

Retouradres: Postbus 80015, 3508 TA Utrecht

Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
Warmte en Ondergrond
t.a.v. [REDACTED]
Postbus 20401
2500 EK DEN HAAG

**Onderwerp**

Advies instemming tijdelijk winningsplan geothermie Luttelgeest II

Geachte [REDACTED],

Naar aanleiding van uw adviesverzoek van 29 januari 2020 (per email) ter ondersteuning van het te nemen instemmingsbesluit betreffende het tijdelijk winningsplan Luttelgeest II stuur ik u hierbij ons advies. Dit winningsplan is op 14 december 2019 ingediend door Aardwarmte Combinatie Luttelgeest (hierna: ACL). De vereisten en weigeringsgronden verwoord in de mijnbouwwet (art. 34 t/m 36) zijn leidend bij de evaluatie van de aanvraag.

Adviesverzoek

Het ministerie van Economische Zaken en Klimaat heeft TNO-AGE gevraagd om advies uit te brengen op het aangevraagde winningsplan Luttelgeest II op de volgende onderwerpen:

- a) Veiligheid van omwonenden, schade aan gebouwen of infrastructurele werken als gevolg van bodembeweging:
 - Bodemtrillingen;
 - Bodemdaling/stijging prognoses;
- b) Planmatig gebruik en beheer van de ondergrond:
 - Wijze van winning, operationeel ontwerp en productiestrategie van het aardwarmtesysteem;
 - Drukbeïnvloeding en ondergrondse interferentie met aanpalende winningsactiviteiten;
 - Duur en hoeveelheden van de winning;
 - Bijvangst van delfstoffen.

Compleetheid winningsplan

Aardwarmte Combinatie Luttelgeest heeft het winningsplan [1] opgesteld met drie bijlagen 1) Geologisch inventarisatie, 2) Quickscan for potential of inducing seismicity, en 3) Uitkomst geomechanische tool. Daaropvolgend, na een verzoek

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

T +31 88 866 42 56

Datum

26 juni 2020

Onze referentie

AGE 20-10.057

Projectnummer

060.43342/01.06.03

Uw referentie

IV-120

Contactpersoon

[REDACTED]

E-mail

[REDACTED]@tno.nl

Op opdrachten aan TNO zijn de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, zoals gedeponeerd bij de Griffie van de Rechtbank Den Haag en de Kamer van Koophandel Den Haag van toepassing. Deze algemene voorwaarden kunt u tevens vinden op www.tno.nl. Op verzoek zenden wij u deze toe.

Handelsregisternummer 27376655.

Datum

26 juni 2020

Onze referentie

AGE 20-10.057

Blad

2/32

om aanvullende informatie van SodM op 12-02-2020, heeft ACL een tweede versie van het winningsplan, Winningsplan aardwarmte ACL v2.0 [2] en de bijlage Quickscan for potential of inducing seismicity ACL v2.0 [3] aangeleverd. Daarbij heeft ACL ook de Notitie winningsplan ACL opgesteld en de vragen van SodM beantwoord [10].

TNO-AGE heeft alle aangeleverde documenten als compleet bevonden.

Beschrijving winning

Het winningsplan [2] beschrijft een triplet bestaande uit een productieput (LTG-GT-04) en twee injectieputten (LTG-GT-05 en -06). Echter, er wordt gesteld dat het geothermische systeem van ACL een doublet betreft bestaande uit de productieput LTG-GT-04 en de injectieput LTG-GT-05. De tweede injectieput (LTG-GT-06) wordt als optioneel beschouwd. Bij de evaluatie van het pre-drill winningsplan van ACL gaat TNO-AGE uit van een triplet.

Het winningsplan is tegelijkertijd ingediend met de aanvraag voor de winningsvergunning Luttelgeest II. In deze aanvraag wordt uitgegaan van een vergunningsduur van 35 jaar. De winningsvergunningaanvraag is op het moment van adviseren in behandeling. Dit winningsplan is echter een tijdelijk pre-drill winningsplan en geldt voor een periode van twee jaar, met de mogelijkheid om deze eenmaal te verlengen met één jaar.

Aardwarmtewinning zal plaatsvinden uit de watervoerende lagen van de Slochteren Formatie. De stroming van warm water naar de productieput en injectie van afgekoeld water zal plaats vinden door en in de poreuze gesteentematrix van deze formatie. De gewonnen warmte zal worden gebruikt door glastuinbouwbedrijven.

Vergunninghouder vraagt instemming met het winningsplan [2], waarin een gemiddeld jaardebiet van 300 m³/uur wordt voorgesteld voor 35 jaar en waarbij de jaarlijkse opbrengst van energie ca. 0,5 PJ zal zijn. Daarbij wordt uitgegaan van een productietemperatuur van ca. 77 °C en een injectietemperatuur van 15 °C in de winter (8 maanden) en 38 °C in de zomer (4 maanden).

ACL beschrijft in het winningsplan [2] een toekomstige uitbreiding van het aardwarmtesysteem, namelijk de uitbreiding van de geothermische triplet installatie met een doublet. TNO-AGE neemt deze uitbreiding niet mee in de evaluatie van het winningsplan omdat ACL niet voldoende informatie heeft toegevoegd om dit extra doublet op gepaste wijze te evalueren. Daarnaast is voor een additioneel doublet mogelijk een separaat winningsplan vereist.

Datum
26 juni 2020

Onze referentie
AGE 20-10.057

Blad
3/32

Beantwoording adviesvragen

Planmatig gebruik van de ondergrond

TNO-AGE concludeert dat het in het winningsplan voorgestelde maximale debiet niet gehaald kan worden binnen de injectiedrukbe grenzing conform het huidige SodM protocol.

TNO-AGE kan zich grotendeels vinden in de analyse en onderbouwing zoals aangeleverd door ACL. Wel is TNO-AGE voor dit advies uitgegaan van het huidige SodM protocol [4] dat resulteert in een maximaal toelaatbare injectiedruk van circa 42 bar op reservoirdiepte. De modelresultaten tonen aan dat, volgens de door TNO-AGE bepaalde geologische en operationele parameters en met een maximale injectiedruk van 42 bar, een maximaal debiet van 305 m³/uur in de wintermaanden gerealiseerd kan worden. Het door TNO-AGE bepaalde debiet van 305 m³/uur is lager dan het in de wintermaanden beoogde debiet van 351 m³/uur in het winningsplan [2]. Hierbij baseert TNO-AGE zich op het huidige SodM protocol [4] en (www.sodm.nl) waarbij aangegeven is dat dit bruikbaar is bij een uitkoeling van maximaal 40 °C. Dit is equivalent aan een injectietemperatuur van ca. 39 °C voor het ACL systeem. Bij een hogere mate van uitkoeling, zoals ACL van plan is volgens het winningsplan, is de bepaling van de maximale injectiedruk volgens het protocol [4] niet meer adequaat. Daarom gaat TNO-AGE in de modelberekeningen vooralsnog uit van een minimale injectietemperatuur van 39 °C.

De hoeveelheid geproduceerd water bij het lagere maximale debiet zal gedurende de eerste twee jaar na begin van productie ca. 4,5 miljoen m³ zijn. Indien de geldigheidsduur van dit tijdelijke winningsplan wordt verlengd met een jaar zal er na drie jaar productie ca. 6,8 miljoen m³ geproduceerd zijn. Hierbij zal de jaarlijkse opbrengst van energie ca. 0,5 PJ zijn.

Gedurende het productieproces vindt bijvangst van opgelost aardgas plaats. ACL vermeldt in het winningsplan [2] dat deze bijvangst ca. 0,3 m³ gas per m³ water is. Dit komt ongeveer overeen met productiedata van het nabijgelegen Luttelgeest Hoogweg systeem met een gerapporteerde bijvangst van 0,33 m³ geproduceerd gas per m³ water.

Er is momenteel één mijnbouwactiviteit in de nabijheid van de geplande ACL geothermische installatie, namelijk het naastgelegen Hoogweg aardwarmteproductiesysteem in de winningsvergunning Luttelgeest. Dit Hoogweg systeem is een triplet dat sinds december 2018 in productie is. De systemen komen op een afstand van ca. 2 km van elkaar te liggen. Zodra het systeem van ACL in productie gaat laten de berekeningen van TNO-AGE zien dat de twee systemen qua druk zullen gaan interfereren wat er voor zal zorgen dat de koudwaterbel van de put LTG-GT-05 richting de productieput LTG-GT-01 van het Hoogweg systeem beweegt. De drukinterferentie zal de productie van LTG-GT-01 en injectie van LTG-GT-05 positief beïnvloeden, maar zal tot gevolg hebben dat de koudwaterbel van LTG-GT-06 de winningsvergunningsgrens eerder zal overschrijden dan wanneer enkel het systeem van ACL in productie zou zijn. Het model laat zien dat na 2 jaar productie, en 3 jaar indien één jaar verlenging

Datum
26 juni 2020

Onze referentie
AGE 20-10.057

Blad
4/32

gegeven wordt, de koudwaterbel de vergunningsgrens niet overschrijdt. Na 22 jaar zal er naar verwachting wel grensoverschrijding plaatsvinden, wat korter is dan de standaard 35 jarige duur van een winningsvergunning voor de lange termijn.

Bodemdaling

TNO-AGE ziet geen geotechnische belemmeringen betreffende de berekening van de verwachte bodemdaling.

TNO-AGE heeft de bodemdalingsprognose gemodelleerd op basis van een maximaal debiet van 305 m³/uur gedurende 7 van de 8 wintermaanden en een injectietemperatuur van 15°C. In de overige maanden gaat TNO-AGE uit van de debieten zoals gegeven in het addendum op het winningsplan. TNO-AGE concludeert dat de modelmatig berekende maximale bodemdaling ten gevolge van de winning van aardwarmte na 2 en 3 jaar productie respectievelijk ca. 1 en 2 mm is. Na 35 jaar productie is de verwachte maximale bodemdaling ca. 10 mm. Bodemdaling treedt enkel op ten gevolge van de krimp van het reservoir door afkoeling van het gesteente. Het naastgelegen Hoogweg systeem is ook meegenomen in de modellering, hetgeen verklaart waarom de bodemdalingskom niet gecentreerd is rondom het ACL systeem (Figuur 6 Bijlage 3) en waarom dit resultaat niet geheel overeenkomt met het resultaat van ACL. De berekende bodemdaling is niet aanzienlijk groter dan wanneer alleen een enkel systeem produceert.

De dichtstbijzijnde natuur/ beschermingsgebieden liggen op een afstand van ca. 5 km. De modelmatige absolute bodemdaling door aardwarmtewinning is hier nihil tot nagenoeg nihil.

Bodemtrilling

TNO-AGE komt uit op een lage seismische dreiging voor Luttelgeest II. Dit is dezelfde categorie als de vergunninghouder heeft bepaald.

Vergunninghouder heeft conform de leidraad^{1,2} [5] een seismische hazard-risicoanalyse (SHRA) uitgevoerd voor het geothermisch systeem Luttelgeest II. Vergunninghouder komt uit op een genormaliseerde seismisch potentieel score van 0,30 en stelt dat het geothermisch systeem classificeert in de laagste risicocategorie voor het induceren van seismiciteit.

TNO-AGE heeft deze analyse geëvalueerd en eigenstandig uitgevoerd conform de SHRA-leidraad^{1,2} [5]. De daaruit resulterende genormaliseerde score van 0,33 is hoger dan de uitkomst van de vergunninghouder (0,30) doordat TNO-AGE een hogere score geeft aan de categorieën “drukcommunicatie tussen productie- en injectieput” (3 i.p.v. 0), “afstand tot breuken” (10 i.p.v. 3) en een lagere score voor de categorie “breukoriëntatie in huidig spanningsveld” (3 i.p.v. 10). Omdat deze

¹ Q-Con en IF Technology, 2016. Defining the framework for Seismic Hazard Assessment in Geothermal Projects. Kennisagenda project.

² TNO-AGE ziet de leidraad¹ als een goede eerste stap om tot een bruikbare SHRA voor geothermie te komen, maar is van mening dat deze in de huidige vorm sub-optimaal is om een eenduidige en adequate inschatting van de seismische dreiging van een geothermische operatie te geven. De audit resultaten dienen derhalve met de nodige voorzichtigheid geïnterpreteerd te worden.

Datum
26 juni 2020

Onze referentie
AGE 20-10.057

Blad
5/32

score gelijk is aan de grenswaarde van 0,33 is het potentieel voor het induceren van seismiciteit laag.

Aanvullende adviezen

- TNO-AGE verwacht dat er druk-interferentie zal optreden tussen het geplande systeem van ACL en het systeem in de aanpalende Luttelgeest winningsvergunning van Hoogweg Aardwarmte B.V. zodra het ACL systeem in productie gaat. Het is daarom te overwegen om beide vergunninghouders, ACL en Hoogweg Aardwarmte B.V., een overeenkomst op te laten stellen waarin wordt vastgelegd hoe daar door beide partijen mee zal worden omgegaan.
- TNO-AGE adviseert om, bij een eventuele instemming met het pre-drill winningsplan, de nadrukkelijke voorwaarde op te nemen dat de toelaatbare injectiedruk op reservoirdiepte maximaal 42 bar mag zijn en de injectietemperatuur minimaal 39 °C [4]. Daarnaast adviseert TNO-AGE de vergunninghouder te verzoeken om een adequate onderbouwing aan te leveren van de maximale injectiedruk bij de in het winningsplan voorgenomen minimale injectietemperatuur van 15°C. Het uitgangspunt hierbij moet zijn dat geen scheurvorming in de afsluitende laag zal optreden dan wel geen schade veroorzakende seismiciteit optreedt, of dat deze gemitigeerd kan worden. Wanneer deze onderbouwing is aangeleverd zou mogelijk de hieruit resulterende maximale injectiedruk kunnen worden overgenomen, alsmede een verlaging van de minimale injectietemperatuur.

Ik verwacht u hiermee van dienst te zijn geweest.

Met vriendelijke groet,



Hoofd Adviesgroep Economische Zaken en Klimaat

- Bijlage 1: geotechnische evaluatie winningsplan geothermie Aardwarmte
Combinatie Luttelgeest
Bijlage 2: resultaten berekeningen maximale toegestane injectiedruk
Bijlage 3: resultaten DoubletCalc modelberekeningen
Bijlage 4: SHRA evaluatie kaarten
Bijlage 5: erratalijst

Bijlage 1: geotechnische evaluatie winningsplan geothermie Aardwarmte Combinatie Luttelgeest

Datum
26 juni 2020

Onze referentie
AGE 20-10.057

Blad
6/32

TNO-AGE heeft een geotechnische evaluatie uitgevoerd van de documenten die bij het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) zijn aangeleverd ter ondersteuning van het te nemen instemmingsbesluit voor het winningsplan voor het geplande geothermiesysteem Luttelgeest II. In deze rapportage worden de resultaten en bevindingen van de door TNO-AGE uitgevoerde evaluatie beschreven.

1. Configuratie aardwarmtesysteem

Het geothermiesysteem Luttelgeest II, een triplet, zal bestaan uit een productieput (LTG-GT-04) en twee injectieputten (LTG-GT-05 en -06). Daarbij dient vermeld te worden dat LTG-GT-06 als optioneel wordt opgevoerd. Het systeem is gericht op de watervoerende lagen van de Slochteren Formatie. Een schematisch overzicht van het systeem wordt gepresenteerd in Figuur 4 [2] en een overzicht van de te boren putten is gegeven in Figuur 11, 12 en 13 [2]. De gewonnen warmte zal worden gebruikt door glastuinbouwbedrijven.

2. Toekomstige uitbreidingen

ACL beschrijft in paragraaf 2.1 [2] het voornemen om in de toekomst meerdere productie- en injectieputten vanaf dezelfde boorlocatie te boren. Er zijn reeds twee SDE+ subsidie aanvragen ingediend, elk voor een triplet.

De rapportages voor deze SDE+ aanvragen zijn niet meegestuurd met het winningsplan [2]. In de productieprognose heeft ACL al rekening gehouden met een toekomstige uitbreiding, door vanaf 2022 de te produceren hoeveelheid energie te verhogen. Echter, van deze uitbreiding is geen onderbouwing en beschrijving aangeleverd. Ook is geen bodemdalingsanalyse en seismisch gevaar en risico evaluatie voor dit uitbreidings-systeem opgenomen. Vanwege het ontbreken van deze informatie is TNO-AGE van mening dat van het eerste triplet moet worden uitgegaan en derhalve wordt de productie van het uitbreidingssysteem niet meegenomen in de evaluatie.

3. Evaluatie put- en reservoirgegevens

TNO-AGE heeft een evaluatie uitgevoerd van de in het winningsplan [2] beschreven put- en reservoirgegevens die als invoer dienen voor de reservoirmodellering. Indien tot andere inzichten is gekomen wordt dat in deze paragraaf beschreven.

3.1 Putgegevens

Door de aanvrager zijn in paragraaf 4.1 [2] de verwachte putgegevens m.b.t. locaties en architectuur van de drie putten gegeven. TNO-AGE heeft deze gegevens overgenomen voor de modelberekeningen.

3.2 Reservoirgegevens

In paragraaf 3.5 van [2] worden de reservoir eigenschappen beschreven. Tabel 1 [2] geeft de reservoir parameterwaarden zoals bepaald voor de drie putten van het systeem. De putgegevens opgegeven door de aanvrager alsmede de waarden volgend uit de TNO-AGE evaluatie zijn gegeven in Tabel 1.

Diepte en bruto dikte

ACL presenteert in het winningsplan een pre-drill top reservoir dieptekaart (Figuur 8 [2]) en bruto diktekaart (Figuur 10 [2]). Daarnaast geeft ACL top reservoir dieptes voor alle drie putten en een bruto dikte voor LTG-GT-04 in tabel 1 [2] en voor alle drie putten zijn de top-reservoir dieptes en bruto diktes gegeven in de putschema's. TNO-AGE heeft de diepten en bruto diktes van de putschema's overgenomen.

Netto/bruto verhouding

ACL geeft in Tabel 1 [2] geen netto dikte en netto-bruto waarden. TNO-AGE heeft de netto/bruto verhouding zelf bepaald (zie Tabel 1) o.b.v. de nabijgelegen Luttelgeest Hoogweg putten (LTG-GT-01, LTG-GT-02 en LTG-GT-03) en deze gebruikt voor de modelberekeningen.

Porositeit

ACL bepaalt de porositeit van het systeem op basis van de geologische evaluatie van omliggende putten. In deze evaluatie zijn de resultaten van Hoogweg systeem niet meegenomen. ACL geeft in tabel 1 [2] een porositeit van 20% voor het systeem.

TNO-AGE heeft porositeitwaarden bepaald op basis van een regionale porositeit-permeabiliteit relatie op reservoirgemiddelde schaal. Daarin zijn de door TNO-AGE bepaalde permeabiliteitwaarden voor de nabijgelegen Luttelgeest Hoogweg putten ingevuld en is de bijbehorende porositeit (18%) afgelezen. Voor de modelberekeningen is TNO-AGE uitgegaan van deze waarden, die lager zijn dan de door ACL gebruikte porositeit.

Permeabiliteit

ACL rapporteert alleen voor de productieput LTG-GT-04 permeabiliteitswaarden. Deze permeabiliteitswaarde van 280 mD is volgens de aanvrager op basis van petrofysica vastgesteld. Er wordt verder niet toegelicht hoe ACL aan deze waarde gekomen is.

TNO-AGE heeft puttest analyses uitgevoerd voor de drie nabijgelegen Luttelgeest Hoogweg putten. De permeabiliteit resulterend uit deze analyses, met een kleine correctie voor de grotere diepte op de locatie van ACL (Tabel 1), is door TNO-AGE gebruikt voor de modelberekeningen.

Saliniteit formatiewater

ACL geeft in Tabel 2 [2] een formatiewater samenstelling met een concentratie (TDS - Total Dissolved Solids) van 190000 mg/l voor alle drie putten. De dichtheid van het water is 1,13 g/l voor de drie putten.

Op basis van de samenstelling van watermonsters van de nabijgelegen Luttelgeest Hoogweg verwacht TNO-AGE een gemiddelde TDS van 170000 mg/l op een diepte rond 1800 m en een gemiddelde dichtheid van 1,12 g/l bij 25°C voor de drie putten van ACL.

Datum
26 juni 2020

Onze referentie
AGE 20-10.057

Blad
8/32

Temperatuur

In paragraaf 3.5 stelt ACL dat de geothermische gradiënt ongeveer 3,4 °C per 100 meter is bij een oppervlaktetemperatuur van 10 °C, wat equivalent is aan een mid-reservoir temperatuur van ongeveer 73 °C voor de producer LTG-GT-04. Dit is lager dan de mid-reservoir temperatuur van 78°C bij de producer LTG-GT-04 zoals gegeven in Tabel 1 [2].

Op basis van aangeleverde productie cijfers voor het nabijgelegen Luttelgeest Hoogweg systeem heeft TNO-AGE een reservoirtemperatuur bepaald van maximaal 79 °C op een diepte van rond 1780 m. TNO-AGE gaat voor de reservoirmodellering in DoubletCalc2D vooralsnog uit van een mid-reservoir temperatuur van ca. 79 °C.

Tabel 1: Overzicht van reservoir eigenschappen zoals gegeven door ACL in het winningsplan [2] en zoals bepaald door TNO-AGE.

Reservoir eigenschap	Vergunninghouder			TNO-AGE			Opmerkingen
	LTG-GT-04	LTG-GT-05	LTG-GT-06	LTG-GT-04	LTG-GT-05	LTG-GT-06	
Diepte top reservoir (mTVD)	1804	1791	1819	1804	1791	1819	
Bruto dikte (m)	70	-	-	80	77	79	
Netto dikte (m)	-	-	-	80	77	79	
Netto-bruto (%)	-	-	-	100	100	100	
Porositeit (%)	20	-	-	18,0	18,0	18,0	Porositeit TNO-AGE bepaald met permeabiliteit-diepte relatie van TNO-AGE.
Permeabiliteit petrofysica (mD)	280	-	-	-	-	-	
Permeabiliteit Puttest (mD)	-	-	-	240	245	230	Permeabiliteit TNO-AGE bepaald op basis van puttest nabijgelegen putten

Aquiferdruk

In het winningsplan wordt een reservoirdruk op top-reservoirdiepte gesteld van 182 bar voor LTG-GT-04 (Tabel 1 in [2]). Daarnaast heeft ACL de hydrostatische drukgradiënt geplot op basis van de putten SLB-02, SLB-01, KAM-01 en MKN-01 (Figuur 20 in Bijlage 1 [2]). Deze gradiënt geeft een druk van rond 200 bar op een diepte van 1800m.

TNO-AGE merkt op dat bij nabijgelegen Luttelgeest Hoogweg systeem een drukmeting op diepte was uitgevoerd tijdens een puttest. Op basis van de puttest evaluatie kwam TNO-AGE tot een reservoirdruk van ca. 192 bar op een diepte van 1720 m. Bij een lineaire druktoename is dit equivalent aan een top reservoir druk van 201 bar voor LTG-GT-04, 200 bar voor LTG-GT-05 en 203 bar voor LTG-GT-06. TNO-AGE gaat in de verdere berekeningen uit van een aquiferdruk van 200 bar op top reservoirniveau.

3.3 Productiegegevens en productieprognose

ACL heeft in het winningsplan [2] gegevens geleverd die de productie van het geothermisch systeem karakteriseren onder beoogde standaard operationele condities (Tabel 6 in [2]). ACL voorziet een uitbreiding van het bestaande systeem in 2022. De gegevens die de productie van het geothermisch systeem karakteriseren in Tabel 6 [2] zijn voor het huidige systeem en niet voor de toekomstige uitbreiding. Wel wordt er in de productieprognose in Tabel 7 [2] vanaf 2022 een bijna verdubbeling van de productie gesteld. Voor de verdere reservoirmodellerings gaat TNO-AGE uit van de triplet systeemconfiguratie. Hiervoor worden de productieprognose van 2020 en 2021 ge-extrapoleert tot het eind van de aangevraagde vergunningsduur van 35 jaar.

Debiet

Het verwachte te produceren gemiddelde debiet is 300 m³/uur (Tabel 5 in [2]). Uit het aangeleverde maandelijks productieprofiel (Tabel 6 in [2]) blijkt dat ACL een variabel debiet hanteert gedurende een jaar, met een lager debiet in de zomer en een hoger debiet dan gemiddeld in de winter. ACL stelt voor beide injectieputten samen een maandelijks variabel debiet tussen 175,5 m³/uur en 351 m³/uur met een effectief aantal vollasturen van ca. 6519 per jaar.

In het winningsplan [2] gaat ACL voor de DoubletCalc2D berekening uit van gelijke injectiedebieten voor beide injectieputten (maximaal 175 m³/uur per put in de wintermaanden).

De hoeveelheid water die ACL gedurende de vergunningsduur van 35 jaar verwacht te produceren, uitgaande van het triplet systeem is ca. 80 miljoen m³. Vanaf het begin van de productie betekent dit een jaarlijks geproduceerd watervolume van ca. 2,5 miljoen m³ (Tabel 7 in [2]).

Injectiedruk

ACL hanteert in het winningsplan een maximale operationele injectiedruk op reservoirniveau van 62 bar (Tabel 5 in [2]). In Bijlage 3 [2] geeft ACL de uitkomst van Geomech met een berekende maximale toelaatbare injectiedruk van 61 bar op reservoirdiepte op basis van het huidige SodM protocol [4].

ACL is voor de bepaling van de maximale injectiedruk uitgegaan van een reservoirdruk van 182 bar. Zoals eerder beschreven gaat TNO-AGE uit van een reservoirdruk van 200 bar. Deze hogere reservoirdruk resulteert in een maximale injectiedruk van 42 bar op reservoirdiepte, welke lager is dan de door ACL voorgenomen injectiedruk van 62 bar op reservoirdiepte.

Het huidige SodM protocol ([4] en www.sodm.nl) is gebaseerd op de standaard mate van uitkoeling die destijds door geothermie operators werd gehanteerd (injectietemperatuur van ca. 39 °C). Bij een hogere mate van uitkoeling, zoals ACL van plan is volgens het winningsplan, is de bepaling van de maximale injectiedruk volgens het protocol [4] niet meer adequaat. Daarom gaat TNO-AGE in de modelberekeningen vooralsnog uit van een minimale injectietemperatuur van 39 °C.

Datum
26 juni 2020

Onze referentie
AGE 20-10.057

Blad
10/32

Inhibitorvloeistof en bijvangst van gas

In Tabel 5 [2] geeft ACL aan +/-0,01 l/m³ inhibitorvloeistof in te willen brengen. Dit komt overeen met gebruikelijke hoeveelheden van ingebrachte inhibitor.

Gedurende het productieproces vindt bijvangst van opgelost aardgas plaats. ACL vermeldt in het winningsplan [2] dat deze bijvangst ca. 0,3 m³ gas per m³ water zal zijn. Productiedata van het nabijgelegen Luttelgeest Hoogweg systeem laat vergelijkbare bijvangst zien.

4. Modellering aardwarmteproductie

ACL presenteert in Figuur 21, 22 en 23 van [2] het resultaat van een reservoirmodellering van het geothermisch systeem Luttelgeest II o.b.v. DoubletCalc2D. De modellering is uitgevoerd voor het triplet systeem, met twee injectieputten, en voor een periode van 35 jaar. Op het moment van schrijven van het winningsplan is nog geen winningsvergunning toegekend en daarom hanteert ACL de aangevraagde vergunningsperiode van 35 jaar. ACL is hierbij uitgegaan van een continue injectie bij een debiet van 175 m³/uur per injectieput.

TNO-AGE heeft een DoubletCalc 2D berekening uitgevoerd voor het triplet systeem. Het merendeel van de door TNO-AGE gebruikte invoerwaarden komt overeen met de waarden die ACL opgeeft in het winningsplan [2], maar een klein deel is gebaseerd op de eigen analyse. Op basis van het maandelijkse productieprofiel in het winningsplan (Tabel 6 [2]) heeft TNO-AGE een variabel injectiedebiet gebruikt in de DoubletCalc 2D modelering. De injectiedebieten van de individuele injectoren is zo afgesteld dat de maximale injectiedruk op reservoirniveau niet wordt overschreden.

4.1 DoubletCalc2D

In Figuur 17 en 18 in [2] presenteert ACL het resultaat van het DoubletCalc2D reservoirmodel na 35 jaar productie. TNO-AGE is bij het opstellen van het eigen model uitgegaan van de triplet systeemconfiguratie waarbij de productieprognose voor 2020 en 2021 is geëxtrapoleerd naar de aangevraagde tijdelijke vergunningsduur van 2 jaar, en maximaal 3 jaar indien één jaar verlenging. TNO-AGE presenteert in de figuren in Bijlage 3 het resultaat aan het eind van de maximale termijn van een tijdelijke winningsvergunning van 3 jaar.

ACL heeft niet gespecificeerd welke waarden zijn gebruikt in het eigen DoubletCalc2D model met uitzondering van het debiet voor de injectieputten: 175,5 m³/uur. Een aantal waarden zijn herleidbaar uit het winningsplan (Tabellen 3, 5, 6, 7 [2]) maar het is niet zeker of deze ook gebruikt zijn.

TNO-AGE gebruikt als invoer in het eigen DoubletCalc2D model een aantal grids gemaakt door interpolatie van de putwaarden zoals gegeven in Tabel 1. TNO-AGE neemt aan dat de breuken in het gebied, zoals geïnterpreteerd in Figuur 15 in [2], afsluitend zijn en neemt deze mee in het DoubletCalc2D scenario. De productieprognose gebaseerd op het maandelijks productieprofiel zoals gegeven in Tabel 6 van [2] is meegenomen. Daarnaast neemt ook TNO-AGE, evenals ACL, het

Datum

26 juni 2020

Onze referentie

AGE 20-10.057

Blad

11/32

nabijgelegen Hoogweg systeem mee in de berekeningen. Dit systeem is sinds december 2018 in productie en bestaat uit drie putten LTG-GT-01 (producer), LTG-GT-02 (injector) en LTG-GT-03 (injector).

In Bijlage 3 wordt het resulterende beïnvloedingsgebied m.b.t. temperatuur (Figuur 4) en druk (Figuur 5) gepresenteerd aan het eind van de aangevraagde tijdelijke winningsvergunningsduur van maximaal 3 jaar. Daaruit is op te maken dat op dat moment de koudwaterbel de productieput nog niet bereikt heeft. Het modelresultaat toont aan dat binnen 2 jaar (en na 3 jaar indien een jaar verlenging gegeven wordt) na start productie er geen grensoverschrijding is van de aangevraagde winningsvergunning en dat er geen doorbraak van koudwater in de productieput plaatsvindt.

Verder bereikt de koudwaterbel de dichtstbijzijnde breuk niet (Figuur 4). Op basis van het model is er dan ook geen verwacht thermo-elastisch effect op de breuk.

Zodra het systeem van ACL in productie gaat laten de berekeningen van TNO-AGE zien dat het systeem van ACL en Luttelgeest Hoogweg qua druk gaan interfereren.

Wanneer de maximale injectiedruk van ca. 42 bar per put wordt bereikt, met de invoerparameters van TNO-AGE, wordt een maximaal systeem debiet behaald van 305 m³/uur met hierbij een injectiedebiet van 160 m³/uur bij LTG-GT-05 en 145 m³/uur bij LTG-GT-06. Dit is lager dan het maximale systeemdebiet van 351 m³/uur dat ACL verwacht te produceren in zeven van de acht wintermaanden.

De reservoirdruk verandering bij een debiet van 305 m³/uur tegen het einde van de vergunningsduur van maximaal 3 jaar, is weergegeven in Figuur 5, Bijlage 3. Modelmatig is de drukverandering van de injectieput LTG-GT-06 op de dichtstbijzijnde breuken aan de westzijde van de aangevraagde winningsvergunning met ca. +1 bar t.o.v. de statische reservoirdruk beperkt. Bovendien heeft de breuk een oriëntatie sterk afwijkend van het huidige spanningsveld en valt hierdoor in een lagere risicocategorie, zoals beschreven onder Hoofdstuk 7

5. Bodemdaling

ACL stelt in Hoofdstuk 6 in [2] dat de bodemdaling aan het maaiveld als gevolg van de geothermische activiteiten verwaarloosbaar is. Dit omdat enerzijds het systeem in massabalans-modus opereert en anderzijds de opgelegde druk-perturbatie zich herstelt naar de uitgangspositie voor aanvang van de winning.

De effecten die invloed kunnen hebben op de reservoirdruk en het mogelijk optreden van compactie, waaronder het thermo-elastische effect oftewel compactie door afkoeling van het reservoir, heeft ACL berekend met een DoubletCalc2D model. In het door ACL aangeleverde resultaat van dit model is te zien dat een bodemdaling van ca. 8 mm kan worden verwacht. Hierbij is uitgegaan van 35 jaar productie met gemiddeld debiet van 350 m³/uur.

Datum
26 juni 2020

Onze referentie
AGE 20-10.057

Blad
12/32

Volgens het DoubletCalc2D model van TNO-AGE is de verwachte bodemdaling aan het eind van de aangevraagde winningsvergunningsduur en het winningsplan zoals gegeven in Figuur 6 in Bijlage 3. De maximale bodemdaling ten gevolge van de winning van aardwarmte is na 2 en 3 jaar productie respectievelijk ca. 1 en 2 mm. Na 35 jaar productie is de verwachte maximale bodemdaling binnen de aangevraagde winningsvergunning ca. 10 mm. Dit is vermoedelijk wat hoger dan de door ACL bepaalde bodemdaling omdat TNO-AGE in het model ook het naastgelegen Hoogweg systeem heeft meegenomen.

6. Interferentie

ACL beschrijft in paragraaf 5 in [2] dat er binnen de aangevraagde winningsvergunning Luttelgeest II geen interferentie plaatsvindt met andere mijnbouwactiviteiten en onderbouwt dit met een kaart van het omliggende gebied in Figuur 20 [2]. Het model van ACL (Figuur 21 [2]) daarentegen laat zien dat met name de koudwaterbel van LTG-GT-05 wordt beïnvloed door de producer LTG-GT-01 van het Hoogweg systeem in de winningsvergunning Luttelgeest.

TNO-AGE kan zich niet vinden in de conclusie van ACL dat er geen interferentie plaats vindt. Het model van TNO-AGE, waarin beide systemen zijn opgenomen laat ook zien dat er interferentie is tussen de bovengenoemde putten. De modelresultaten laten verder zien dat na 2 jaar productie, en 3 jaar indien één jaar verlenging gegeven wordt, qua druk met name de producer LTG-GT-01 en injector LTG-GT-02 van het Hoogweg systeem en de injector LTG-GT-05 van het ACL systeem interfereren (Figuur 5). Het effect hiervan op de koudwaterbellen bij de injectoren is na deze periode echter nog minimaal. Tegen het eind van de aangevraagde winningsvergunningsduur van 35 jaar laat het model zien dat productie bij de LTG-GT-01 (Hoogweg systeem) en injectie bij LTG-GT-05 (ACL) elkaar het sterkst beïnvloeden. Daarbij beweegt de koudwaterbel van LTG-GT-05 richting de producer LTG-GT-01. Het gevolg hiervan is dat deze koudwaterbel de grens van de aangevraagde winningsvergunning Luttelgeest II eerder overschrijdt dan wanneer er geen interferentie zou plaatsvinden.

Afgezien van het Hoogweg systeem in de winningsvergunning Luttelgeest zijn er momenteel geen mijnbouwactiviteiten die zouden kunnen interfereren met het geplande systeem van ACL.

Verder is er geen overlap van het aangevraagde winningsvergunningsgebied met beschermde gebieden als grondwaterbeschermingszones of waterwingebieden, zoals ACL toont in Figuur 20 [2]. Het dichtstbijzijnde Natura 2000 gebied bevindt zich ca. 5 km van de projectlocatie. In de figuren in Bijlage 3 is te zien dat de gemodelleerde absolute bodemdaling ten gevolge van de winning van aardwarmte op die afstand nihil tot verwaarloosbaar is.

Datum
26 juni 2020

Onze referentie
AGE 20-10.057

Blad
13/32

7. Seismische Hazard en Risico Analyse (SHRA)

Ten behoeve van het winningsplan voor het geothermiesysteem Aardwarmte Combinatie Luttelgeest [2] heeft ACL een quickscan Seismische Hazard en Risico Analyse (SHRA) uit laten voeren door IF Technology BV [3]. Deze tijdelijke richtlijn, opgesteld door Qcon en IF [5] en de door DAGO gepubliceerde toevoeging hierop [6], dient ter ondersteuning van de leidraad.

In de aangeleverde quickscan Seismische Hazard en Risico Analyse [3] wordt gesteld dat de analyse is uitgevoerd voor een triplet systeem zoals is omschreven in het winningsplan [2].

De Quickscan analyse [3] is door TNO-AGE geëvalueerd. De resultaten van deze evaluatie worden in dit hoofdstuk beschreven.

7.1 Eerste drie vragen beslisboom

De eerste drie vragen in de beslisboom van de quickscan SHRA zijn:

1. Is de afstand van het project tot een majeure breukzone <100 m of is het stromingsconcept gebaseerd op productie uit bestaande breuken?
2. Licht het project in de tektonisch actieve Roerdalslenk?
3. Wordt het project beïnvloed door het Groningen gasveld?

Beantwoording ACL

Volgens ACL luidt het antwoord op deze eerste drie vragen **nee**, deze antwoorden worden niet nader onderbouwd in [3]. De volgende stap is de uitwerking van de quickscan scoretabel.

Bevindingen TNO-AGE

Het geothermisch systeem Luttelgeest II richt zich op matrix gedomineerde stroming en productie/injectie vindt niet plaats in een breukzone. Daarnaast ligt het systeem niet binnen 100 m van een majeure breukzone. Dit blijkt uit Figuur 3.1 van [3], waarin de door ACL geïnterpreteerde breuken worden gepresenteerd, en een evaluatie van de seismiek door TNO-AGE.

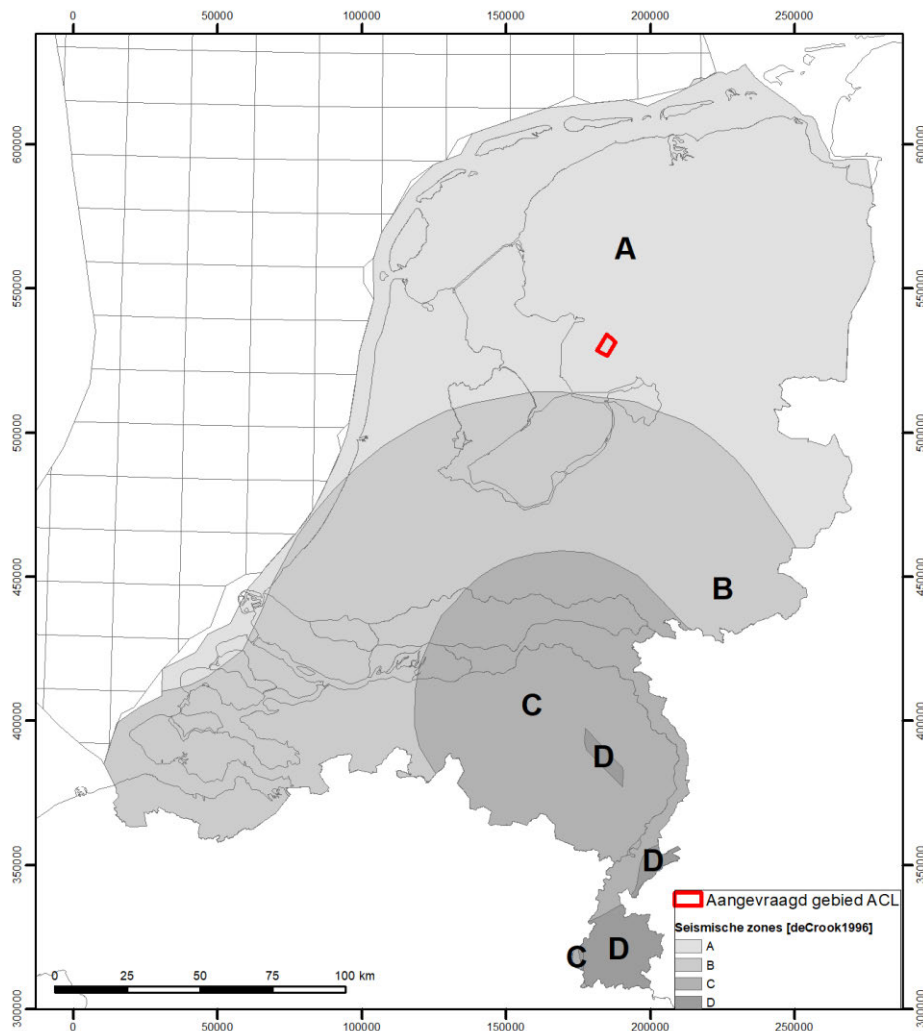
Figuur 1 toont de zones A t/m D zoals gedefinieerd door De Crook (1996) [7]. Zones C en D kunnen worden gezien als de tektonisch actieve zone van de Roerdalslenk. Zoals te zien in Figuur 1 bevindt het geothermisch systeem Luttelgeest II zich in zone A en dus buiten deze tektonisch actieve zones. Het systeem ligt niet in de nabijheid van het Groningen gasveld en wordt hier dus ook niet door beïnvloed.

*Op basis van bovenstaande bevindingen is TNO-AGE het eens met ACL dat het antwoord op de eerste drie vragen van de beslisboom **nee** is.*

Datum
26 juni 2020

Onze referentie
AGE 20-10.057

Blad
14/32



Figuur 1: Locatie ACL systeem t.o.v. seismische zones De Crook (1996).

7.2 Hydraulische connectie met het kristallijne basement

Beantwoording ACL

ACL stelt dat het kristallijne gesteente bij Luttelgeest II op een diepte van meer dan 3 kilometer ligt. ACL geeft aan dat bij de boring van de dichtstbijzijnde koolwaterstof put, LTG-01, er geen basement is bereikt. Deze put ligt op een afstand van ongeveer 10 kilometer van de ACL installatie en heeft een verticale einddiepte van 5110 m t.o.v. NAP. Daarnaast acht ACL het zeer onwaarschijnlijk dat er een verbinding is met de kristallijne basis en dat daarmee een score van 0 moet worden toegewezen.

Bevindingen TNO-AGE

De basis van het reservoir (Slochteren) in de injectieput ligt op ca. 1,8 km diep. Het kristallijne basement is niet aangeboord in Nederland. In een koolwaterstof put LTG-01 is, onder het Slochteren, het Carboon en een deel van het Devoon aangeboord met een dikte van 3,4 km.

Datum
26 juni 2020

Onze referentie
AGE 20-10.057

Blad
15/32

Aangezien het zeer aannemelijk is dat het kristallijne basement zich dieper bevindt dan 3 km t.o.v. het reservoir, vindt TNO-AGE dat het gerechtvaardigd is om een score 0 toe te kennen.

7.3 Drukcommunicatie tussen de productieput en injectieputten

Beantwoording ACL

In de quickscan analyse [3] stelt ACL dat er wordt geproduceerd en geïnjecteerd in dezelfde permeabele laag met een tussenliggende afstand van maximaal 1600 m op reservoirniveau. Verder wordt er gesteld dat het onwaarschijnlijk is dat er compartimentering is tussen de putten en dat daarom drukcommunicatie tussen de productieput en de injectieputten waarschijnlijk is. Er wordt hierbij verwezen naar memo "Breukanalyse Hoogweg Luttelgeest" van IF Technology, opgesteld in 2017 ter beantwoording van vragen van SodM. Deze memo heeft TNO-AGE niet.

ACL stelt dat de resulterende score 0 moet zijn.

Bevindingen TNO-AGE

De methodiek van Qcon en IF [5] gebruikt twee toetsingselementen om de score 0 t/m 7 te bepalen. Dit betreft de laterale en verticale afstand tussen de putten en of er wordt geproduceerd en geïnjecteerd in hetzelfde laagpakket.

Na evaluatie blijkt dat de methodiek van Qcon en IF niet alle mogelijke situaties beschrijft, zie de gele cellen in Tabel 3. Aan deze twee ontbrekende situaties is een score 3 toegekend.

Geothermal system designed to have no pressure communication	10		
Geothermal system targeting the different geological formations	7		
Geothermal system designed to have pressure communication and targeting the same geological formation			
	Lateral separation		
Vertical separation	< 1000 m	1000 – 2000 m	> 2000 m
>500 m	7	7	7
100 – 500 m	3	3	7
< 100	0	3	7

Tabel 3: Score-indeling voor de categorie "drukcommunicatie tussen de productie- en injectieput" volgens de SRA methodiek van Qcon en IF [2, 4], omgezet in een tabel. De geel gemarkeerde cellen geven situaties die niet worden beschreven in de methodiek van Qcon en IF [2, 4].

De putten van het geothermiesysteem Luttelgeest II produceren en injecteren in dezelfde formatie, de laterale afstand op reservoir niveau is ca. 1395 m en de verticale separatie tussen de putten is 15 m. Daarmee valt dit systeem onder de situatie van verticale separatie <100 m en laterale separatie 1000 – 2000 m en krijgt op basis hiervan een score van 3.

Volgens de analyse van TNO-AGE aan de hand van de methodiek van Qcon en IF [5] krijgt dit systeem een score van 3 voor deze categorie.

Datum
26 juni 2020

Onze referentie
AGE 20-10.057

Blad
16/32

7.4 Injectiedruk

Resultaat ACL

In het Quickscan document [3] wordt uitgegaan van een injectiedruk die gebaseerd is op een reservoirmodel. Dit reservoirmodel is gemaakt op basis van de puttesten van het Luttelgeest Hoogweg systeem en bevat het ACL en het Hoogweg systeem. Op basis hiervan is een injectiedruk van 62 bar per put berekend en past ACL een score toe van 7 in de Quickscan tabel [2, 4]. Volgens ACL komt deze injectiedruk overeen met een debiet van 176 m³/uur per injectieput en een injectietemperatuur van 15°C.

Resultaat TNO-AGE

De maximale injectiedruk van circa 42 bar bepaald door TNO-AGE op basis van het huidige SodM protocol valt in de 4 – 7 MPa categorie met een bijbehorende score van 7 punten in de Quickscan tabel.

*TNO-AGE is van mening dat voor de injectiedruk categorie een **score 7** passend is.*

7.5 Debiet

Beantwoording ACL

ACL geeft een geprognostiseerd systeemdebiet variërend per maand tussen de 175,5 m³/uur en 351 m³/uur in [2]. In de SHRA [3] wordt aangegeven dat dit debiet wordt geïnjecteerd in twee injectieputten en dus geldt een maximaal debiet van 175,5 m³/uur per injector. ACL beargumenteert dan ook dat het debiet in de 50 - 180 m³/uur categorie valt met een bijbehorende score van 3 punten [2, 4]. In de aanvullende notitie [10] geeft ACL aan dat zij desondanks uitgaan van het systeemdebiet. Dit valt in de 180 – 360 m³/uur categorie met een bijbehorende score 7.

Bevindingen TNO-AGE

Conform de SHRA-leidraad moet het systeemdebiet (circulation rate) meegenomen worden in de evaluatie en niet, zoals door de ACL geïnterpreteerd, het maximale debiet per injectieput. TNO-AGE heeft een systeemdebiet berekend van 254 m³/uur. Het systeemdebiet valt in de 180 – 360 m³/uur categorie met een bijbehorende score van 7 punten [2, 4].

*Op basis van deze gegevens is TNO-AGE van mening dat een **score van 7** van toepassing is.*

7.6 Afstand tot natuurlijke aardbevingen

Beantwoording ACL

ACL stelt dat de afstand tussen de aardwarmtewinning bij Luttelgeest II en natuurlijke bevingen meer dan 10 kilometer is, en onderbouwt dit met een kaart met de meest recente aardbevingen uit de aardbevingscatalogus van het KNMI (februari 2020) [3]. Hierop gebaseerd stelt vergunninghouder dat de score 0 moet zijn.

Datum
26 juni 2020

Onze referentie
AGE 20-10.057

Blad
17/32

Bevindingen TNO-AGE

De methodiek van Qcon en IF [5] maakt gebruik van de afstand tussen het midden van de “open hole” sectie van de injectieput en het epicentrum van de dichtstbijzijnde beving. TNO-AGE gebruikt de tektonische aardbevingscatalogus van het KNMI, zoals deze te downloaden is van de desbetreffende website (Figuur 8 in Bijlage 3). Hieruit blijkt dat er geen natuurlijke bevingen zijn geweest in een straal van 10 km rond de injectieput en ook op grotere afstand daarbuiten.

*Op basis van deze gegevens is TNO-AGE van mening dat een **score van 0** van toepassing is.*

7.7 Afstand tot geïnduceerde aardbevingen

Beantwoording ACL

ACL geeft aan dat op basis van de tektonische aardbevingscatalogus van het KNMI (februari 2020) de dichtstbijzijnde geïnduceerde beving op iets meer dan 23 kilometer van het doublet ligt [3]. ACL stelt dat daarmee de score 0 moet zijn.

Bevindingen TNO-AGE

TNO-AGE gebruikt de geïnduceerde aardbevingscatalogus van het KNMI. De afstand wordt op dezelfde manier bepaald als bij natuurlijke bevingen. Hieruit blijkt dat de dichtstbijzijnde geïnduceerde aardbeving (aardbeving bij De Hoeve in 2009) zich op 24,8 kilometer bevindt (zie Figuur 8 in Bijlage 3).

*TNO-AGE is van mening dat de **score van 0** valide is.*

7.8 Afstand tot breuken en kwaliteit seismiek

Beantwoording ACL

ACL stelt dat de afstand van de injectieputten tot dichtstbijzijnde bestaande breuk meer dan 1000 meter is en dat daarmee de score 3 moet zijn [3].

Bevindingen TNO-AGE

TNO-AGE heeft de aangeleverde breukinterpretatie gecontroleerd met behulp van 2D seismiek en kan zich vinden in de interpretatie gegeven door vergunninghouder waarbij de afstand, tussen de put tot de dichtstbijzijnde geïnterpreteerde breuk meer dan 1 km is. Hierdoor is de kortst mogelijke afstand tot bestaande breuken tussen de 0,5 en 1,5 kilometer (zie Figuur 9 in Bijlage 4).

De bedekking en kwaliteit van de seismiek heeft de aanvrager niet meegenomen in de evaluatie en conform de leidraad zou dit wel moeten. Spatiering van de seismische lijnen is meer dan een km (Figuur 3.1 [3]) en de kwaliteit van de seismische lijnen is op zijn best matig. Tezamen zou de seismische bedekking-kwaliteit score “poor” zijn. Dit gecombineerd met de afstand resulteert in een score van 10.

*TNO-AGE is van mening dat de **score van 10** gerechtvaardigd is.*

Datum
26 juni 2020

Onze referentie
AGE 20-10.057

Blad
18/32

7.9 Breukoriëntatie in het huidige spanningsveld

Beantwoording ACL

ACL stelt dat de oriëntatie van de breuken in het gebied bij Luttelgeest II over het algemeen NW-ZO (ca. 100° tot 150°) is. Het stressveld in het gebied van Luttelgeest II heeft volgens ACL een oriëntatie van ongeveer 130° (tussen 120° en 140° voor SHmax) [3]. Volgens ACL levert dit binnen het heersende stressveld “shearing possible” op. Daarnaast stelt ACL wel dat de inclinatie van de breuken erg stijl is (tussen de 75° en 90°) en berekent aan de hand van een voor TNO-AGE onbekende methodiek dat “shearing unlikely” is. ACL bepaalt o.b.v. alleen de oriëntatie een score van 10 [3].

Bevindingen TNO-AGE

Zoals de methodiek van Qcon en IF beschrijft in [5] dient voor de bepaling van de score voor deze categorie de breuk met de hoogste score te worden genomen (totaal van “afstand tot breuken” en “breukoriëntatie in het huidige spanningsveld”). Een nadere analyse van de breuken in het gebied toont dat de breuk ten noorden van de injectieputten met een breuklengte van meer dan 1 km en een afstand tot de injectieput van ca. 1500 m, een oriëntatie van gemiddeld 278° heeft (Figuur 10). De breuk ten westen van de injectieputten met een breuklengte van meer dan 1 km en een afstand tot de injectieput van ca. 1000 m, heeft een oriëntatie van gemiddeld 211° . De breuk ten zuiden van de injectieputten met een breuklengte van meer dan 1 km en een afstand tot de injectieput van ca. 2200 m, heeft een oriëntatie van gemiddeld 293° .

Volgens Mechelse (2017) [8] is de oriëntatie van het spanningsveld voor het Rotliegend $324^\circ (\pm 20^\circ)$. De hoek van de noordelijke, westelijke en zuidelijke breuk met de oriëntatie van het spanningsveld is daardoor respectievelijk 46° , 67° , 31° (Figuur 10). Op basis van een analytische methode [9], uitgewerkt door TNO, is bepaald dat bij dergelijke breuken breukreactivatie mogelijk is. De methodiek van Qcon en IF [5] neemt enkel de breukoriëntatie in beschouwing als een benadering voor de potentie op breukreactivatie. Op basis hiervan krijgt dit project volgens deze methodiek een score van 7 voor deze categorie. TNO-AGE ziet daarnaast dat de dichtstbijzijnde breuken, ten noorden en westen van het systeem, op een afstand van 1000 en 1500 m, een relatief grote hoek (46° en 67°) hebben met het huidige spanningsveld. Dit zou volgens de methodiek [5] resulteren in een score van 3 voor dit systeem. Daarentegen heeft de zuidelijke breuk, op een afstand van ca. 2200 m, een kleinere hoek (32°) met een bijbehorende score van 7. Uit het TNO-AGE DoubletCalc2D model blijkt dat de drukverandering op deze zuidelijke breuk hoofdzakelijk veroorzaakt wordt door het naastgelegen Hoogweg systeem en dat het beïnvloedingsgebied van het ACL systeem niet deze zuidelijke breuk bereikt. TNO-AGE is daarom van mening dat door de grote afstand van deze breuk en de gelimiteerde drukbeïnvloeding van het ACL systeem op de breuk, een score van 3 meer representatief is (Figuur 7)

Daarnaast is het wel zo dat deze methodiek [5] een vrij eenvoudige benadering is van de kans op breukreactivatie. De kans op reactivatie van een breuk is naast de oriëntatie in het stressveld ook afhankelijk van de combinatie van een aantal effecten zoals “directe druk”, poro-elastische en thermo-elastische mechanismes

die qua grootte afhankelijk zijn van de hoogte van het opgelegde drukverschil en afkoeling die de breuk bereiken. Het samenspel van deze effecten is nog niet meegenomen in de huidige SHRA methodiek.

Uit het TNO-AGE DoubletCalc2D model blijkt dat tijdens productie het drukverschil op de westelijke en zuidelijke breuk tussen de 1 - 2 bar toeneemt. Uit de analyse van TNO-AGE, op basis van Levandowski et al. (2018) [9], blijkt dat zelfs bij een breuk met een inclinatie rond de 75 ° het mogelijk is dat er breukreactivatie plaatsvindt. Wel is het zo dat de kans op breukreactivatie afneemt bij breuken met een grotere inclinatie, alleen is het erg lastig om de inclinatie van de breuk met zekerheid te bepalen mede door de lage kwaliteit van de seismiek. Dit is in lijn met de eerdere conclusie dat het mogelijk is dat er breukreactivatie optreedt bij de westelijke en zuidelijke breuk. Het resultaat van het DoubletCalc2D model laat zien dat de koudwaterbel binnen 35 jaar *niet* de dichtstbijzijnde breuk bereikt aan de westzijde van de aangevraagde winningsvergunning. De oriëntatie van deze breuk is haaks op die van het huidige spanningsveld en het is dus onwaarschijnlijk dat er bij deze breuk reactivatie plaats zal vinden.

*Volgens TNO-AGE is een **score van 3** opportuun omdat de oriëntatie van de dichtstbijzijnde breuken binnen het beïnvloedingsgebied van het ACL systeem 46° en 67° afwijken van de oriëntatie van het spanningsveld. Daarnaast kan niet worden uitgesloten dat bij een breuk met een inclinatie rond de 75° reactivatie optreedt.*

7.10 Netto geïnjecteerd volume

Beantwoording ACL

Vergunninghouder geeft aan dat het systeem is ontworpen om net zoveel water te injecteren als er wordt geproduceerd uit het reservoir. Daarom kent ACL een score van 0 toe aan deze categorie.

Bevindingen TNO-AGE

Uit het systeem ontwerp is op te maken dat ACL een even grote hoeveelheid water wil injecteren als uit de ondergrond wordt geproduceerd. Er is dan sprake van een zogeheten gesloten massabalans.

Op basis van bovenstaande is TNO-AGE van mening dat een score van 0 van toepassing is.

7.11 Resultaat Quickscan scoretabel

Resultaat ACL

ACL heeft de Quickscan scoretabel ingevuld en komt daarbij tot een genormaliseerde score van 0,30 [3], [10]. Dit leidt tot een laag potentiaal voor het induceren van seismiciteit.

Resultaat TNO-AGE

TNO-AGE heeft, op basis van de resultaten van de evaluatie, ook de Quickscan scoretabel ingevuld (Tabel 4).

De genormaliseerde score zoals resulteert uit de evaluatie van TNO-AGE o.b.v. de Qcon en IF methodiek [5] is 0,33. Deze uitkomst wijkt af van die van ACL omdat

Datum
26 juni 2020

Onze referentie
AGE 20-10.057

Blad
20/32

TNO-AGE een hogere score geeft aan de categorieën “drukcommunicatie tussen productie- en injectieput” (3 i.p.v. 0), “afstand tot breuken” (10 i.p.v. 3), en een lagere score voor de categorie “breukoriëntatie in huidig spanningsveld” (3 i.p.v. 10). Omdat deze score gelijk is aan de grenswaarde van 0,33 is het potentieel voor het induceren van seismiteit laag. Volgens de Qcon en IF methodiek [5] is bij een score hoger dan 0,33 een Level 2 locatie specifiek assessment vereist.

Tabel 4: Resultaat Quickscan scoretabel voor de situatie met drie putten.

Score	Connectie met basement	Drukcommunicatie tussen productie- en injectieput	Injectiedruk	Debiet	Afstand tot natuurlijke aardbevingen	Afstand tot geïnduceerde aardbevingen	Afstand tot breuken en kwaliteit van seismiek	Breukoriëntatie in huidig spanningsveld	Netto geïnjecteerd volume		
10	Yes	No	>7	>360	<1	<1	<0,1	Favourable	>20		
7	Possible	Unlikely	4-7	180-360	1-5	1-5	0,1-0,5	Shearing possible	5-20		
3	Unlikely	Likely	1-4	50-180	5-10	5-10	0,5-1,5	Shearing unlikely	0,1-5		
0	No	Yes	<1	<50	>10	>10	>1,5	Locked	<0,1		
										Totaal	Genormaliseerde score
Operator	0	0	7	7	0	0	3	10	0	27	0,30
TNO-AGE	0	3	7	7	0	0	10	3	0	30	0,33

8. Conclusies

De belangrijkste conclusies van de in deze rapportage beschreven evaluatieresultaten kunnen als volgt worden samengevat:

- ACL stelt een toekomstige uitbreiding van het systeem voor vanaf 2022. TNO-AGE gaat bij de beoordeling van het winningsplan alleen uit van een triplet systeem omdat de uitbreidingen nog niet concreet gerapporteerd is en mogelijk een separaat winningsplan vereist.
- Op basis van de conclusie hierboven is TNO-AGE voor de verdere berekeningen, modellen en SHRA uitgegaan van een maximale toelaatbare injectiedruk op reservoirdiepte van 42 bar die bepaald is o.b.v. het huidige SodM protocol [4] en (www.sodm.nl). Hier is aangegeven dat dit bruikbaar is bij een uitkoeling van maximaal 40 °C. Dit is equivalent aan een injectietemperatuur van ca. 39 °C voor het ACL systeem. Bij een hogere mate van uitkoeling, zoals ACL van plan is volgens het winningsplan, is de bepaling van de maximale injectiedruk volgens het protocol [4] niet meer adequaat. Daarom gaat TNO-AGE in de modelberekeningen voorsnog uit van een minimale injectietemperatuur van 39 °C. Deze uitkomst betekent het volgende voor de resultaten van de DoubletCalc2D modellering door TNO-AGE:
 - Afkoeling van 1 °C op de vergunningsgrens treedt naar verwachting op na ca. 22 jaar productie. Dit is korter dan de standaard periode van een winningsvergunning voor de lange termijn, maar valt niet binnen de twee jaar van de tijdelijke winningsvergunning en de eventuele eenmalige verlenging van één jaar.
 - Doorbraak van de koudwaterbel in de productieput treedt naar verwachting niet op binnen de vergunningsduur van twee jaar van de tijdelijke winningsvergunning en de eventuele eenmalige verlenging van één jaar. Doorbraak treedt naar verwachting ook niet op binnen 35 jaar na start van productie.
 - Afkoeling bij dichtstbijzijnde breuken is niet voorzien in de twee jaar van de tijdelijke winningsvergunning en de eventuele eenmalige verlenging van één jaar en ook niet binnen 35 jaar na start van productie.
 - Drukveranderingen bij de dichtstbijzijnde breuken zijn beperkt tot ca. -6 en +1 bar na de twee jaar van de tijdelijke winningsvergunning en de eventuele eenmalige verlenging van één jaar. Bij 35 jaar productie zijn de drukveranderingen bij de dichtstbijzijnde breuken vergelijkbaar en blijven beperkt.
 - De verwachte bodemdaling na de twee jaar van de tijdelijke winningsvergunning en de eventuele eenmalige verlenging van één jaar is respectievelijk ca. 1 en 2 mm, en dus zeer beperkt. Na 35 jaar productie laat het model zien dat een bodemdaling van ca. 8 mm verwacht kan worden.

Datum

26 juni 2020

Onze referentie

AGE 20-10.057

Blad

22/32

Zodra het systeem van ACL in productie gaat laten de berekeningen van TNO-AGE zien dat het ACL systeem en het nu al producerende Hoogweg systeem zullen gaan interfereren. Het model laat zien dat de interferentie na de twee jaar van de tijdelijke winningsvergunning en de eventuele eenmalige verlenging van één jaar beperkt is. Daarnaast laat het model wel zien dat bij productie op lagere termijn zoals na de door ACL aangevraagde vergunningsduur van 35 jaar de koudwaterbel van LTG-GT-05 van het ACL systeem de grens van de winningsvergunning van Luttelgeest op reservoirniveau overschrijdt. Ook is te zien dat er drukinterferentie zal plaats vinden tussen beide systemen, maar de orde van grootte van de drukverandering op de dichtstbijzijnde breuken is vergelijkbaar met wanneer slechts één systeem in productie is. De bodemdalingssom centreert zich na de twee jaar van de tijdelijke winningsvergunning en de eventuele eenmalige verlenging van één jaar rond het systeem van ACL. Na de aangevraagde vergunningsduur van 35 jaar zal de bodemdalingssom zich centreren bij het systeem van Hoogweg, met een maximale bodemdaling die vergelijkbaar is met wanneer een enkel systeem produceert. Dit komt overeen met maximaal 10 mm op de grens tussen de aangevraagde winningsvergunning Luttelgeest II en de winningsvergunning Luttelgeest. De modelresultaten tonen aan dat de verwachte bodemdaling ten gevolge van aardwarmtewinning bij de dichtstbijzijnde natuur-/beschermingsgebieden (minimale afstand ca. 5 km) waarschijnlijk minder dan 1 mm is.

Verder zijn er geen mijnbouwactiviteiten in de nabijheid van de geothermische installatie.

- TNO-AGE heeft een SHRA evaluatie uitgevoerd, met het volgende resultaat:
 - **Score: 0,33** → laag potentieel voor induceren van seismiciteit. Deze score is volgens de methodiek van Qcon en IF [5] bepaald.

Datum

26 juni 2020

Onze referentie

AGE 20-10.057

Blad

23/32

Referenties

- [1] Aardwarmte Combinatie Luttelgeest (ACL) BV, december 2019. Winningsplan Aardwarmte Combinatie Luttelgeest.
- [2] Aardwarmte Combinatie Luttelgeest (ACL) BV, december 2019. Winningsplan Aardwarmte Combinatie Luttelgeest. Versie 2.
- [3] IF Technology B.V., 14 mei 2019. Potential for inducing seismicity. Versie 2.
- [4] SodM, 2013. Protocol bepaling maximale injectiedrukken bij aardwarmtewinning, Versie 2.
<https://www.sodm.nl/documenten/publicaties/2013/11/23/protocol-bepaling-maximale-injectiedrukken-bij-aardwarmtewinning>
- [5] Qcon GmbH & IF Technology B.V., 5 oktober 2016. Defining the Framework for Seismic Hazard Assessment in Geothermal Projects V0.1.
- [6] DAGO, 2018. "SHRA Richtlijn richtinggevende suggesties".
- [7] De Crook, Th., 1996. A seismic zoning map conforming to Eurocode 8, and practical earthquake parameter relations for the Netherlands. *Geologie en Mijnbouw* 75: 11 – 18.
- [8] Mechelse, E., 2017. The in-situ stress field in The Netherlands: Regional trends, local deviations and an analysis of the stress regimes in the northeast of The Netherlands. TU Delft, MSc thesis.
- [9] Levandowski, W., Weingarten, M., Walsh, R., 2018. Geomechanical sensitivities of injection induced earthquakes. *Geophysical Research Letters*, Vol. 45, Issue 17, p. 8958 – 8965.
- [10] Aardwarmte Combinatie Luttelgeest (ACL) BV, december 2019. Notitie winningsplan ACL, vragen SodM 12-02-2020.

Datum
26 juni 2020

Onze referentie
AGE 20-10.057

Blad
24/32

Bijlage 2: resultaten berekeningen maximale toegestane injectiedruk

Invoer parameters	waarde	Default	eenheid
Diepte top aquifer in productieput	-1804	x	m
Diepte top aquifer in injectieput	-1791		m
Gemiddelde diepte top aquifer	-1798		m
Diepte pomp	-700		m
Aquiferdruk Productieput	201	x	bar
Aquiferdruk Injectieput	200	x	bar
Bottom hole pressure Productieput	168	x	bar
Bottom hole pressure Injectieput	241	x	bar
Drukverschil over put-aquifer interface in productieput	33	x	bar
Drukverschil over put-aquifer interface in injectieput	41	x	bar
hydrostatische gradient in injectieput	0,1118	0,106	bar/m
lithostatische gradient	0,225	0,225	bar/m
minimale horizontale spanningsgradient (bar/m)	0,16	0,16	bar/m
Injectietemperatuur	15	x	°C
Aquifer temperatuur @ productieput	79	x	°C
Aquifer temperatuur @ injectieput	79	x	°C
Delta temperatuur @ injectieput	64	x	°C
Temperatuurgradient	0,031	0,032	°C/m
Gemiddelde oppervlaktetemperatuur	10	10	°C
Youngs modulus	10000	10000	Mpa
Poisson's ratio	0,25	0,25	frac
Arching coefficient	0,4	0,4	
Biot coefficient	0,75	0,75	
Linear thermal expansion coefficient (°C-1)	1,00E-05	1,00E-05	°C ⁻¹
Cohesie	0	0	bar
Hoek van inwendige wrijving	33	33	°
Invloed thermische stress	Ja		
Uitvoer	Waarde	Validatie	
Tubing Head Pressure toegestaan volgens SodM protocol	42	JA	
Maximale verschildruk injectieput top reservoir	41,8	JA	
Fracking		NEE	
Kans op breukreactivatie		JA	

Figuur 2: GeoMech invoer en uitvoer van het TNO-AGE scenario voor de putten LTG-GT-04 en LTG-GT-05.

Datum
26 juni 2020

Onze referentie
AGE 20-10.057

Blad
25/32

Invoer parameters	waarde	Default	eenheid
Diepte top aquifer in productieput	-1804		m
Diepte top aquifer in injectieput	-1819	x	m
Gemiddelde diepte top aquifer	-1812	x	m
Diepte pomp	-700	-500	m
Aquiferdruk Productieput	201	x	bar
Aquiferdruk Injectieput	203	x	bar
Bottom hole pressure Productieput	168	x	bar
Bottom hole pressure Injectieput	245	x	bar
Drukverschil over put-aquifer interface in productieput	33	x	bar
Drukverschil over put-aquifer interface in injectieput	42	x	bar
hydrostatische gradient in injectieput	0,1118	0,106	bar/m
lithostatische gradient	0,225	0,225	bar/m
minimale horizontale spanningsgradient (bar/m)	0,16	0,16	bar/m
Injectietemperatuur	15	x	°C
Aquifer temperatuur @ productieput	79	x	°C
Aquifer temperatuur @ injectieput	79	x	°C
Delta temperatuur @ injectieput	64	x	°C
Temperatuurgradient	0,032	0,032	°C/m
Gemiddelde oppervlaktetemperatuur	10	10	°C
Youngs modulus	10000	10000	Mpa
Poisson's ratio	0,25	0,25	frac
Arching coefficient	0,4	0,4	
Biot coefficient	0,75	0,75	
Linear thermal expansion coefficient (°C-1)	1,00E-05	1,00E-05	°C ⁻¹
Cohesie	0	0	bar
Hoek van inwendige wrijving	33	33	°
Invloed thermische stress	Ja		
Uitvoer	Waarde	Validatie	
Tubing Head Pressure toegestaan volgens SodM protocol	42	JA	
Maximale verschildruk injectieput top reservoir	42,6	JA	
Fracking		NEE	
Kans op breukreactivatie		JA	

Figuur 3: GeoMech invoer en uitvoer van het TNO-AGE scenario voor de putten LTG-GT-04 en LTG-GT-06.

Datum
26 juni 2020

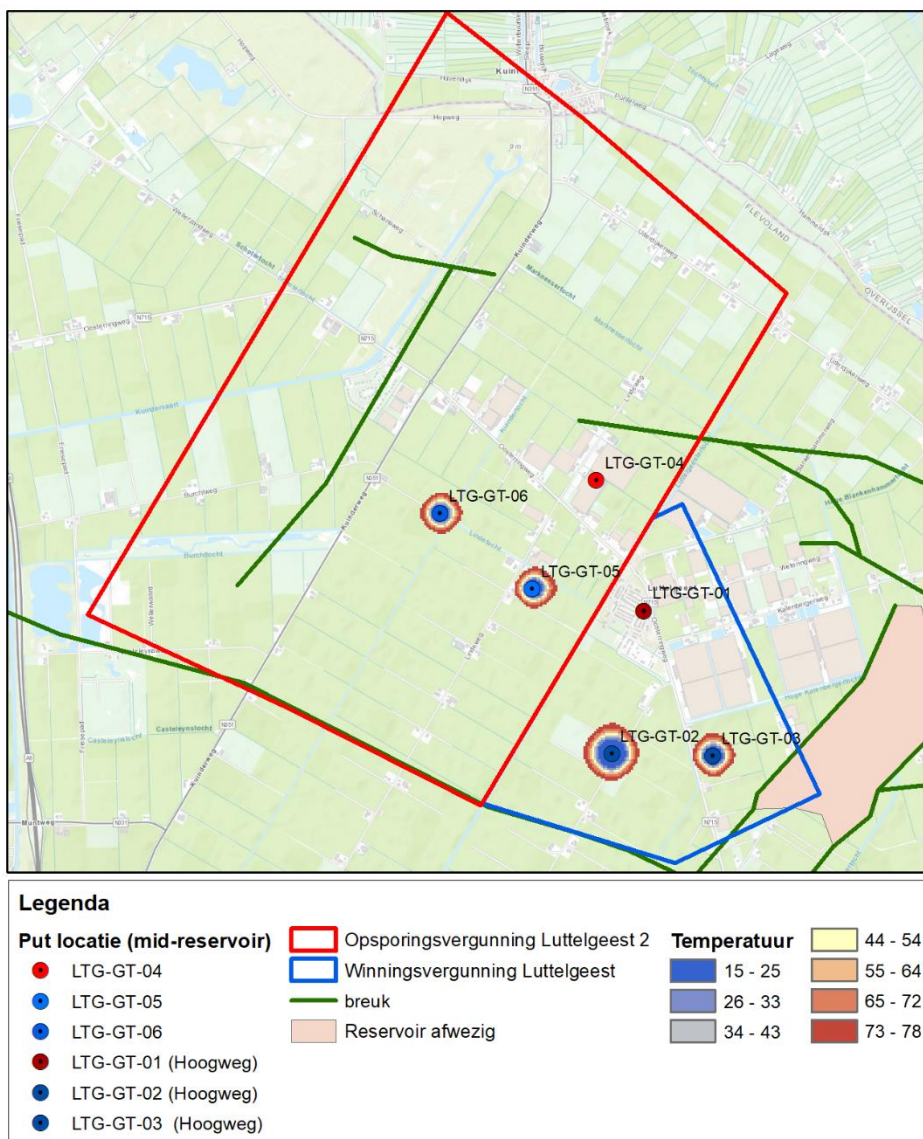
Onze referentie
AGE 20-10.057

Blad
26/32

Bijlage 3: resultaten DoubletCalc modelberekeningen

In deze bijlage worden de resultaten van de modelberekeningen in DoubletCalc2D, uitgevoerd door TNO-AGE, gepresenteerd.

DoubletCalc2D uitvoer



Figuur 4: DoubletCalc2D uitvoer van het TNO-AGE scenario met een maximaal systeem debiet van 305 m3/uur tijdens 7 maanden per jaar bij ACL in combinatie met de winning van het Hoogweg systeem. De kaart toont de temperatuursverandering op reservoirdiepte na drie jaar productie (aangevraagde vergunningsgebied Luttelgeest II in rood).

Datum

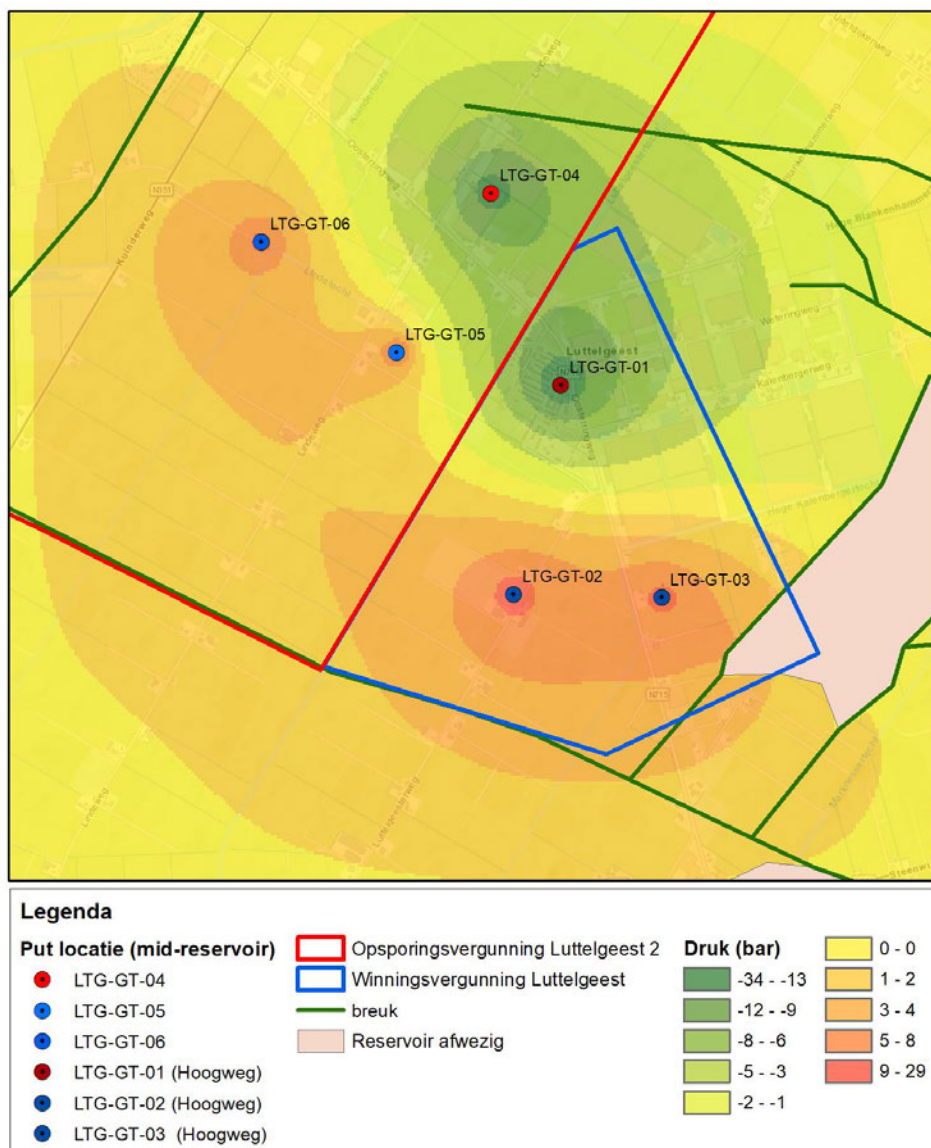
26 juni 2020

Onze referentie

AGE 20-10.057

Blad

27/32



Figuur 5: DoubletCalc2D uitvoer van het TNO-AGE scenario met een maximaal debiet van 305 m3/uur van ACL tijdens 7 maanden per jaar in combinatie met de winning van het Hoogweg systeem. De kaart toont de drukverandering op reservoirdiepte wanneer beide systemen produceren.

Datum

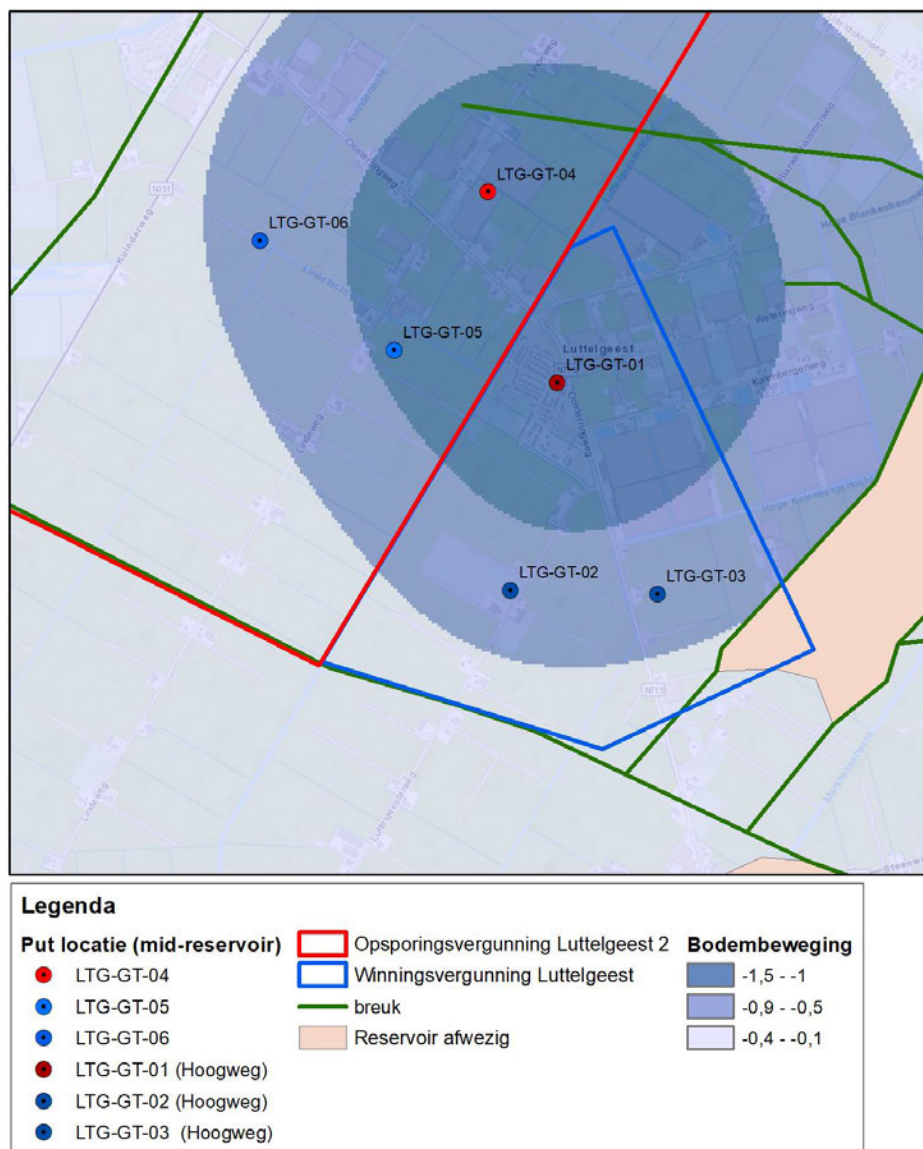
26 juni 2020

Onze referentie

AGE 20-10.057

Blad

28/32

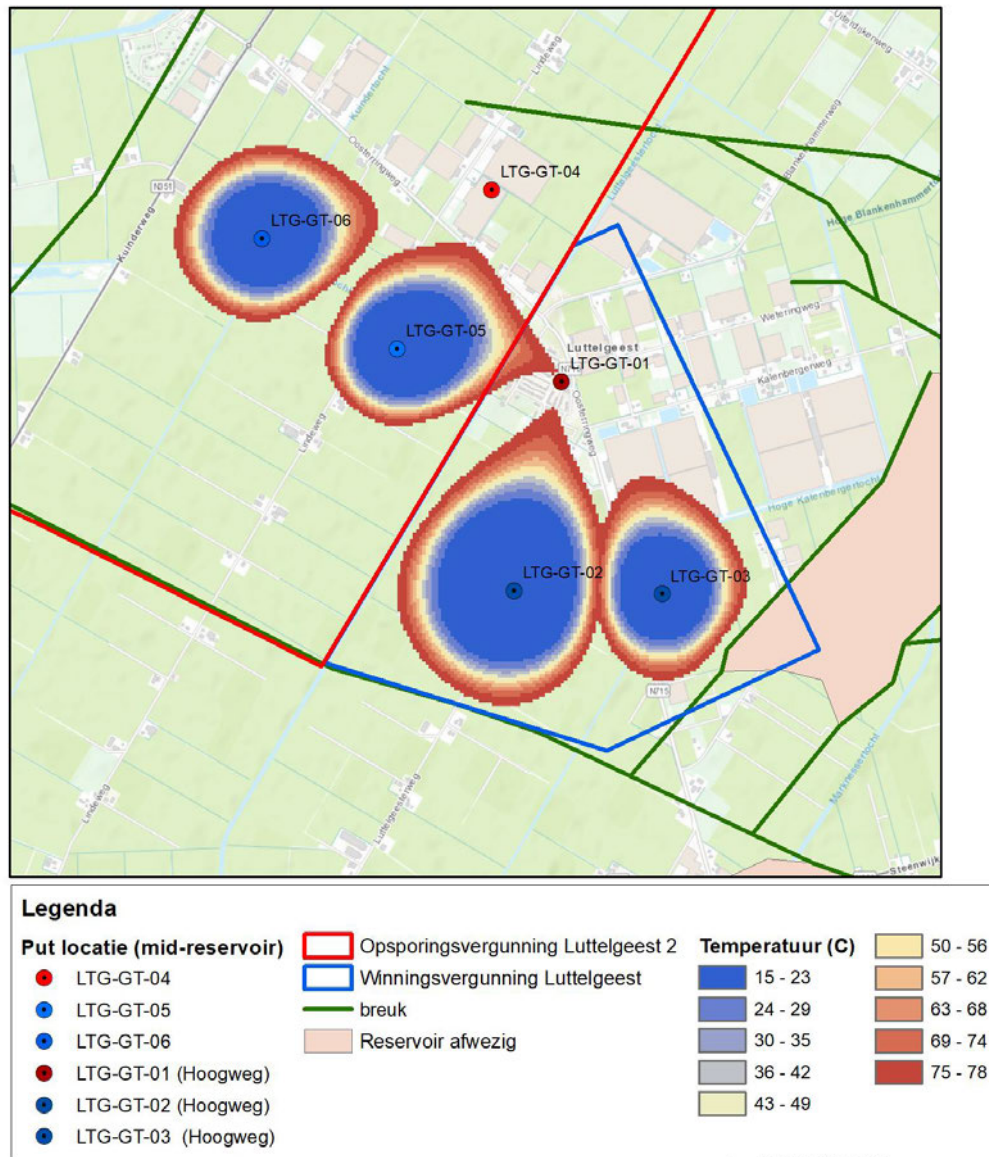


Figuur 6: DoubletCalc2D uitvoer van het TNO-AGE scenario met een maximaal debiet van 305 m³/uur bij ACL tijdens 7 maanden per jaar in combinatie met de winning van het Hoogweg systeem. De kaart toont de mate van bodemdaling na 3 jaar productie.

Datum
26 juni 2020

Onze referentie
GE 20-10.057

blad
9/32



Figuur 7: DoubletCalc2D uitvoer van het TNO-AGE scenario met een maximaal debiet van 305 m³/uur bij ACL tijdens 7 maanden per jaar in combinatie met de winning van het Hoogweg systeem. De kaart toont de temperatuursverandering op reservoirdiepte na 35 jaar productie.

Bijlage 4: SHRA evaluatie kaarten

Afstand tot bekende natuurlijke en geïnduceerde bevingen.

Datum

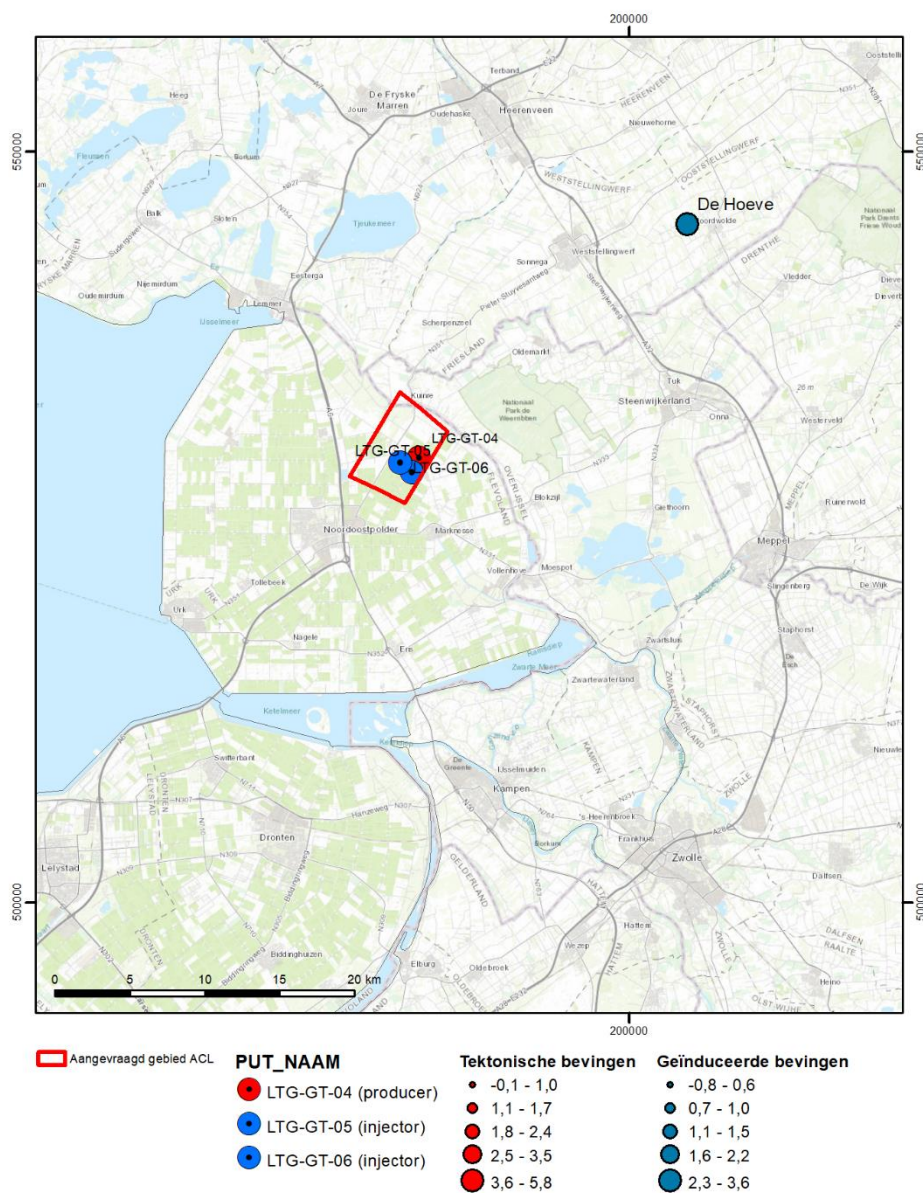
26 juni 2020

Onze referentie

AGE 20-10.057

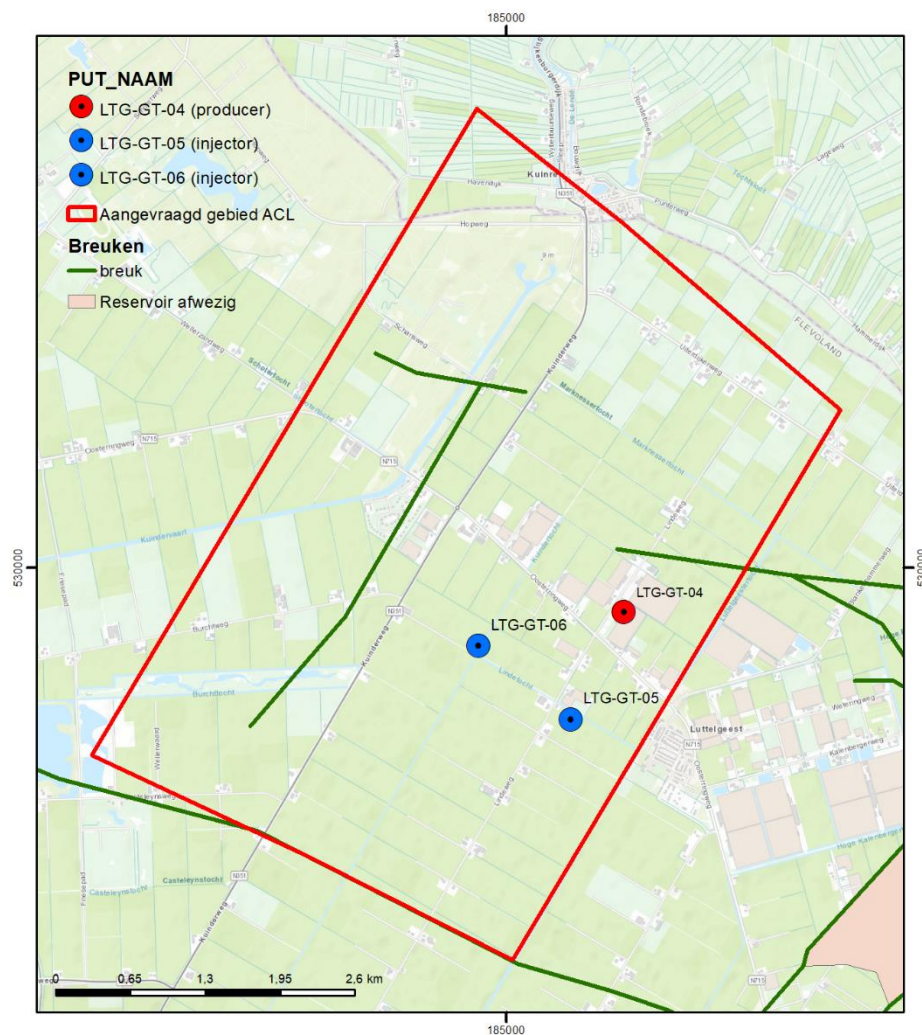
Blad

30/32



Figuur 8: Overzicht van natuurlijke en geïnduceerde bevingen in de nabijheid van het geothermiesysteem ACL. De weergegeven bevingen komen uit de aardbevingscatalogus van het KNMI (<https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/dataset/aardbevingscatalogus-14-04-20>).

Afstand tot breuken.



Datum

26 juni 2020

Onze referentie

AGE 20-10.057

Blad

31/32

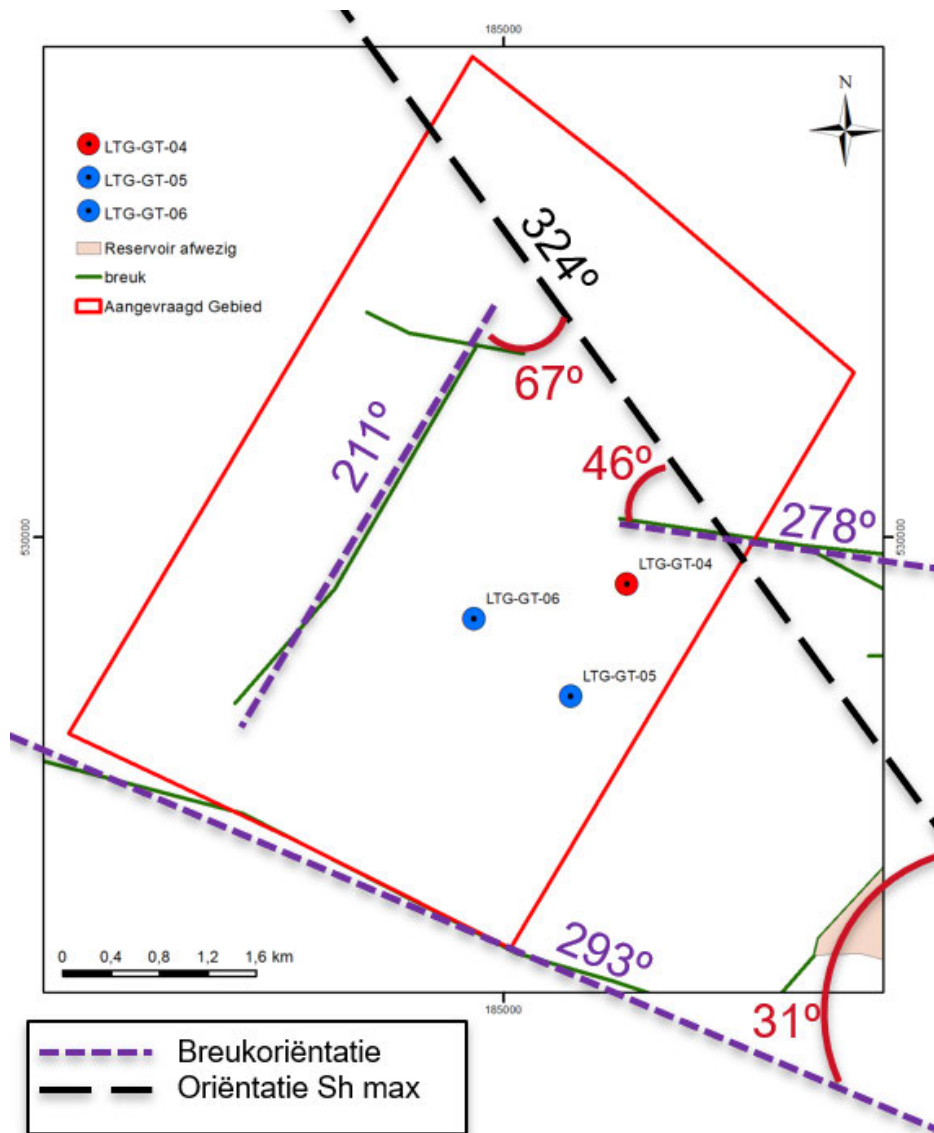
Figuur 9: Afstand van de injectieputten, top reservoir tot de geïnterpreteerde breuken in de ondergrond.

Datum
26 juni 2020

Onze referentie
AGE 20-10.057

Blad
32/32

Breukorientatie



Figuur 10: Breuk oriëntatie i.r.t. de oriëntatie van de maximale spanningsrichting (Sh max) en top reservoir locaties van de putten.

Bijlage 5: erratalijst

- Er vallen TNO-AGE enkele inconsistenties op in Bijlage 3; 1) diepte top aquifer niet overeenkomt met de diepte in de putschema 2) de diepte pomp niet overeen komt met de diepte in de putschema 3) injectietemperatuur niet overeenkomt met max uitkoeling in winter tot 15C.