2.770	7.695	5.910	1.440
2026	79	2.770	633	2.770	7.695	5.910	2.073
2027	79	2.770	633	2.770	7.695	5.910	2.706
2028	79	2.770	633	2.770	7.695	5.910	3.339
2029	79	2.770	633	2.770	7.695	5.910	3.971
2030	79	2.770	633	2.770	7.695	5.910	4.604
2031	79	2.770	633	2.770	7.695	5.910	5.237
2032	79	2.770	633	2.770	7.695	5.910	5.870
2033	79	2.770	633	2.770	7.695	5.910	6.502
2034	79	2.770	633	2.770	7.695	5.910	7.135
2035	79	2.770	633	2.770	7.695	5.910	7.768
2036	79	2.770	633	2.770	7.695	5.910	8.400
2037	79	2.770	633	2.770	7.695	5.910	9.033
2038	79	2.770	633	2.770	7.695	5.910	9.666
2039	79	2.770	633	2.770	7.695	5.910	10.299



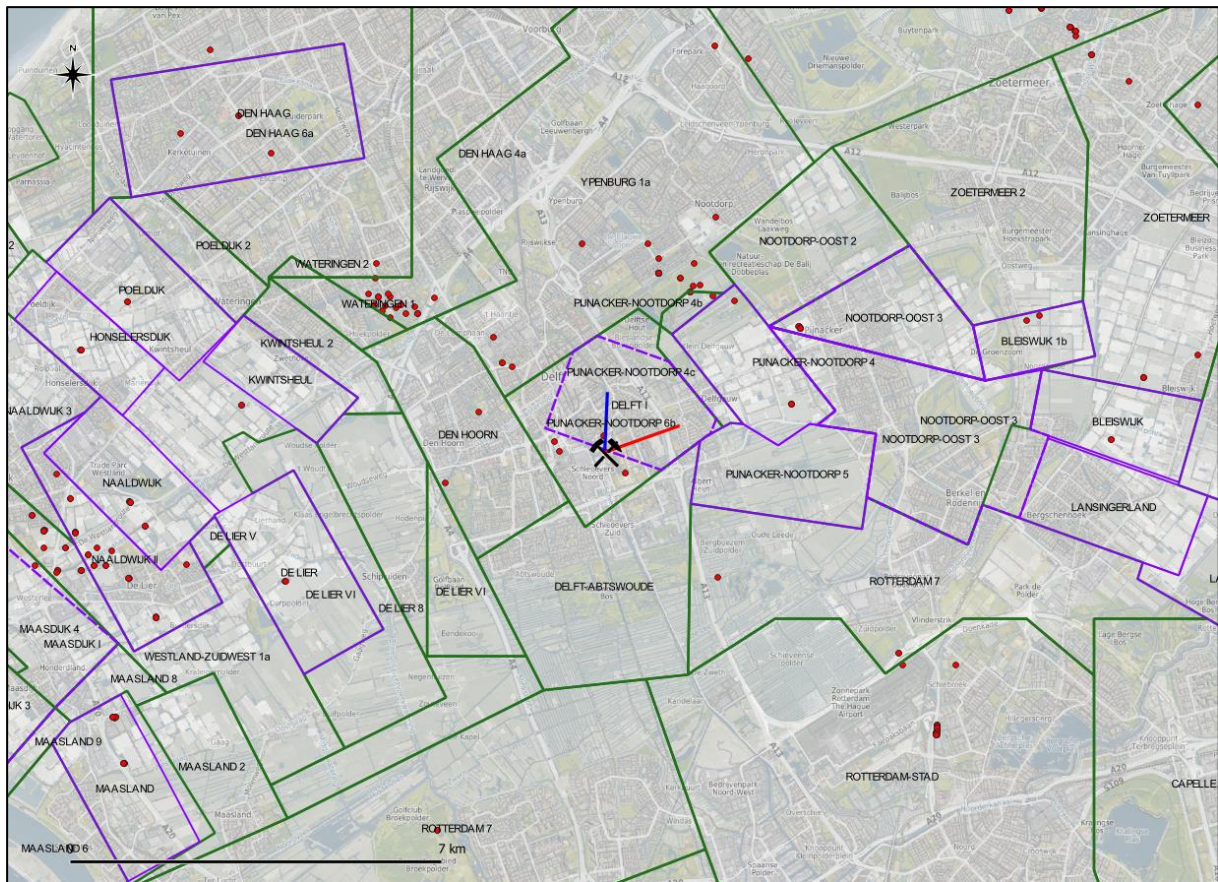
Figuur 5-3 Prognose cumulatieve energie van het DEL-GT doublet (TJ).

6. Interferentie met ander gebruik (diepe) ondergrond

Het Geothermie Delft project ligt binnen de koolwaterstof winningsvergunning 'Rijswijk' van de NAM. Er liggen vier koolwaterstofvelden in de nabijheid van Geothermie Delft (zie Figuur 6-1). Het Rijswijk veld, het Pijnacker veld en het Berkel veld zijn verlaten olievelden waar olie is geproduceerd uit de Rijswijk Zandsteen en de Berkel Zandsteen (aquifers die ondieper liggen dan de Delft Zandsteen). Oude Leede is een niet-ontwikkeld gasveld in de De Lier Member. Figuur 6-2 toont Aardwarmte opsporings- en winningsvergunningen rondom Geothermie Delft.

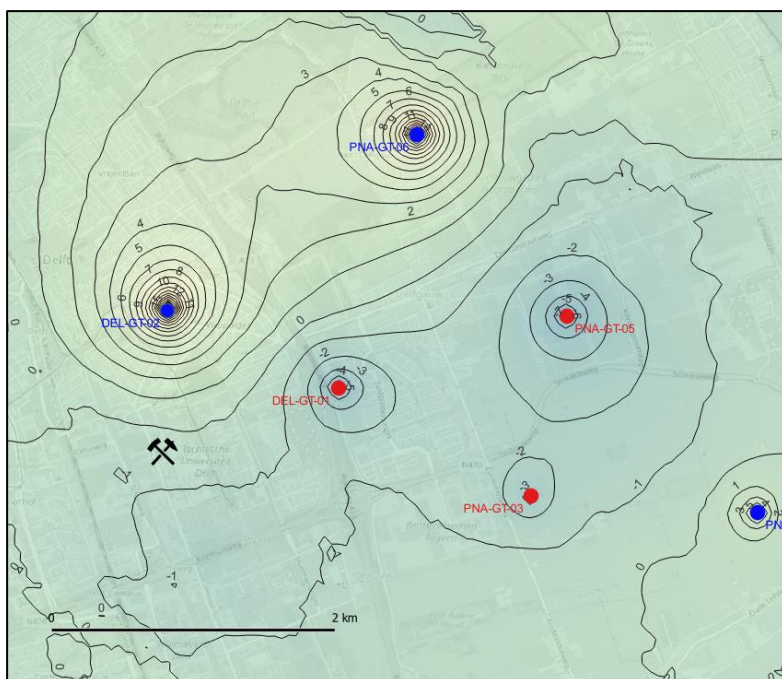


Figuur 6-1 Velden in de regio rondom Geothermie Delft. Gas = groen, Olie = rood, Olie&Gas = oranje. Het gehele kaartgebied valt onder de koolwaterstof winningsvergunning genaamd 'Rijswijk vergunning'.

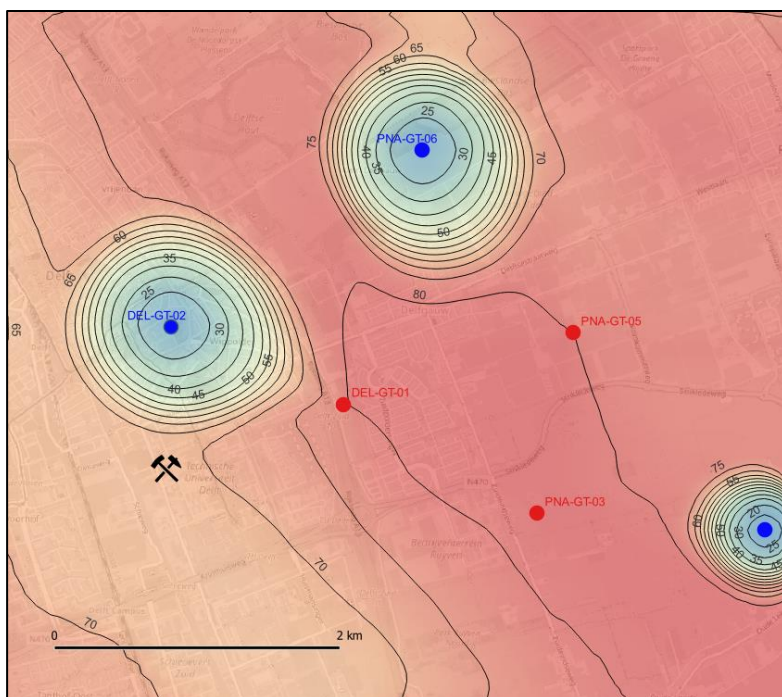


Figuur 6-2 Aardwarmte Opsporingsvergunningen (groen omlijnd) en winningsvergunningen (paars omlijnd).

In de Vrijenban syncline waar het geothermie Delft doublet in is gepland zijn reeds twee doubletten operationeel: het Ammerlaan doublet (PNA-GT-05/06) en het Duijvestijn doublet (PNA-GT-03/04). Teneinde het risico op interferentie te evalueren tussen de doubletten is een dynamische modellering uitgevoerd. Figuur 6-3 toont het drukverschil en Figuur 6-4 het temperatuurverschil na 35 jaar. Druk-technisch beïnvloeden de doubletten elkaar in lichte mate tijdens de levensduur van de projecten. Temperatuur-technisch wordt er geen doorbraak verwacht tussen de doubletten.



Figuur 6-3 Drukverschil na 35 jaar voor de drie geothermische doubletten die in de Vrijenban Syncline opereren. Injectieputten zijn weergegeven in blauw, productieputten in rood. DEL-GT-01/02: Delft doublet. PNA-GT-05/06: Ammerlaan doublet. PNA-GT-03/04: Duijvestijn doublet. Input parameters zijn gegeven in Appendix C.



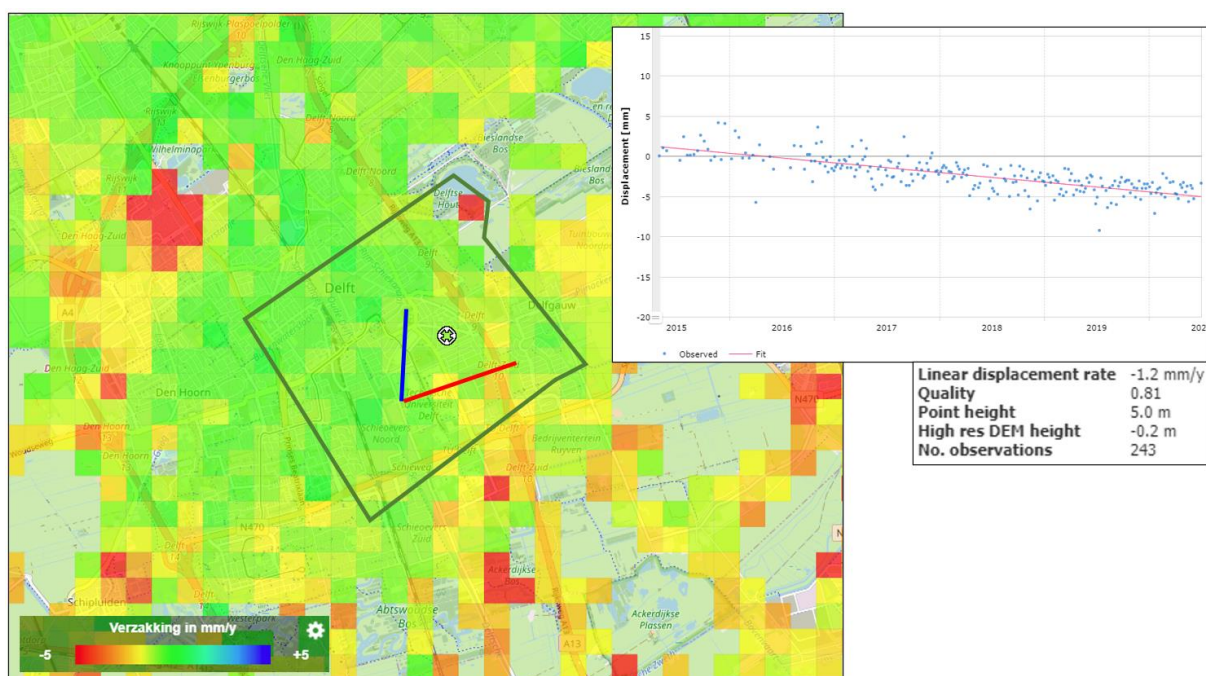
Figuur 6-4 Temperatuurverdeling na 35 jaar voor de drie geothermische doubletten die in de Vrijenban Syncline opereren. Injectieputten zijn weergegeven in blauw, productieputten in rood. DEL-GT-01/02: Delft doublet. PNA-GT-05/06: Ammerlaan doublet. PNA-GT-03/04: Duijvestijn doublet. Input parameters zijn gegeven in Appendix C.

7. Natuur en Milieu

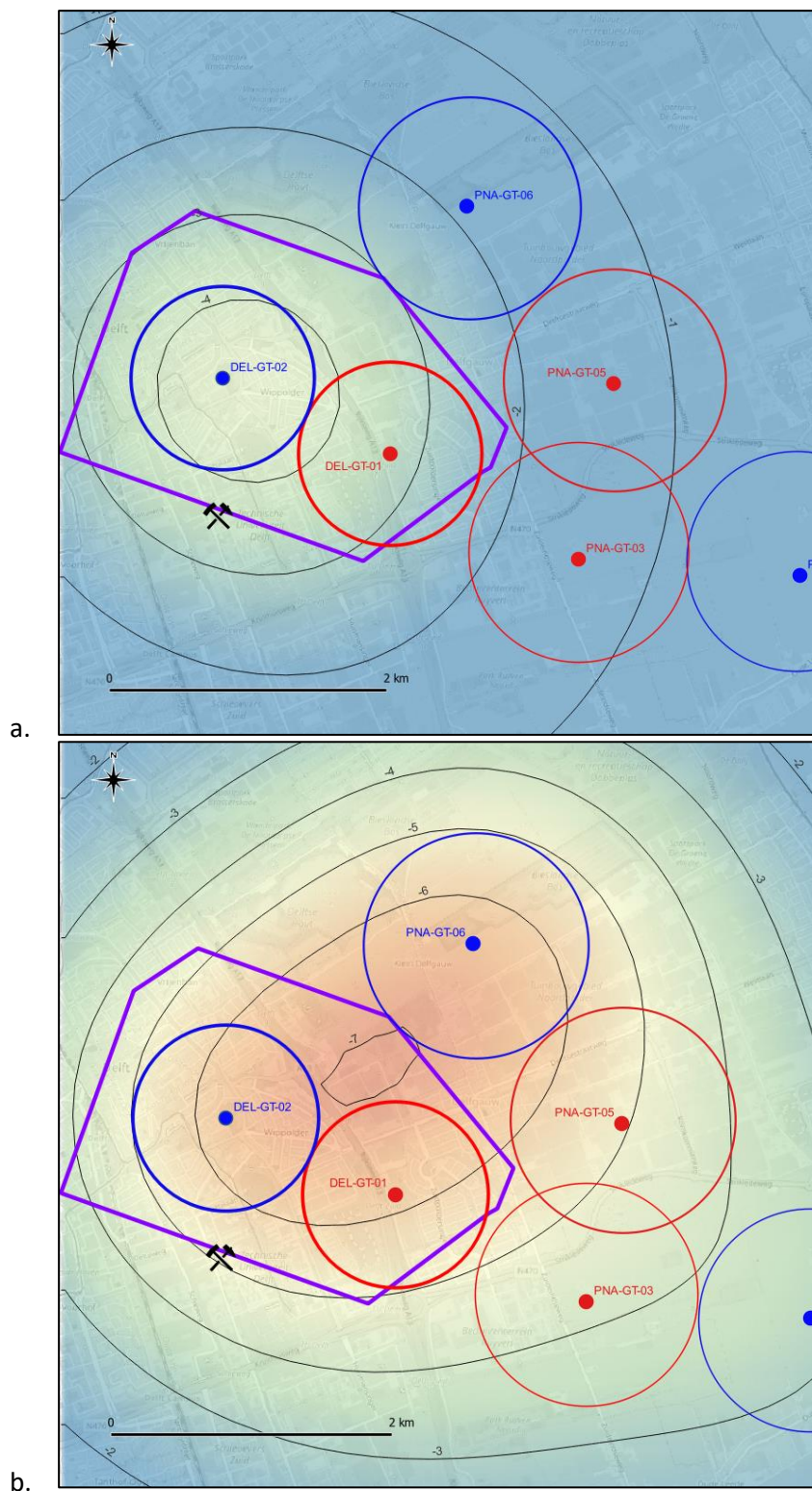
7.1. Bodemdaling of -stijging

Een indicatie van de bodemdaling ten gevolge van de winning van aardwarmte door Geothermie Delft is berekend met DoubletCalc2D. Hiervoor zijn de volgende operationele settings gebruikt; debiet van 360m³/h, uitkoeling tot 20°C, maximale 8760 vollasturen/jaar. In Figuur 7-2a staat het resultaat na 35 jaar productie in een scenario waarin alleen het DEL-GT-01&-02 doublet produceert. De maximale bodemdaling is minder dan 4 mm in 35 jaar. In Figuur 7-2b staat het resultaat wanneer 3 doubletten (DEL-GT-01&-02, PNA-GT-03&-04 en PNA-GT-05&-06) produceren gedurende 35 jaar. In dit scenario is de bodemdaling minder dan 7 mm na 35 jaar.

Deze bodemdaling is relatief klein als het vergeleken wordt met de bodemdaling die er reeds van nature plaatsvindt in het gebied (Figuur 7-1). Die daling is gesteld op -1.2 mm per jaar, dus 42 mm na 35 jaar. De bodemdaling wordt constant gemeten met behulp van InSAR en zal indien nodig geanalyseerd worden voor het geothermische project.



Figuur 7-1 Bodemdaling in het gebied van Geothermie Delft. Bron: www.bodemdalingskaart.nl.



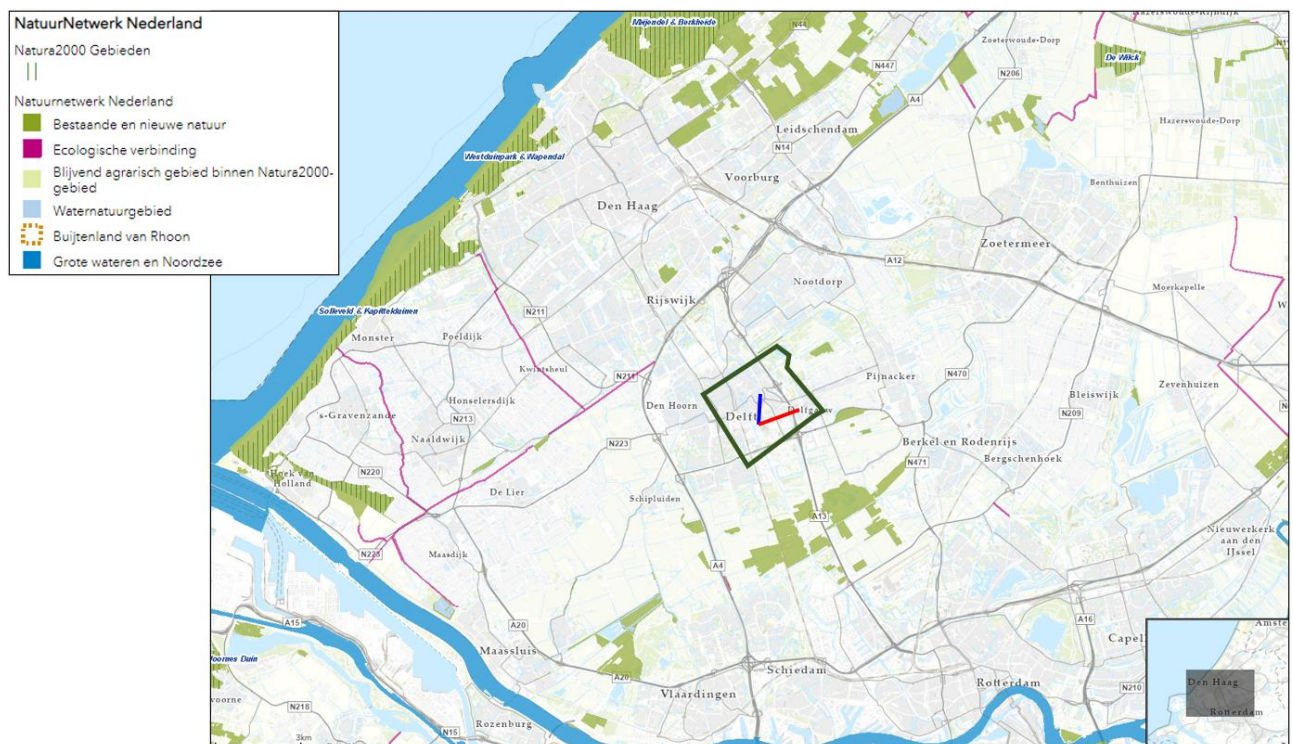
Figuur 7-2 a: Bodemdaling na 35 jaar op basis van enkel GTD productie. Maximale bodemdaling na 35 jaar ongeveer 4mm. b: Bodemdaling na 35 jaar op basis van 3 doubletten; DEL-GT-01&02, PNA-GT-03&04 en PNA-GT-05&06. Maximale bodemdaling na 35 jaar is ongeveer 7mm.

7.2. Beschermde gebieden

De inrichting Geothermie Delft is niet gelegen in een Natura 2000 gebied en /of Natuur Netwerk Nederland gebied (NNN- gebied). Dit is zichtbaar gemaakt op Figuur 7-3.

De dichtbijgelegen Natura 2000 gebieden zijn ‘Solleveld & Kapittelduinen’ met aansluitend ‘Westduinpark & Wapendal’ (11.5km ten noordwesten van het plangebied) en ‘Meijndel & Berkheide’ (12.5km ten noorden van het plangebied).

Gezien de afstand van deze gebieden tot de projectlocatie en het feit dat zoals beschreven zeer gering meetbare bodembeweging wordt voorzien ten gevolge van de aardwarmte winning worden ten aanzien van de winning van aardwarmte geen negatieve effecten op de instandhoudingsdoelstellingen van deze gebieden voorzien.



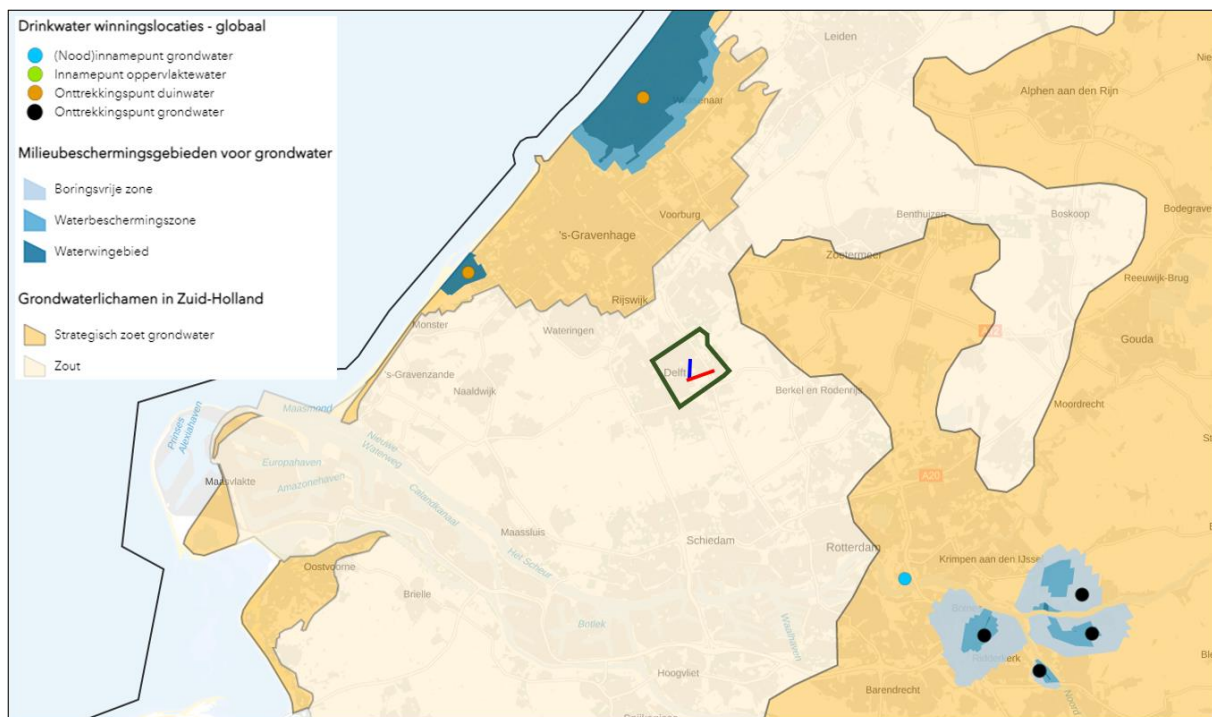
Figuur 7-3 Natuurnetwerk Nederland. Bron: pzh.maps.arcgis.com. De opsporingsvergunning Pijnacker Nootdorp 6b in groen, de geplande puttrajecten in rood (DEL-GT-01) en blauw (DEL-GT-02).

7.3. Grondwater

Figuur 7-4 laat de waterwingebieden, waterbeschermingsgebieden, boringvrije zones en strategische drinkwaterreserves zien in de regio van Geothermie Delft.

Waterwinning vindt plaats in de bovenste lagen van de Boven-Noordzee formatie, boven de grens waar het zoete grondwater overgaat tot zoutwater. Deze grens ligt meestal op ongeveer 20 tot 150 m diepte. Zout water is aanwezig in de ondergrond tot aan de basis van een sedimentair bassin (>5km in Nederland), en vaak nog dieper. De dichtstbijzijnde waterwingebieden liggen op 11.5 en 12 km afstand van de projectlocatie. Gezien deze afstand worden geen negatieve effecten voorzien t.a.v. drinkwatervoorziening.

Het gebied van de projectlocatie aangemerkt als zijnde zout (brak) grondwater gebied. Gezien de diepte waarop de aardwarmtewinning gaat plaatsvinden en gezien de diepteligging van zout (brak) grondwater wordt geen negatief effect op de kwaliteit van het strategisch zoet grondwater verwacht. Zoals beschreven wordt de putintegriteit middels verschillende controle mechanismen beheerst waarbij als basis geldt dat geen verontreiniging ten gevolge van de aardwarmtewinning mag plaatsvinden met alle willekeurige watervoerende pakketten of deze nu zoet, brak of zout van aard zijn.



Figuur 7-4 Milieubeschermingsgebieden grondwater en strategische drinkwaterreserves. Bron: pzh.maps.arcgis.com. De opsporingsvergunning Pijnacker Nootdorp 6b in groen, de geplande puttrajecten in rood (DEL-GT-01) en blauw (DEL-GT-02).

8. Bodemtrilling

8.1. Inventarisatie van gevaar op bodemtrillingen

Het geothermie systeem is gebaseerd op een productie en injectie debiet waardoor de reservoir druk constant blijft. Lokaal is er rond de productieput een drukverlaging en rond de injectieput een drukverhoging. Daarnaast kan mogelijk spanning ontstaan door afkoeling.

Het West Nederlands Bekken staat bekend om haar stabiele tektonische setting. Op de KNMI website staat geen (geïnduceerde) activiteit en dit wordt bevestigd in de papers *Pre-Neogene controls on present-day fault activity in the West Netherlands Basin and Roer Valley Rift System* (Worum et al, 2005) en *Review of induced seismicity in geothermal systems worldwide and implications for geothermal systems in the Netherlands*. *Netherlands Journal of Geosciences*, 98, E13. (Buijze et al, 2019). Ook het winnen van olie en gas in dit gebied, gedurende de afgelopen decennia, heeft niet geleid tot aardbevingen.

8.1.1. Seismische Gevaren Analyse (SHA) QuickScan

Aanvullend is gekeken naar de dreiging van seismiciteit door het project op basis van het rapport: *Defining the Framework for Seismic Hazard Assessment in Geothermal Projects V0.1* (Qcon en IF Technology, 5/10/2016). In dit document staat een stappenplan met levels beschreven waarin de risico's voor bodembeweging behorende bij aardwarmte kunnen worden ingeschat.

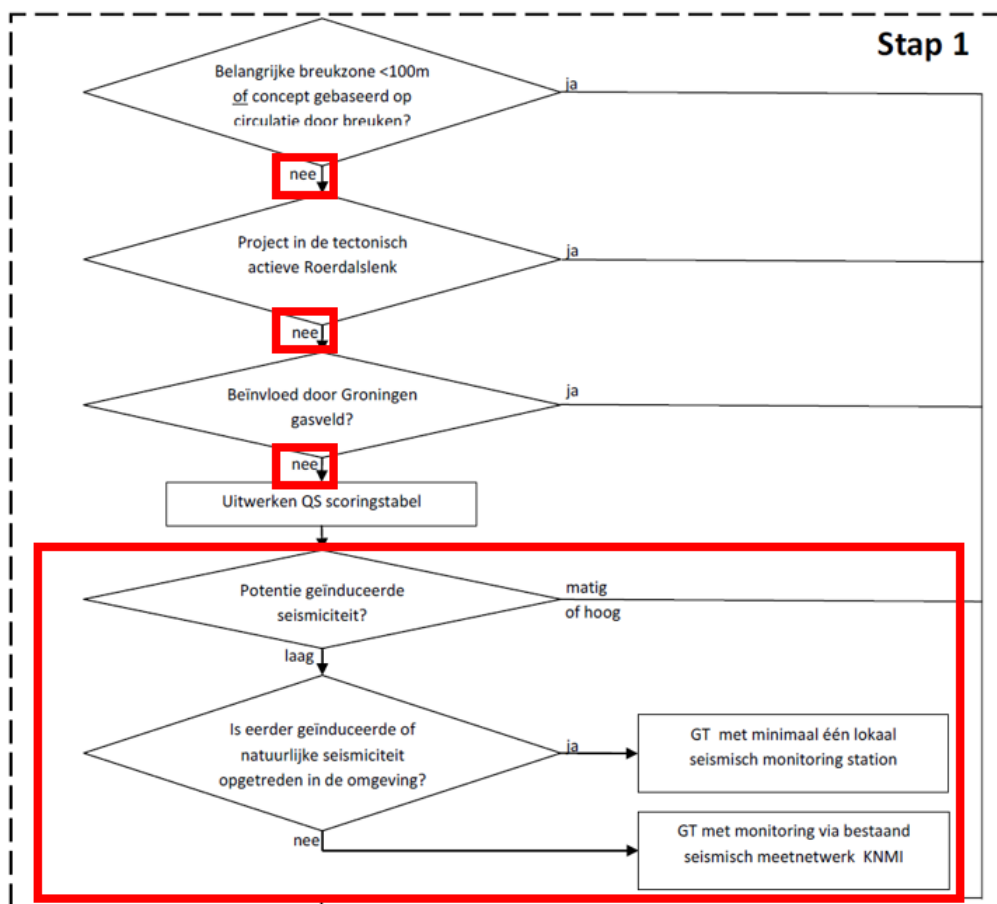
Onderdeel van Stap 1 (Figuur 8-1) is een QuickScan die is weergegeven in Figuur 8-2. Deze is uitgewerkt in Appendix B. De uitkomst van deze pre-drill SHA QuickScan is een score van 27/90 en die ligt onder de grens van 1/3. Hiermee is de dreiging van geïnduceerde seismiciteit “laag”.

8.1.2. SHA vervolgstappen

De SHA QuickScan is uitgevoerd voordat de putten geboord zijn. Zodra tijdens de boorfase additionele informatie is vergaard over de lokale geologische situatie kan deze worden meegenomen in de SHA.

Alhoewel het GTD project pre-drill op een “lage” dreiging van geïnduceerde seismiciteit uitkomt, zullen wel de maatregelen getroffen worden die bij een “matige” dreiging van geïnduceerde seismiciteit horen. Deze maatregelen worden getroffen omdat het geothermie project naast een duurzaamheidsdoelstelling tevens is opgezet voor onderzoek en innovatie. De maatregelen betreffen:

- Het GTD project zal, naast het seismische meetnetwerk van het KNMI, gebruik maken van een speciaal aangelegd lokaal seismische meetnetwerk. De seismische monitoring m.b.v. deze netwerken wordt beschreven in paragraaf 8.2.
- Voor de productiefase zal het seismische meetnetwerk gecombineerd worden met een zogenaamd Seismisch Respons Protocol (SRP) gebaseerd op de “verkeerslichtmethode” (Traffic Light System, TLS). Hierin zijn mitigerende maatregelen vastgelegd die nodig zijn als er een bepaald niveau van seismiciteit optreedt. Daarnaast is vastgesteld welke communicatie er vereist is en welke responstijden horen bij het meetsysteem. Het SRP/TLS kan (bij voldoende korte responstijd) voorkomen dat bepaalde niveaus (magnitude & frequentie) van geïnduceerde seismiciteit worden overschreden. Dit minimaliseert de impact, en beperkt (dus) het seismische risico.



Figuur 8-1: Stap 1 van de beslisboom voor Seismisch Gevaren in Geothermische Projecten (Baisch et al, 2016).

score	verbinding met kristallijnen basis	afstand [km] tot bestaande breuken	oriëntatie van de breuk in heersende stressveld	netto geïnjecteerd volume [x1.000 m ³]	drukcommunicatie tussen de putten	injectiedruk [bar]	systeemdebiet [m ³ /uur]	afstand [km] tot natuurlijke aardbevingen	afstand [km] tot geïnduceerde seismiciteit
10	ja	< 0,1	gunstig (voor bezwijken)	> 20	nee	> 70	>360	< 1	< 1
7	mogelijk	0,1-0,5	bezwijken mogelijk	5-20	niet waarschijnlijk	40-70	180-360	1-5	1-5
3	niet waarschijnlijk	0,5-1,5	bezwijken niet waarschijnlijk	0,1-5	waarschijnlijk	10-40	50-180	5-10	5-10
0	nee	> 1,5	bezwijken vrijwel onmogelijk	< 0,1	Ja	< 10	<50	> 10	> 10

Figuur 8-2: Quickscan scoringsschema uitgewerkt voor Geothermie Delft (naar Baisch et al, 2016). De uitkomst van de SHA QuickScan is een score van 27/90 en die ligt onder de grens van 1/3. Hiermee is de dreiging van geïnduceerde seismiciteit laag.

8.2. Monitoren van bodemtrillingen

Bodemtrillingen worden in Nederland gemonitord met behulp van het bestaande netwerk van KNMI (<https://www.knmi.nl/nederland-nu/seismologie/stations>). Het KNMI heeft een uitgebreid netwerk van seismometers om de seismiciteit in en rondom Nederland te meten. Het netwerk bestaat uit geofoons in boorgaten (tot 200m diepte), versnellingsmeters en "broadband" seismometers.

Geregistreerde aardbevingen worden automatisch vermeld op de website van het KNMI. Specialisten van het KNMI interpreteren de bevinggegevens en dit kan leiden tot kleine aanpassingen van de vastgestelde sterkte en/of locatie van de beving. Voor de locatiebepaling van een beving is de dichtheid en daarmee gevoeligheid van het netwerk van belang. De locatiedrempel is een maat voor de gevoeligheid van het netwerk. De drempel geeft de laagste magnitude (ML) aan van een beving waarvan de locatie nog kan worden bepaald (deze is dan door tenminste door 3 monitoringstations waargenomen). In het Zuid-Holland is recentelijk de dichtheid van het KNMI netwerk uitgebreid (Figuur 4-6). Hiermee is de locatiedrempel op 1,0 komen te liggen (ML=1,0); kleine bevingen kunnen dan worden geregistreerd en tevens met voldoende zekerheid worden gelokaliseerd.

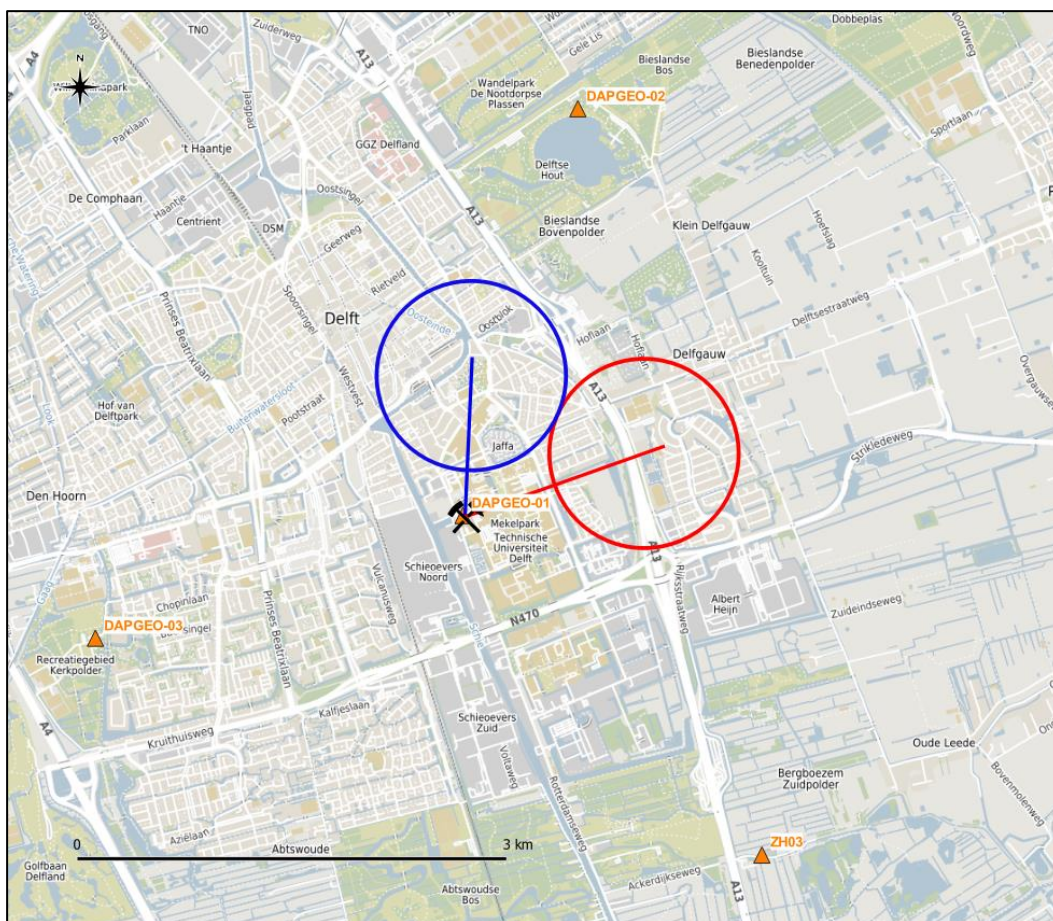
Daarnaast is er voor het GTD project een lokaal seismisch monitoringsnetwerk aangelegd specifiek voor het onderzoeksprogramma rondom het DEL-GT doublet. Dit lokale netwerk bestaat uit 4 boorgat stations (Figuur 8-3 en Tabel 8-1):

5. **DAPGEO-01:** op de GTD boorlocatie aan de Leeghwaterstraat 36, Delft. 200m diep boorgat met geofoons op 4 verschillende diepten (50-100-150-200m).
6. **DAPGEO-02:** in de Delftse Hout.
 - 200m diep boorgat met geofoons op 4 verschillende diepten (50-100-150-200m) en een versnellingsmeter aan het oppervlak.
 - 499m diep boorgat met ~12m laterale offset van 200m-diepe boorgat met geofoons op 2 verschillende dieptes (440-490m)
 - Twee 50m diepe boorgaten, ~ 100m offset van 200m-diepe boorgat, loodrecht op elkaar, met geofoon op 1 diepte (50m)
7. **DAPGEO-03:** in de Kerkpolder. 200m diep boorgat met geofoons op 4 verschillende diepten (50-100-150-200m).
8. **ZH03:** KNMI station bij de Ackerdijkse Plassen. 200m diep boorgat met geofoons op 4 verschillende diepten (50-100-150-200m) en een versnellingsmeter aan het oppervlak.

Voor het GTD project zal de seismische monitoring plaatsvinden met dit lokale netwerk in combinatie met het KNMI netwerk; hiermee zal de locatiedrempel nog lager komen te liggen ($< ML=1,0$) en de nauwkeurigheid van de seismische monitoring nog beter worden.

Tabel 8-1: Lokale seismische monitoring stations met coördinaten

Naam station	RD-X	RD-Y
DAPGEO-01	85137.89	446191.12
DAPGEO-02		
500m	85834.61	449059.00
200m	85829.24	449051.17
50m ZO bij Delftse Plas	85880.28	448967.25
50m NO overkant parkeerplaats	85904.90	449097.18
DAPGEO-03	82481.92	445314.85
ZH03	87182.00	443782.00



Figuur 8-3: Lokaal seismisch monitoring netwerk voor het DEL-GT doublet, bestaande uit 4 stations (oranje driehoeken): DAPGEO-01/02/03 en ZH03.

9. Voorziene kosten van winning

De vergunninghouder wordt gevraagd om een opgave van de jaarlijkse kosten van de winning. In Tabel 9-1 is een meerjarenbegroting gepresenteerd.

Tabel 9-1 Meerjarenbegroting Geothermie Delft.

Meerjarenbegroting GTD																			
Meerjarenbegroting GTD	<2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	
CAPEX																			
DEVEX ten tijde van FID	€ 2.500.000	€ 500.000																	
Aanleg locatie		€ 3.000.000																	
Boringen	€ 600.000	€ 12.900.000	€ 1.500.000																
Productie installaties			€ 9.200.000																
OPEX																			
Garantie en onderhoud				€ 360.000	€ 367.200	€ 374.544	€ 382.035	€ 389.676	€ 997.469	€ 417.418	€ 425.767	€ 434.282	€ 442.968	€ 1.051.827	€ 472.864	€ 482.321	€ 491.967	€ 501.807	
Netbeheer				€ 20.000	€ 20.400	€ 20.808	€ 21.224	€ 21.649	€ 22.082	€ 22.523	€ 22.974	€ 23.433	€ 23.902	€ 24.380	€ 24.867	€ 25.365	€ 25.872	€ 26.390	
Personeelskosten en administratiekosten			€ 50.000	€ 240.000	€ 244.800	€ 249.696	€ 254.690	€ 259.784	€ 264.979	€ 270.279	€ 275.685	€ 281.198	€ 286.822	€ 292.559	€ 298.410	€ 304.378	€ 310.466	€ 316.675	
Administratiekosten			€ 25.000	€ 25.000	€ 25.500	€ 26.010	€ 26.530	€ 27.061	€ 27.602	€ 28.154	€ 28.717	€ 29.291	€ 29.877	€ 30.475	€ 31.084	€ 31.706	€ 32.340	€ 32.987	
Kosten elektriciteitsverbruik van de productieinstallatie				€ 545.288	€ 556.194	€ 567.318	€ 578.664	€ 590.237	€ 602.042	€ 614.083	€ 626.365	€ 638.892	€ 651.670	€ 664.703	€ 677.997	€ 691.557	€ 705.388	€ 719.496	
Opstalvergoeding			€ 10.000	€ 30.000	€ 30.600	€ 31.212	€ 31.836	€ 32.473	€ 33.122	€ 33.785	€ 34.461	€ 35.150	€ 35.853	€ 36.570	€ 37.301	€ 38.047	€ 38.808	€ 39.584	
Monitoringssysteem/telefoon			€ 25.000	€ 25.000	€ 25.500	€ 26.010	€ 26.530	€ 27.061	€ 27.602	€ 28.154	€ 28.717	€ 29.291	€ 29.877	€ 30.475	€ 31.084	€ 31.706	€ 32.340	€ 32.987	
Onroerende zaakbelasting				€ 25.000	€ 25.500	€ 26.010	€ 26.530	€ 27.061	€ 27.602	€ 28.154	€ 28.717	€ 29.291	€ 29.877	€ 30.475	€ 31.084	€ 31.706	€ 32.340	€ 32.987	
Verzekeringen			€ 60.000	€ 60.000	€ 61.200	€ 62.424	€ 63.672	€ 64.946	€ 66.245	€ 67.570	€ 68.921	€ 70.300	€ 71.706	€ 73.140	€ 74.602	€ 76.095	€ 77.616	€ 79.169	
Reservedelen			€ 75.000	€ 75.000	€ 76.500	€ 78.030	€ 79.591	€ 81.182	€ 82.806	€ 84.462	€ 86.151	€ 87.874	€ 89.632	€ 91.425	€ 93.253	€ 95.118	€ 97.020	€ 98.961	
Afvoerkosten (voor bijvoorbeeld afval)				€ 25.000	€ 25.500	€ 26.010	€ 26.530	€ 27.061	€ 27.602	€ 28.154	€ 28.717	€ 29.291	€ 29.877	€ 30.475	€ 31.084	€ 31.706	€ 32.340	€ 32.987	
Onvoorzien			€ 50.000	€ 100.000	€ 102.000	€ 104.040	€ 106.121	€ 108.243	€ 110.408	€ 112.616	€ 114.869	€ 117.166	€ 119.509	€ 121.899	€ 124.337	€ 126.824	€ 129.361	€ 131.948	
Overige kosten			€ 50.000	€ 150.000	€ 153.000	€ 156.060	€ 159.182	€ 162.364	€ 165.612	€ 168.924	€ 172.302	€ 175.748	€ 179.264	€ 182.850	€ 186.506	€ 190.236	€ 194.040	€ 197.922	
Totaal	€ 3.100.000	€ 16.400.000	€ 11.045.000	€ 1.680.288	€ 1.713.894	€ 1.748.172	€ 1.783.135	€ 1.818.798	€ 2.455.173	€ 1.904.276	€ 1.942.363	€ 1.981.207	€ 2.020.834	€ 2.661.253	€ 2.114.473	€ 2.156.765	€ 2.199.898	€ 2.243.900	

10. Verklarende woordenlijst en afkortingen

- Abandonnering Verwijderen inrichting na afloop winningsperiode
- Aquifer Watervoerende lag waaruit de Aardwarmte wordt gewonnen
- Casing Mantelbuis geplaatst in boorgat
- Conductiviteit Eigenschap om elektrische stroom te geleiden
- m tvBRT Meter true vertical Below Rotary Tabel (afstand in meters onder boorvloer, verticaal gemeten)
- Scaling Afzetting op de binnenwand van verbuizingen

Afkorting

BHP	Bottom Hole Pressure
DAP	Delft Aardwarmte Project
DEL-GT	Delft-Geothermie; putnaam, gevolgd door nummer
EOB	End Of Build
ESP	Electrical Submersible Pump (elektrische dompelpomp)
EZK	Economische Zaken en Klimaat
GTD	Geothermie Delft B.V.
hs	hydrostatic
ISIP	Instantaneous Shut In Pressure
KOP	Kick Off Point
MD	Measured Depth
NAM	Nederlandse Aardolie Maatschappij
NNN	Natuurnetwerk Nederland
NWRP	Near Wellbore Reservoir Pressure
OWD	Open Warmtenet Delft
PJ	Petajoule
PNA-GT	Pijnacker-Geothermie; putnaam, gevolgd door nummer
Q	Flow rate
RD	Rijksdriehoekstelsel
RP	Reservoir Pressure
SHA	Seismic Hazard Analysis
TD	Total Depth
THP	Tubing Head Pressure; de druk bovenaan het boorgat
TU	Technische Universiteit
TVD	True Vertical Depth
WIMP	Well Integrity Management Plan
WIMS	Well Integrity Management System
WKC	Warmtekrachtcentrale
WWS	Wire Wrapped Screen
ΔP	Pressure difference

11. Referenties

- ❖ Abercrombie, R.E. (1995), Earthquake source scaling relationships from -1 to 5 MI using seismograms recorded at 2.5 km depth, J. Geophys. Res. 100.
- ❖ Buijze et al, 2019. Review of induced seismicity in geothermal systems worldwide and implications for geothermal systems in the Netherlands. Netherlands Journal of Geosciences, 98, E13.
- ❖ Buijze et al, 2021. Quantification of induced seismicity potential of geothermal operations.
- ❖ Geluk et al, 2007. Pre-Silesian, Geology of The Netherlands
- ❖ Hanks, T., and H. Kanamori (1979), Moment magnitude scale, J. Geophys. Res. 84, 2348-2350.
- ❖ Kanamori, H. (2001), Energy budget of earthquakes and seismic efficiency, in Earthquake Thermodynamics and Phase Transformations in the Earth's Interior, edited by R. Teisseyre, pp.293-305, Academic, Wlatham, Mass.
- ❖ Muntendam-Bos, A.G. et al. (2008), Bergermeer Seismicity Study, TNO Report 2008-UR1071/B, 6 November 2008.
- ❖ SodM en TNO, 2013. Protocol bepaling maximale injectiedrukken bij aardwarmtewinning – versie 2.
- ❖ SodM, 26 november 2020. Brief aan Ministerie van Economische Zaken en Klimaat betreffende 'Toezichtsignaal Integriteit van het geothermisch reservoir en de afsluitende lagen'. Bijlage 1: Protocol ter bepaling maximale injectiedrukken bij aardwarmtewinning – versie 3.
- ❖ SodM, 2016. [Methodiek voor risicoanalyse omtrent geïnduceerde bevingen door gaswinning.](#)
- ❖ TNO, 2012. DoubletCalc 1.4 handleiding.
- ❖ TNO, 2014. Handleiding geomechanische tool voor breukreactivatie en fracken bij aardwarmtewinning.
- ❖ Worum et al, 2005. Pre-Neogene controls on present-day fault activity in the West Netherlands Basin and Roer Valley Rift System.

12. Bijlagen

Bijlage 1 Geothermie Delft – Geologische evaluatie t.b.v. Geothermie Delft doublet SDE++2020.

Bijlage 2 Procesbeschrijving aardwarmte productie GTD

Bijlage 3 Akte van oprichting GeoThermie Delft B.V.

Appendix A: Maximale injectiedruk

Voor de berekening van de maximale injectiedruk wordt voorlopig (pre-drill en pre-evaluatie) het SodM protocol gebruikt. Omdat er door het pompen van de injectievloeistof door de verbuizing dynamische drukverliezen optreden en hier geen rekening mee wordt gehouden in het SodM protocol, worden deze dynamische drukverliezen na de berekening volgens SodM protocol ook meegenomen in de bepaling van de uiteindelijke maximale injectiedruk.

De maximale Tubing Head Pressure van injectieput DEL-GT-02-I is berekend aan de hand van de statische en dynamische drukval en de maximaal toegestane Bottom Hole Pressure. De maximale injectiedruk wordt eerst bepaald volgens het SodM protocol, waarin de maximale Tubing Head Pressure wordt berekend aan de hand van enkel de statische drukval en de maximaal toegestane Bottom Hole Pressure. Vervolgens worden ook de dynamische drukverliezen berekend, waarmee de uiteindelijke maximale Tubing Head Pressure is bepaald. De maximale injectiedruk wordt berekend op basis van de parameters in Tabel A-1.

Tabel A-1: Parameters voor berekening maximale injectiedruk

	Parameter	Waarde
Vloeistofeigenschappen	Zoutgehalte	130.000 ppm
	Injectietemperatuur	20 °C
	Dichtheid	1094 kg/m ³
	Viscositeit	1,270 mPa/s
Puteigenschappen	Absolute ruwheid casing	0,07 mm

Maximale injectiedruk volgens SodM protocol (SodM, 2013)

De maximale injectiedruk volgens SodM protocol (2013) is als volgt berekend:

$$\text{➤ THPmax [bar]} = \text{Depth top reservoir} \times (0,135 - [\text{gradient injection water}])$$

$$\text{Depth top reservoir (TVD)} = 1957\text{m}$$

$$\text{Gradient injection water} = 1,094 \times 0,0981 = 0,107 \text{ bar/m}$$

$$\text{➤ THPmax [bar]} = 1957 \times (0,135 - [0,107]) = 54,8 \text{ bar}$$

Dit is de statische maximale THP.

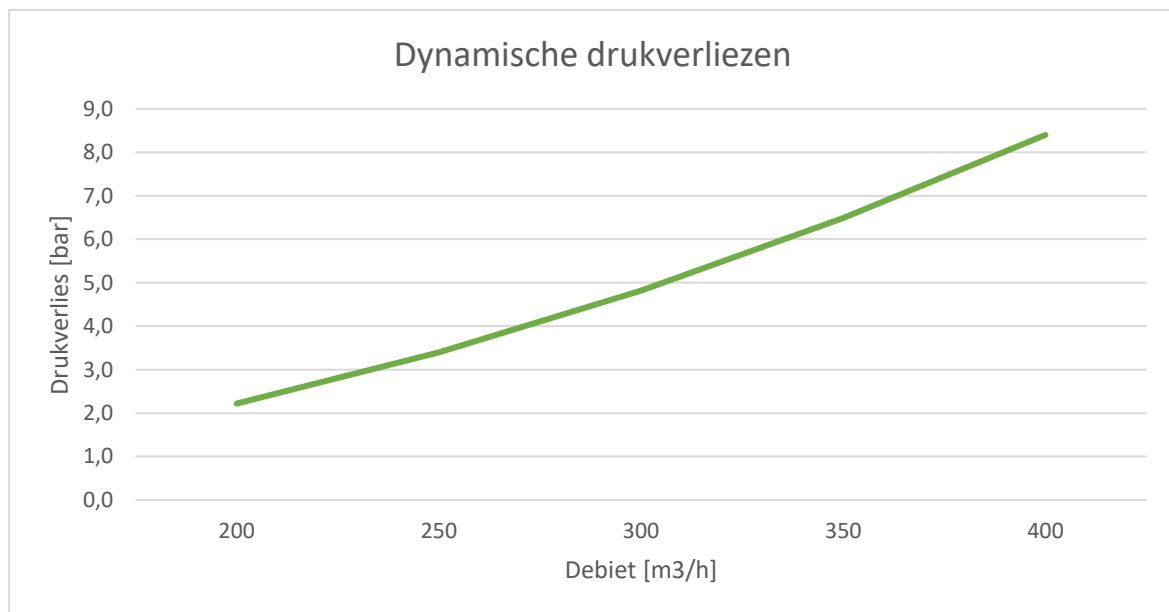
Dynamische drukval

In het SodM protocol wordt rekening gehouden met statische drukverliezen aan de hand van de hydrostatische gradiënt, maar wordt geen rekening gehouden met de dynamische drukverliezen.

De dynamische drukverliezen zijn berekend aan de hand van de Darcy-Weisbach vergelijking. De frictiefactor die in deze vergelijking gebruikt wordt is berekend aan de hand van de Colebrook-White vergelijking. De uitkomst van de frictieberekening is te zien in Figuur A-1. Bij de berekening zijn de parameters in Tabel A-1 en de Well schematics in Figuur 4-2 gebruikt.

Slecht kwantificeerbare onderdelen zijn niet meegenomen. De berekende dynamische drukverliezen zijn daarom naar alle waarschijnlijkheid een onderschatting van de werkelijkheid. Niet opgenomen putonderdelen zijn onder andere:

- Flowline tussen drukmeter wellhead (incl. bochtstukken)
- Wellhead (inclusief vernauwingen)
- Liner hangers (extra drukverlies door verandering van diameter)
- Packer profiel (extra drukverlies door verandering van diameter)
- Perforaties (extra drukverlies door oneffenheden van naar binnen staande bramen)



Figuur A-1: Dynamisch drukverliezen

Maximale dynamische THP

Wanneer de dynamische drukverliezen worden meegenomen in de berekening van de maximale Tubing Head Pressure, kunnen deze worden opgeteld bij de maximaal toegestane Tubing Head Pressure bepaald volgens SodM protocol. Bijvoorbeeld: Bij het debiet van 360 m³/h, is de maximale tubing head pressure 54,8 + 8,4 = 63,2 bar. De variabele maximale Tubing Head Pressure uitgaande van het standaard protocol en berekende frictie is weergegeven in Tabel A-2.

Tabel A-2: Injectiedruk protocol SodM (2013) inclusief frictieverliezen.

Maximale THP SodM protocol (2013)					
Statische THP _{max} [bar]	54,8				
Debietsafhankelijk frictieverlies					
	Debiet [m ³ /h]				
	0-200	200-250	250-300	300-350	350-400
Frictie verlies [bar]	2,2	3,4	4,8	6,5	8,4
Dynamische THP _{max} [bar]	57,0	58,2	59,6	61,3	63,2

Maximale dynamische THP inclusief temperatuureffect-correctie (SodM 2020)

In een Toezichtsignaal Integriteit van het geothermisch reservoir en de afsluitende lagen (SodM 2020) geeft SodM aan dat er naast het conservatieve injectiedrukprotocol van SodM uit 2013 ook een additionele correctie toegepast zou moeten worden indien er meer dan 40°C uitkoeling plaats zal vinden. De rekenmethode staat in Figuur A-2. Als deze rekenmethode toegepast wordt op de dynamische maximale THP in Tabel A-2, dan resulteert dat in de maximale debietsafhankelijke en injectietemperatuurafhankelijke THPs in Tabel A-3. Na de boring zal er op basis van de resultaten een geomechanische studie uitgevoerd worden om de maximale THP nader te bepalen.

De maximale injectiedruk, de maximale Tubing Head Pressure (THP) op de injectieput is:	
$THP_{max} = TVD * (0,135 - dP) - \text{temperatuureffect [bar]}$	
Waarbij:	
TVD	Verticale diepte van de injectieput, gemeten vanaf het maaiveld tot de top van het reservoir (gemeten in meters, TVD)
dP	Hydrostatische druk gradiënt van het lokale injectiewater als functie van het zoutgehalte (gemeten in bar/m)
0,135 bar/m	Deze constante waarde is gebaseerd op een conservatieve waarde voor de kleinste horizontale gesteentespanning.
Temperatuureffect	Indien de uitkoeling groter is dan 40 graden Celsius geldt voor elke graad extra uitkoeling, één bar temperatuureffect. Is de uitkoeling minder dan 40 graden Celsius dan vervalt deze term. = (dT – 40), waarbij dT de mate van uitkoeling is in graden Celsius.

Figuur A-2: Rekenmethode uit Toezichtsignaal Integriteit van het geothermisch reservoir en de afsluitende lagen, SodM 2020.

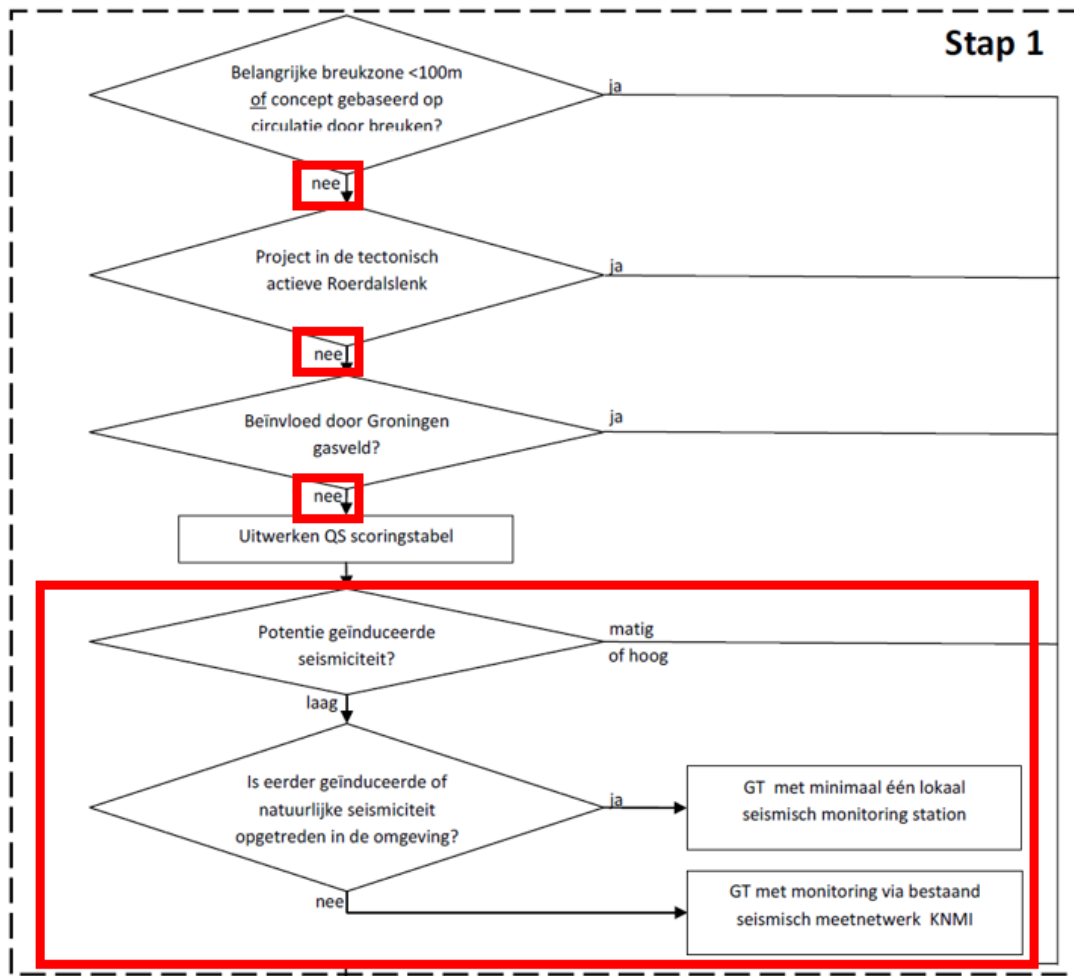
Tabel A-3: Injectiedruk (THP) inclusief frictieverliezen en injectietemperatuurcorrectie (SodM, 2020).

Maximale THP SodM protocol (SodM, 2013)					
THPmax [bar]	54,8				
Debietsafhankelijk frictieverlies					
	Debiet [m3/h]				
	0-200	200-250	250-300	300-350	350-400
Frictie verlies [bar]	2,2	3,4	4,8	6,5	8,4
Maximale debietsafhankelijke temperatuur-afhankelijke injectiedruk (THP) (SodM, 2020)					
Gebaseerd op reservoirtemperatuur bij injector van 72°C					
THPmax [bar]	Debiet [m3/h]				
Minimale injectie temperatuur (°C)	0-200	200-250	250-300	300-350	350-400
32	57,0	58,2	59,6	61,3	63,2
31	56,0	57,2	58,6	60,3	62,2
30	55,0	56,2	57,6	59,3	61,2
29	54,0	55,2	56,6	58,3	60,2
28	53,0	54,2	55,6	57,3	59,2
27	52,0	53,2	54,6	56,3	58,2
26	51,0	52,2	53,6	55,3	57,2
25	50,0	51,2	52,6	54,3	56,2
24	49,0	50,2	51,6	53,3	55,2
23	48,0	49,2	50,6	52,3	54,2
22	47,0	48,2	49,6	51,3	53,2
21	46,0	47,2	48,6	50,3	52,2
20	45,0	46,2	47,6	49,3	51,2

Appendix B: Seismische Gevaren Analyse

Een Seismische Gevaren Analyse (Seismic Hazard Assessment, SHA) is uitgevoerd op basis van het rapport: *Defining the Framework for Seismic Hazard Assessment in Geothermal Projects V0.1 (Qcon en IF Technology, 5/10/2016)*. In dit document staat een stappenplan met levels beschreven waarin de risico's voor bodembeweging en bijbehorende bij aardwarmte kunnen worden ingeschat.

Onderdeel van Stap 1 (Figuur B-1) is een QuickScan die is weergegeven in Figuur B-2. De uitkomst van deze pre-drill SHA QuickScan is een score van 27/90 en die ligt onder de grens van 1/3. Hiermee is de dreiging van geïnduceerde seismiciteit "laag".



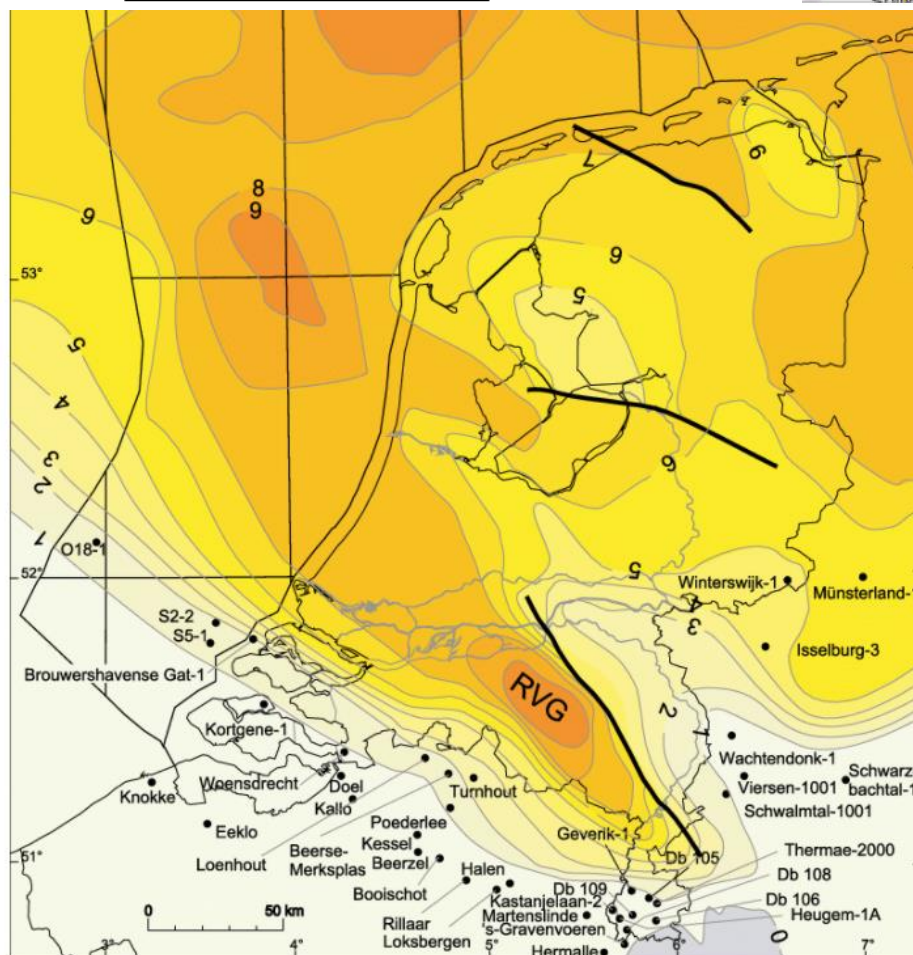
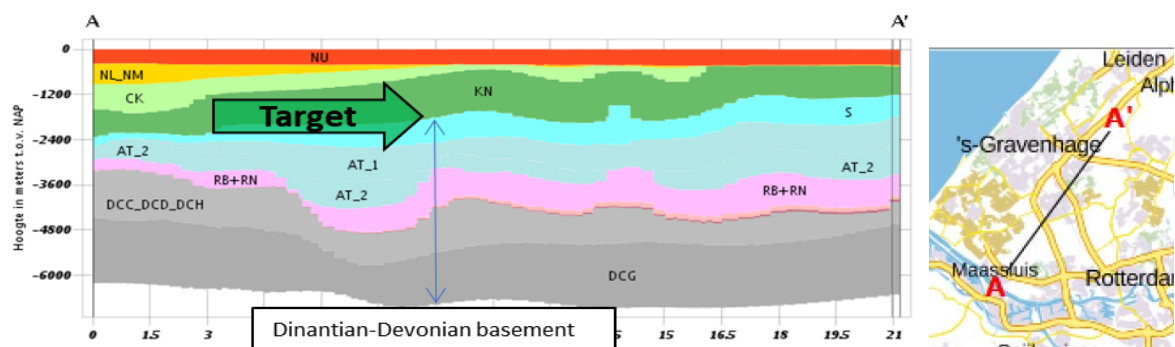
Figuur B-1 Stap 1 van de beslisboom voor Seismisch Risico in Geothermische Projecten (Baisch et al, 2016).

score	verbinding met kristallijnen basis	afstand [km] tot bestaande breuken	oriëntatie van de breuk in heersende stressveld	netto geïnjecteerd volume [x1.000 m ³]	drukcommunicatie tussen de putten	injectiedruk [bar]	systeemdebiet [m ³ /uur]	afstand [km] tot natuurlijke aardbevingen	afstand [km] tot geïnduceerde seismiteit
10	ja	< 0,1	gunstig (voor bezwijken)	> 20	nee	> 70	>360	< 1	< 1
7	mogelijk	0,1-0,5	bezwijken mogelijk	5-20	niet waarschijnlijk	40-70	180-360	1-5	1-5
3	niet waarschijnlijk	0,5-1,5	bezwijken niet waarschijnlijk	0,1-5	waarschijnlijk	10-40	50-180	5-10	5-10
0	nee	> 1,5	bezwijken vrijwel onmogelijk	< 0,1	Ja	< 10	<50	> 10	> 10

Figuur B-2 Quickscan scoringschema uitgewerkt voor Geothermie Delft (naar Baisch et al, 2016). De uitkomst van de SRA QuickScan is een score van 27/90 en die ligt onder de grens van 1/3. Hiermee is de potentie van geïnduceerde seismiteit laag.

Verbinding met kristallijnen basis

Er is geen verbinding met kristallijnen basement. Het basement ligt op meer dan 7 km diepte, hetgeen 5 km dieper is dan het doel-aquifer voor Geothermie Delft (Figuur B-3). Op basis hiervan wordt een **SCORE: 0** gegeven (Figuur B-2).



Schematic depth map in kilometres of the top of the pre-Silesian. For the southern Netherlands and adjacent parts of Belgium and Germany, maps of Bless et al. (1976), Legrand (1968) and NITG (2001) have been used. In other areas, the top of the pre-Silesian has been constructed by adding regional isopachs of the Silesian (Van Buggenum & Den Hartog Jager, this volume) to the depth of the base Permian surface (Lokhorst, 1998). The map further gives an overview of wells which encountered the pre-Silesian. RVG: Roer Valley Graben.

Figuur B-3 Boven: Geologische doorsnede. Onder: Schematische dieptekaart in kilometers van de top van het pre-Silesian (Geluk et al, 2007).

Afstand (km) tot bestaande breuken

De afstand tot bestaande breuken staat weergegeven in Figuur B-4. De breuken zijn weergegeven op Top Delft Zandsteen niveau.

De grootste breuk in de buurt van het doublet is de randbreuk die de Vrijenban syncline scheidt van het Rijswijk Hoog. Deze breuk is over een lange afstand te vervolgen en heeft op plaatsen een groot verzet. Het verzet op aquifer niveau is ter hoogte van het Geothermie Delft doublet echter gering. De afstanden van het Top Delft doorprikpunt tot deze randbreuk (oranje gestreepte lijn) zijn:

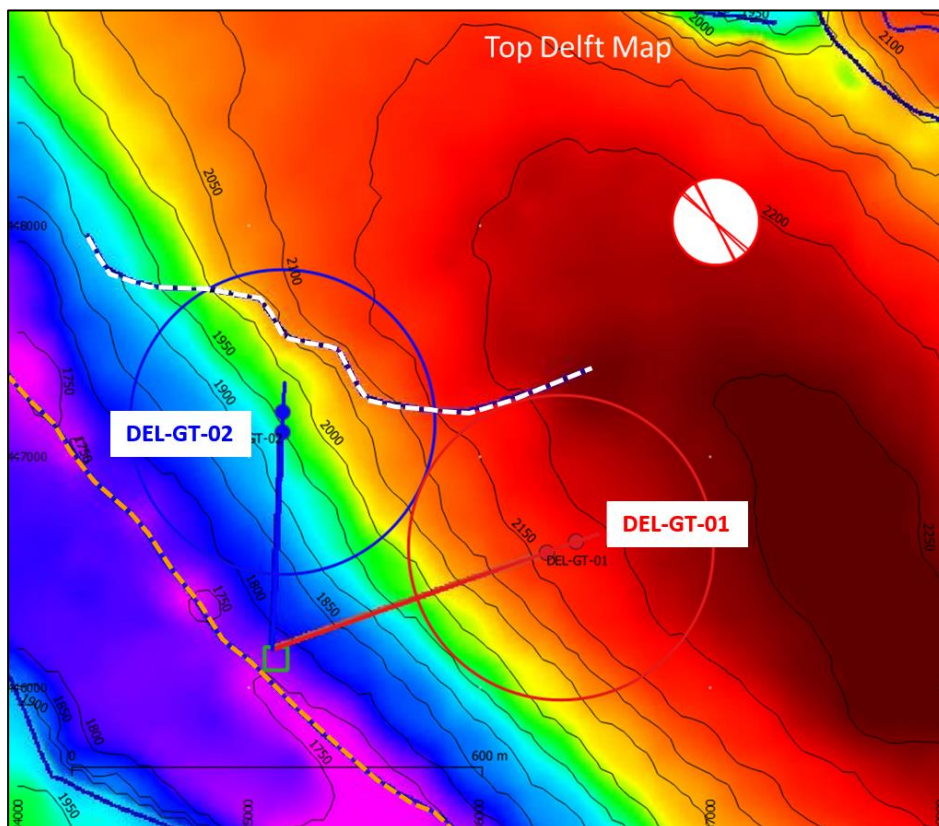
- DEL-GT-01: ± 1.225 m
- DEL-GT-02: ± 730 m

Ten noorden van de injector is een secundaire breuk geïdentificeerd met een klein verzet. Dit verzet is vele malen kleiner dan de dikte van het reservoir, waardoor er reservoir-reservoir juxtapositie te verwachten mag zijn. Deze breuk is niet over een lange afstand te vervolgen. De afstanden tot deze Secundaire breuk (wit gestreepte lijn) zijn:

- DEL-GT-01: ± 680 m
- DEL-GT-02: ± 375 m

De afstand tot deze breuken is op Basis Delft niveau groter dan bovenstaande getallen. Dit heeft te maken met de diprichting van de breuken en de azimuth van de geplande putten. Het (zeer geringe) verzet langs de breuken is ook zichtbaar op de kaart in Figuur 4-10 en de seismische doorsneden in Figuur 4-12 en Figuur 4-13.

Op basis van de bovenstaande afstanden wordt een **SCORE: 7** gegeven (Figuur B-2).



Figuur B-4 Diepte van top Delft Zandsteen, inclusief breukinterpretatie. Oranje stippellijn = de randbreuk van het Rijswijk Hoog, witte stippellijn = secundaire breuk bij injector. Witte cirkel met rode lijnen: regionaal gemeten oriëntaties van SHmax.

Oriëntatie van de breuk in heersende stressveld

Regionale stress metingen duiden op een NW-ZO georiënteerde maximale horizontale stress (Figuur B-5). In een strike-slip stress regime geldt dat breuken parallel aan S_{Hmax} (maximale horizontale stress) het meest waarschijnlijk worden gereactiveerd, en breuken loodrecht op S_{Hmax} het minst waarschijnlijk. Figuur B-6 toont de oriëntatie van het lokale stressveld ten opzichte van de oriëntatie van de breuken. Voor de gemiddelde oriëntatie van de meest dichtbijgelegen secundaire breuk geldt “bezwijken mogelijk”. Voor de gemiddelde oriëntatie van de verder gelegen grote randbreuk geldt “gunstig voor bezwijken”.

Aanvullende informatie kan gevonden worden in de richting van extensie tijdens het Neogeen (Figuur B-6). Deze kaart toont actieve breuken in het quartair (doorgetrokken zwarte lijnen; zie legenda inzet). Er bevinden zich geen actieve breuken in de buurt van de projectlocatie. Het West Nederlands Bekken toont geen geomorfe indicaties voor breuk activiteit. De uniforme Neogene-Quartaire bodemdaling gaat niet gepaard met breukvorming. Het West Nederlands Bekken is seismisch inactief. Dit wordt bevestigd door het feit dat ondanks een decennialange geschiedenis van olie- en gaswinning er geen geïnduceerde seismiciteit gemeten is. Op basis hiervan zou de conclusie getrokken kunnen worden dat *bezwijken niet waarschijnlijk is*.

Toch wordt, puur op basis van de oriëntatie van de breuk in het heersende stressveld, in de QuickScan een **SCORE: 10** gegeven in Figuur B-2, passend bij de gradatie ‘gunstig voor bezwijken’.



Figuur B-5 World Stress Map, Heidbach, Oliver; Rajabi, Mojtaba; Reiter, Karsten; Ziegler, Moritz; WSM Team (2016): World Stress Map Database Release 2016. GFZ Data Services. [doi:10.5880/WSM.2016.001](https://doi.org/10.5880/WSM.2016.001).

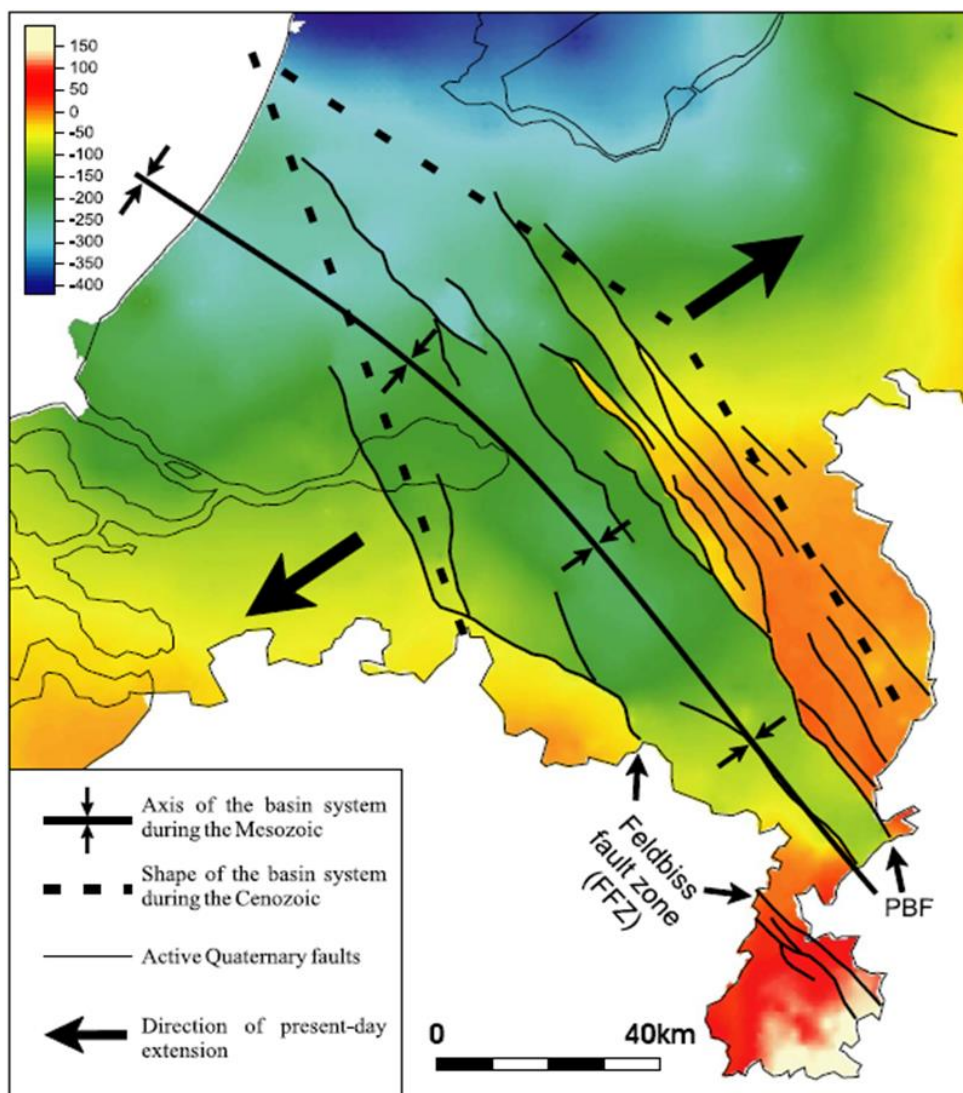


Fig. 5. Depth map of the base Quaternary horizon. Active Quaternary faults are indicated (PBF).

Figuur B-6 De richting van extensie tijdens het Neogeen (Worum et al, 2005). De kleurenschaal duidt de dikte van het Kwartair. Actieve Mio-Pliocene breuken zijn weergegeven in zwart.

Netto geïnjecteerd volume (x 1.000 m³)

Het volledige geproduceerde watervolume wordt ook weer geïnjecteerd. Op basis hiervan wordt een **SCORE: 0** gegeven in Figuur B-2.

Drukcommunicatie tussen de putten

Productie en injectie vinden beiden plaats uit en in Delft Zandsteen. Op de 3D seismiek zijn er geen breuken geïnterpreteerd tussen de producer en de injector en wordt er drukcommunicatie verwacht tussen de twee putten. Daarmee wordt de **SCORE: 0** in Figuur B-2.

Puttesten zullen uiteindelijk deze drukcommunicatie moeten bevestigen. Het geothermisch doublet kan/zal alleen opereren als er drukcommunicatie tussen de productieput en injectieput bestaat.

Injectiedruk (bar)

Het drukverschil op reservoir niveau tussen de Near Well Reservoir Pressure en de Reservoir Pressure is berekend op ongeveer 32 bar voor een debiet van 360m³/h. De score die bij deze drukken hoort is **SCORE: 3** in Figuur B-2.

Puttesten zullen uiteindelijk deze injectiedruk op reservoirniveau moeten bevestigen.

Systeemdebiet (m³/h)

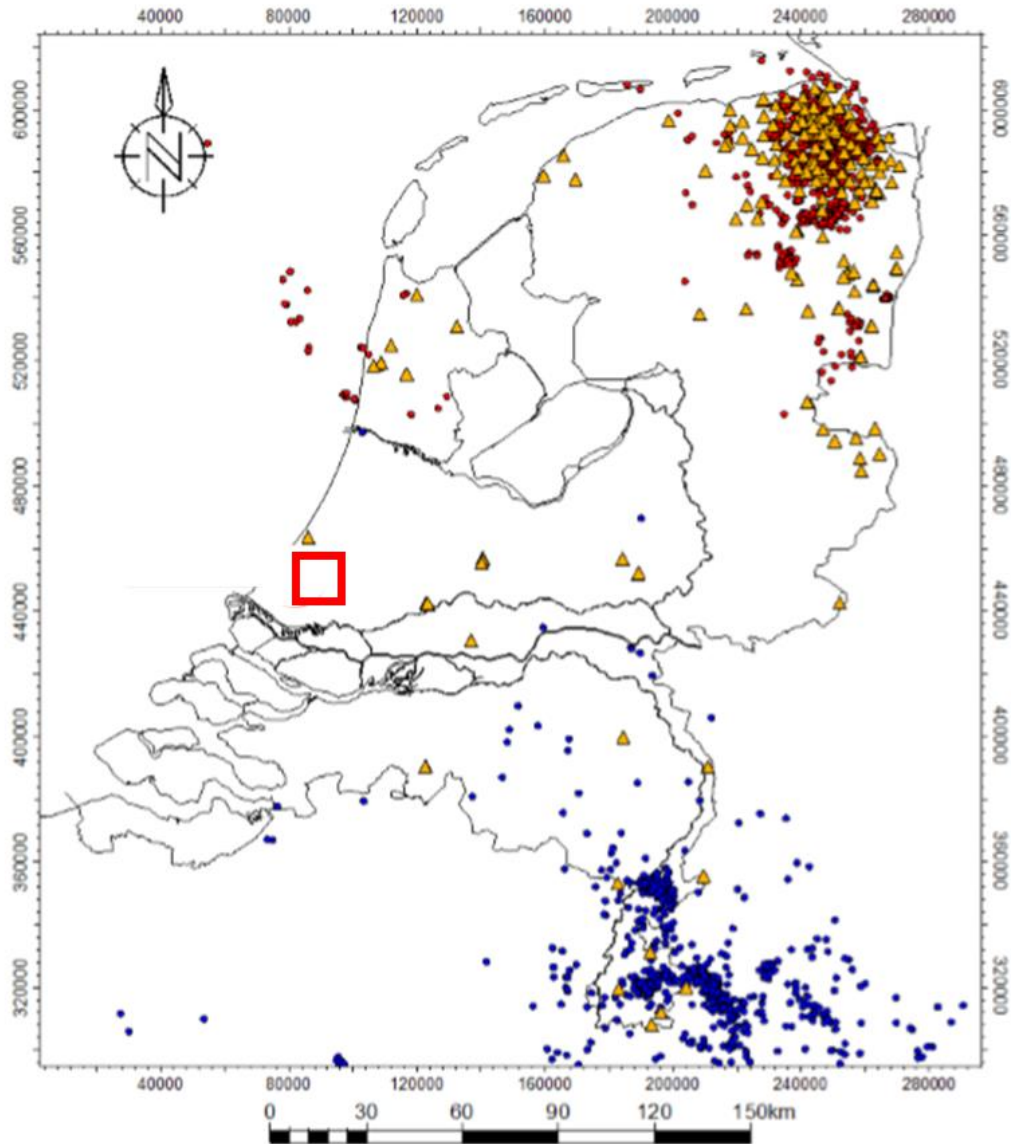
Het P50 systeemdebiet voor Geothermie Delft is 360m³/h; dit debiet worden haalbaar geacht met relatief lage verwachte drukverschillen (zie ook injectiedruk paragraaf hierboven). Desondanks wordt de **SCORE: 7** in het schema van Figuur B-2.

Afstand (km) tot natuurlijke aardbevingen

Er zijn in Zuid-Holland geen natuurlijke bevingen gerapporteerd (Figuur B-7). **SCORE: 0** in Figuur B-2.

Afstand (km) tot geïnduceerde seismiciteit

Er zijn in Zuid-Holland geen geïnduceerde bevingen gerapporteerd (Figuur B-7). **SCORE: 0** in Figuur B-2.



Figuur B-7 Kaart met epicentrum van seismiciteit in Nederland (November 2018). Rode cirkels geïnduceerde seismiciteit. Blauwe punten natuurlijke seismiciteit en de meetstations in oranje. Rode vierkant geeft projectlocatie weer.

Appendix C: DoubletCalc2D input parameters

New 2D Project		Load Project		Save project		Calculate		View Grid		About	
Input Aquifer Advanced Settings Input Wells Well Results Grid Results											
REGION OF INTEREST											
xmin	83975.0	m	nx	111.0	-						
xmax	89525.0	m	ny	100.0	-						
ymin	444472.222221374	m									
ymax	450027.784721374	m									
grid geometry	depth_50m.grd	use values	view								
AQUIFER PROPERTIES											
initial temperature	65.0	C	temp_50m.grd	use value	view						
aquifer depth	1500.0	m	depth_50m.grd	use value	view						
(cell) thickness	100.0	m	thickness_50m.grd	use value	view						
porosity	0.17	-	none	use grid	view						
net to gross	0.72	-	none	use grid	view						
actnum	1.0	-	none	use grid	view						
permeability in xdir	600.0	mDarcy	none	use grid	view						
permeability in ydir	600.0	mDarcy	none	use grid	view						
water salinity	130000.0	ppm									
CALCULATION SETTINGS											
time end production	35.0	yrs									
time end analysis	35.0	yrs									
output interval	1.0	yrs									
output/calculation interval after production	100.0	yrs									

New 2D Project		Load Project		Save project		Calculate		View Grid		About	
Input Aquifer Advanced Settings Input Wells Well Results Grid Results											
ADVANCED AQUIFER PROPERTIES											
storage capacity	1.0E-9	m3 Pa-1									
water conductivity	0.6	W K-1 m-1									
temperature dependent viscosity	yes										
viscosity	0.001	Pa s									
temperature dependent density	yes										
ADVANCED ROCK PROPERTIES											
rock conductivity	4.0	W K-1 m-1									
heat capacity	1000.0	J kg-1 K-1									
rock density	2700.0	kg m-3									
Young's modulus	9.0E9	Pa									
Poisson's ratio	0.35	-									
compaction coefficient	1.0E-5	bar-1									
thermal compaction coefficient	2.0E-5	C-1									
OUTPUT SETTINGS											
output fileformat	SURFER										
output VTK (ParaView) fileformat	no										
write debug output grids	no										
CALCULATION SETTINGS											
cooling 3D	yes										
calculate subsidence	yes										
no flow boundary	no										

New 2D Project

Load Project

Save project

Calculate

View Grid

About

Input Aquifer

Advanced Settings

Input Wells

Well Results

Grid Results

remove well

add well

name	Well 0	Well 1	Well 2	Well 3	Well 4	Well 5	
x	86348.0	85144.0	87960.0	86920.0	87680.0	89300.0	m
y	446606.0	447147.0	447115.0	448372.0	445850.0	445750.0	m
well diameter	8.5	12.25	12.25	12.25	6.0	6.0	inch
well skin	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-
well excess pressure	30.0	-30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	bar
well (inj) temperature	-1.0	20.0	-1.0	20.0	-1.0	16.0	C
well flow rate	-360	360	-360.0	360.0	-180.0	180.0	m3/h
pressure constraint	no						