

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 winningsplan geothermie Luttelgeest

Geachte [REDACTED],

Naar aanleiding van uw adviesverzoek van 8 augustus 2019 (per email) ter ondersteuning van het te nemen instemmingsbesluit betreffende het winningsplan aardwarmte Luttelgeest van 11 maart 2019 door Hoogweg Aardwarmte B.V. (hierna: vergunninghouder), stuur ik u hierbij ons advies.

De vereisten en weigeringsgronden verwoord in de mijnbouwwet (art. 34 t/m 36) zijn leidend bij de evaluatie van de aanvraag.

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

1. Veiligheid van omwonenden, schade aan gebouwen of infrastructurele werken als gevolg van bodembeweging:
 - Bodemtrillingen: controle op SHRA berekeningen;
 - Bodemdaling/stijging: controle bodemdaling/stijging prognoses;
2. 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.

Beschrijving winning

Het aardwarmtesysteem Luttelgeest, bestaande uit een productieput (LTG-GT-01) en twee injectieputten (LTG-GT-02 en -03) is sinds december 2018 in productie. Het systeem ligt in het gebied dat is gedefinieerd als de winningsvergunning voor aardwarmte Luttelgeest, die bij beschikking met kenmerk DGKE-W/19094544 aan de vergunninghouder is verleend op 24 mei 2019 en geldt voor 33 jaar. Het winningsplan is ingediend vóór de toekenning van de winningsvergunning. In de

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

T +31 88 866 42 56

Datum

26 februari 2020

Onze referentie

AGE 20-10.015

Contactpersoon

[REDACTED]

E-mail

[REDACTED]@tno.nl

Bijlage(n)

5

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 februari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.015

Blad
2/39

aanvraag voor de winningsvergunning wordt uitgegaan van 35 jaar. In het winningsplan wordt ook uitgegaan van 35 jaar. Aardwarmtewinning vindt plaats uit de watervoerende lagen van de Slochteren Formatie. Hieruit wordt momenteel warm water geproduceerd met een temperatuur van ca. 79 °C, dat vervolgens weer wordt geïnjecteerd met een gemiddeld systeemdebiet op maandbasis van circa 190 tot 370 m³/uur en een injectietemperatuur variërend tussen 15 en 38 °C. De stroming van warm water naar de productieput en injectie van afgekoeld water vindt plaats door en in de poreuze gesteentematrix van deze formatie. De gewonnen warmte wordt gebruikt door glastuinbouwbedrijven. Het debiet waarmee de vergunninghouder wil gaan produceren is gemiddeld 375 m³/uur met een jaarlijkse opbrengst aan energie van ca. 0,7 PJ.

De vergunninghouder beschrijft in het winningsplan [1] een toekomstige uitbreiding van het aardwarmtesysteem, namelijk de uitbreiding van de geothermische installatie met nog een doublet. TNO-AGE neemt deze uitbreiding niet mee in de evaluatie van het winningsplan omdat de vergunninghouder niet voldoende informatie heeft toegevoegd om dit doublet op gepaste wijze te evalueren.

1. Planmatig gebruik van de ondergrond

Vergunninghouder vraagt instemming met het winningsplan [1], waarin de maanddebieten variëren tussen circa 190 en maximaal 475 m³/uur. Dit resulteert in een gemiddeld jaardebiet van 375 m³/uur, dat wordt voorgesteld tot aan het einde van de huidige winningsvergunning op 24 mei 2052. Daarbij wordt uitgegaan van een injectietemperatuur van 15 °C in de winter (8 maanden) en 38 °C in de zomer (4 maanden). Er wordt gebruik gemaakt van één productieput en twee injectieputten. Er wordt beoogd het te injecteren water gelijkelijk te verdelen over de injectieputten waarbij de injectiedebieten per put variëren van ca. 95 tot 237 m³/uur.

TNO-AGE heeft de invoerparameters en de daaruit voortvloeiende injectiedrukken en afkoelingscontouren geëvalueerd en vervolgens eigenstandig nagerekend met de software pakketten DoubletCalc1D en -2D. Bijlage 3 toont de resulterende druk- en temperatuurdistributie in de ondergrond aan het einde van de winningsvergunning in 2052.

De vergunninghouder geeft in het winningsplan aan te willen produceren bij een hogere injectiedruk (61 bar aan de oppervlakte) dan wordt geaccepteerd zonder extra onderbouwing onder het huidige SodM protocol (ca. 41 bar op reservoirdiepte) [5]. Hiervoor levert de vergunninghouder in meerdere aanvullende notities een onderbouwing. .

TNO-AGE vindt de analyse en onderbouwing met name voor de verhoogde injectiedruk zoals aangeleverd door de vergunninghouder onvolledig en op enkele punten inconsistent of onjuist. Hierdoor is het voor TNO-AGE niet mogelijk om te evalueren of een positief advies voor: 1) een hogere toelaatbare injectiedruk en 2) een uitkoeling tot 15°C, mogelijk is. TNO-AGE is bij dit advies dan ook uitgegaan van richtlijnen uit het huidige SodM protocol [5] dat resulteert in een maximaal toelaatbare injectiedruk van 41 bar op reservoirdiepte zonder rekening te houden met eventuele effecten van de lage injectietemperatuur (15°C). TNO-AGE acht dit

Datum
26 februari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.015

Blad
3/39

mogelijk omdat niet wordt verwacht dat het afsluitende pakket op korte termijn zijn integriteit verliest ten gevolge van het effect van afkoeling.

Een maximaal toelaatbare injectiedruk per injectieput van circa 41 bar op reservoirdiepte, conform het protocol [5], komt bij de huidige geologische en operationele parameters overeen met een berekend maximaal systeemdebiet van circa 394 m³/uur bij een injectietemperatuur van 15°C en 546 m³/uur bij 38 °C injectietemperatuur. De eerste, 394 m³/uur, is lager dan het geprognoseerde debiet in de wintermaanden van 475 m³/uur zoals gesteld in het winningsplan [1] en zal voor de evaluatie van het winningsplan gelden als een maximaal haalbaar debiet bij gelijkblijvende injectiviteit. Op basis van deze voorgestelde injectiedrukbeperking wordt binnen de vergunningsperiode door het systeem naar verwachting ca. 91 miljoen m³ warm water geproduceerd.

Gedurende het productieproces vindt bijvangst van opgelost aardgas plaats. De vergunninghouder vermeldt in het winningsplan [1] dat deze bijvangst ca. 0,4 m³ gas per m³ water is. De in de productiedata gerapporteerde bijvangst blijkt enigszins lager te zijn met een verhouding van 0,33 m³/m³ geproduceerd gas en water.

TNO-AGE acht het voorgestelde winningsplan met een maximaal gemiddeld debiet van 475 m³/uur bij een injectietemperatuur van 15°C in de wintermaanden niet afdoende plan- en doelmatig. De onderbouwing voor een hogere injectiedruk is niet adequaat om een uitspraak te kunnen doen over de validiteit van de hogere injectiedruk m.b.t. de integriteit van het afdichtende pakket. Vervolgens lijkt het in het winningsplan voorgestelde debiet niet gehaald te kunnen worden binnen de beperking van de injectiedruk conform het huidige SodM protocol.

Er zijn momenteel geen mijnbouwactiviteiten in de nabijheid van de geothermische installatie, daarom is er nu geen sprake van ondergrondse interferentie. Wel wordt er in de toekomst interferentie verwacht met een aantal geplande geothermische systemen in de opsporingsvergunningen voor aardwarmte Luttelgeest II en Luttelgeest 2.

2. Bodemdaling

TNO-AGE heeft de bodemdalingsprognose gemodelleerd op basis van het productieprofiel van de aanvrager. In de wintermaanden is dit profiel getrunkeerd op het debiet passend bij een maximale injectiedruk van ca. 41 bar (394 m³/uur), conform het SodM protocol. In de zomermaanden, bij een injectietemperatuur van 38°C gaat TNO-AGE uit van de debieten zoals gegeven in het addendum op het winningsplan. De historische productie is ook meegenomen in het model. Uitgaande van voornoemd productiescenario komt TNO-AGE uit op een maximale bodemdaling van ca. 8 mm aan het einde van de huidige winningsvergunning in 2052, enkel ten gevolge van de krimp van het reservoir door afkoeling van het gesteente. Dit komt nagenoeg overeen met het resultaat van de vergunninghouder omdat beide DoubletCalc2D modellen nagenoeg dezelfde productieprognose gebruiken voor de berekeningen. De mate van bodemdaling neemt af met toenemende afstand van de injectieputten (Figuur 5 Bijlage 3). De dichtstbijzijnde natuur/ beschermings-

Datum
26 februari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.015

Blad
4/39

gebieden liggen op een afstand van ca. 5 km, waardoor de modelmatige bodemdaling door aardwarmtewinning hier nihil tot verwaarloosbaar is.

TNO-AGE concludeert dat de modelmatig berekende maximale bodemdaling ten gevolge van de winning van aardwarmte ca. 8 mm is bij het verlopen van de winningsvergunning.

3. Bodemtrilling

Op basis van de KNMI-database concludeert zowel de vergunninghouder als TNO-AGE dat er geen historische (natuurlijke dan wel geïnduceerde) bevingen gemeten zijn in de nabije omgeving van het geothermisch systeem Luttelgeest.

Vergunninghouder heeft conform de leidraad^{1,2} een seismische hazard-risicoanalyse (SHRA) uitgevoerd voor het geothermisch systeem Luttelgeest. Vergunninghouder komt uit op een genormaliseerde seismisch potentieel score van 0,22 en stelt dat het geothermisch systeem Luttelgeest classificeert in de laagste risicocategorie voor het induceren van seismiciteit.

TNO-AGE heeft deze analyse geëvalueerd en eigenstandig nagerekend en heeft daarnaast ook een SHRA uitgevoerd conform de leidraad^{1,2}. De daaruit resulterende genormaliseerde score van 0,41 is hoger dan de uitkomst van de vergunninghouder (0,22) en resulteert in een gemiddeld potentieel voor het induceren van seismiciteit. Het resultaat van TNO-AGE wijkt af van dat van de vergunninghouder doordat TNO-AGE een hogere score geeft aan de categorieën “drukcommunicatie tussen productie- en injectieput” (3 i.p.v. 0), “injectiedruk” (7 i.p.v. 3), “debiet” (10 i.p.v. 7), “breukoriëntatie in huidig spanningsveld” (7 i.p.v. 3), en “afstand tot breuken” (10 i.p.v. 7).

TNO-AGE benadrukt dat deze uitkomst voor de SHRA geldt voor productie bij een maximale injectiedruk van circa 41 bar o.b.v. het huidige SodM protocol zonder rekening te houden met de effecten van de lage injectie temperatuur.

Een aanpassing van de injectiedruk per injectieput naar 37 bar resulteert volgens de modelberekeningen in een iets verlaagd maximaal debiet (debietbegrenzing) van 358 m³/uur bij een injectietemperatuur van 15°C. Hierdoor worden de scores van zowel de categorieën “injectiedruk” als “debiet” verlaagd van 7 en 10 naar respectievelijk 3 en 7. Dit zou resulteren in een genormaliseerde score van 0,33 conform de leidraad en dus een laag potentieel voor het induceren van seismiciteit.

TNO-AGE komt uit op een gemiddelde seismische dreiging voor het aardwarmtesysteem Luttelgeest. Dit wijkt af van het resultaat van de vergunninghouder, die uitkomt op een laag potentieel voor het induceren van

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 februari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.015

Blad
5/39

seismiciteit. Conform de leidraad^{1,2} zou de vergunninghouder daarom een evaluatie van de locatie specifieke seismische dreiging uit moeten voeren voor het systeem Luttelgeest.

Conclusie en aanbevelingen

TNO-AGE heeft expliciet geen rekening gehouden met de in het winningsplan beschreven uitbreiding van het systeem met een additioneel doublet.

TNO-AGE ziet geen geotechnische belemmeringen m.b.t. de berekening van de verwachte bodemdaling.

TNO-AGE acht de in het winningsplan beschreven toekomstige productie, met een maximaal gemiddeld debiet van 475 m³/uur bij een injectietemperatuur van 15°C in de wintermaanden, niet afdoende plan- en doelmatig omdat het beoogde debiet niet gehaald lijkt te worden binnen de begrenzing van de injectiedruk volgens het huidige SodM protocol.

- TNO-AGE adviseert daarom om, bij een eventuele instemming met het winningsplan, de nadrukkelijke voorwaarde op te nemen dat vooralsnog de toelaatbare injectiedruk op reservoirdiepte maximaal 41 bar mag zijn op reservoirdiepte. Daarbij is ervan uitgegaan dat de beschreven operationele configuratie, productieprofiel en seizoensafhankelijke injectietemperatuur, tot einde productie gehandhaafd blijven.
- Daarnaast adviseert TNO-AGE EZK om de vergunninghouder te verzoeken op termijn een adequate onderbouwing aan te leveren van de maximale injectiedruk, zoals beschreven in de bijlage, waarbij rekening wordt gehouden met een injectietemperatuur van 15°C. Op basis van deze onderbouwing kan vervolgens worden bepaald of de maximaal op te leggen injectiedruk op reservoirdiepte kan worden verhoogd of verlaagd t.o.v. de voorgestelde begrenzing.

De evaluatie van de SHRA-analyse door TNO-AGE, conform de SHRA methodiek zoals geïmplementeerd^{1,2}, resulteert in gemiddeld potentieel voor het induceren van seismiciteit voor het geothermische systeem Luttelgeest. Conform de leidraad^{1,2} zou de vergunninghouder daarom een evaluatie van de locatie specifieke seismische dreiging uit moeten voeren voor dit systeem.

- Vanwege de uitkomst van de SHRA evaluatie geeft TNO-AGE ter overweging om de injectiedruk op reservoirdiepte vooralsnog te begrenzen op 37 i.p.v. 41 bar. Bij een injectiedruk van 37 bar valt het systeem namelijk in de laagste seismisch potentieel categorie. Op die manier zou voorwaardelijk ingestemd kunnen worden met het ingediende winningsplan, tot het moment dat de vergunninghouder een adequate onderbouwing van de injectiedruk bij een uitkoeling tot 15°C heeft aangeleverd. Op basis van deze resultaten kan bepaald worden of de uitkomst van de SHRA verandert. Indien het systeem alsnog in de gemiddelde seismisch potentieel categorie valt dient de vergunninghouder een evaluatie van de locatie-specifieke seismische dreiging aan te leveren.

Datum
26 februari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.015

Blad
6/39

Ik verwacht u hiermee van dienst te zijn geweest.

Met vriendelijke groet,




Hoofd Adviesgroep Economische Zaken en Klimaat

- Bijlage 1: geotechnische evaluatie winningsplan 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 Luttelgeest

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 geothermiesysteem Luttelgeest. In deze rapportage worden de resultaten en bevindingen van de door TNO-AGE uitgevoerde evaluatie beschreven.

1. Configuratie aardwarmtesysteem

Het aardwarmtesysteem Luttelgeest, bestaande uit een productieput (LTG-GT-01) en twee injectieputten (LTG-GT-02 en -03) is sinds december 2018 in productie. Het systeem is gericht op de watervoerende lagen van de Slochteren Formatie. Een schematisch overzicht van het systeem wordt gepresenteerd in Figuur 2 [1] en een overzicht van de putten is gegeven in Figuur 5, 6 en 7 [1]. De gewonnen warmte wordt gebruikt door glastuinbouwbedrijven.

2. Toekomstige uitbreidingen

De vergunninghouder beschrijft in paragraaf 4.3 [1] het voornemen om in de toekomst meerdere productie- en injectieputten vanaf dezelfde boorlocatie te boren. Er is reeds een SDE+ subsidie aangevraagd en toegekend voor een additioneel doublet en in 2019 wordt gewerkt aan de concept engineering van de putten en de installatie. Hiervan zijn nog geen resultaten meegestuurd met het winningsplan [1].

In de productieprognose heeft de vergunninghouder al wel rekening gehouden met een toekomstige uitbreiding, door vanaf 2021 de te produceren hoeveelheid energie te verdubbelen. Echter, verder is van dit geplande systeem geen beschrijving aangeleverd of een indicatie van de te verwachten geologische parameters. Ook is geen bodemdalingsanalyse en seismisch gevaar en risico evaluatie voor dit systeem opgenomen. Vanwege het ontbreken van deze informatie is TNO-AGE van mening dat in het winningsplan [1] vooralsnog van het huidige systeem moet worden uitgegaan en wordt de mogelijk toekomstige productie nog niet meegenomen in de modelberekeningen.

3. Evaluatie put-, reservoir- en productiegegevens

TNO-AGE heeft een evaluatie uitgevoerd van de in het winningsplan [1] beschreven put-, reservoir- en productiegegevens die als invoer dienen voor de reservoir modellering. Indien tot andere inzichten is gekomen wordt dat in deze paragraaf beschreven.

3.1 Putgegevens

De door de aanvrager in paragraaf 3.4 [1] gerapporteerde putgegevens, m.b.t. locaties en architectuur, komen nagenoeg overeen met die in de End Of Well Reports (EOWR) van de drie putten. Wel ziet TNO-AGE een essentiële afwijking in de diameter van het boorgat in de reservoirsectie van put LTG-GT-03. In Figuur 7

[1] wordt een diameter van 12,25 inch gegeven, maar de gerealiseerde diameter zoals te vinden in het End Of Well Report is 8,5 inch. De vergunninghouder houdt bij de eigen welltest analyse een diameter van 8,5 inch aan. Op basis hiervan heeft TNO-AGE een well diameter van 8,5 inch overgenomen voor de modelberekeningen.

3.2 Reservoirgegevens

In paragraaf 3.6 van [1] worden de reservoir eigenschappen beschreven. Tabel 2 [1] geeft de reservoir parameterwaarden zoals die op basis van putgegevens zijn bepaald voor de drie putten van het systeem. De putgegevens, zoals door TNO-AGE gebruikt voor de reservoirmodellering, zijn gegeven in Tabel 2 hieronder.

Diepte en bruto dikte

De vergunninghouder presenteert in het winningsplan een pre-drill top reservoir dieptekaart (Figuur 10 [1]) en bruto diktekaart (Figuur 11 [1]). Deze kaarten zijn niet geactualiseerd o.b.v. de diepte en dikte van het reservoir zoals aangetroffen in de drie putten van het triplet.

De interpretatie van de top en basis diepte van de aquifer door TNO-AGE wijkt licht af van die door de vergunninghouder (< 2 meter, zie Tabel 2). Daarnaast heeft TNO-AGE voor de put LTG-GT-01 een beperkte *depth shift* toegepast waardoor de top en basis van het reservoir ca. 3 meter ondieper liggen (Tabel 2).

Het bovenliggende pakket bestaat uit ca. 80 meter mergel van het Boven Holland Mergel Laagpakket. De porositeit en permeabiliteit van dit gesteente is dermate laag dat dit als een afsluitend pakket kan worden beschouwd.

Netto/bruto verhouding

De vergunninghouder geeft in Tabel 2 [1] geen netto dikte en netto-bruto waarden. TNO-AGE heeft de netto/bruto verhouding en netto dikte zelf bepaald o.b.v. de Gamma-Ray logmetingen in de drie putten (zie Tabel 2). De netto/bruto waarden in Tabel 2 zijn door TNO-AGE gebruikt voor de modelberekeningen.

Porositeit

In geen van de drie putten zijn porositeitslogs opgenomen. Daardoor is het niet mogelijk om de porositeit van de Slochteren Fm. op de projectlocatie direct te berekenen. De vergunninghouder geeft in tabel 2 [1] een porositeit van 20% voor alle drie putten. Hoe de vergunninghouder aan 20% is gekomen wordt niet toegelicht.

TNO-AGE heeft porositeitwaarden bepaald op basis van regionale porositeit-permeabiliteit relatie m.b.v. TNO-AGE permeabiliteitwaarden zoals gegeven in Tabel 2. Deze porositeitwaarden wijken af van de door de vergunninghouder opgegeven waarden. Voor de modelberekeningen is TNO-AGE uitgegaan van de door TNO-AGE bepaalde porositeitwaarden.

Permeabiliteit

De vergunninghouder rapporteert permeabiliteitswaarden van drie verschillende analyses.

De *puttest* permeabiliteitwaarden worden gerapporteerd in Tabel 2 [1] en in het rapport Evaluatie Puttest [2]. TNO-AGE heeft eigen puttest analyses uitgevoerd

Datum
26 februari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.015

Blad
9/39

voor de drie putten. De permeabiliteitwaarden van de analyses zijn gegeven in Tabel 2. De TNO-AGE waarden wijken af van die van de vergunninghouder. Bij de puttestinterpretatie van LTG-GT-03 stelt de vergunninghouder dat in het model voor LTG-GT-03 gebruik is gemaakt van een skin van 2,5 om te corrigeren voor de beperkte toestroming vanuit het oosten. Dit wordt gedaan omdat de verstoring niet fysiek in het puttest model is opgenomen. Deze manier van corrigeren beschouwt TNO-AGE als niet valide omdat de skin alleen iets zegt over de toestroom in de directe nabijheid van de put en niet representatief is voor de stroming op 500 meter afstand van de put. TNO-AGE heeft een interpretatiemodel gebruikt waar dit wel wordt meegenomen.

De *petrofysische* permeabiliteit wordt door de vergunninghouder verder niet toegelicht en lijkt een pre-drill waarde te zijn uit een SDE aanvraag uit 2017 [3] (Tabel 2 [1]).

Interferentietest permeabiliteitwaarden worden gegeven in het rapport Evaluatie Puttest [2, Tabel 3.1]. De vergunninghouder beschouwt de interferentietest permeabiliteitwaarden als leidend. Een dergelijke interferentietest analyse vereist zowel de porositeit als de compressibiliteit als invoerwaarden. Omdat deze parameters niet met zekerheid te bepalen zijn in deze putten is ook het resultaat van de interferentietest onzeker.

Naar aanleiding van de hierboven beschreven analyse beschouwt TNO-AGE, voor LTG-GT-01, LTG-GT-02 en LTG-GT-03, de TNO-AGE puttest permeabiliteitwaarden als meer aannemelijk. Daarnaast volgt uit de puttest evaluatie dat er op afstand van de put LTG-GT-03 een permeabiliteits-barrière is.

Saliniteit formatiewater

De vergunninghouder geeft in Tabel 3 [1] een formatiewater samenstelling met een concentratie (TDS - Total Dissolved Solids) van 210000 mg/l voor LTG-GT-01, 230000 mg/l voor LTG-GT-02, en 220000 mg/l voor LTG-GT-03. De dichtheid van het water is 1,16 g/l voor de drie putten. Verder geeft de vergunninghouder de samenstelling van het formatiewater voor alle drie putten op basis van watermonsters. Aan de hand van deze samenstelling heeft TNO-AGE een gemiddelde TDS en gemiddelde dichtheid bij 25°C berekend. Een overzicht van de waarden zoals bepaald door de vergunninghouder en TNO-AGE is gegeven in Tabel 1.

Tabel 1: Overzicht van Total Dissolved Solids, gemiddelde dichtheid en NaCl eq. zoals gegeven door de vergunninghouder en zoals bepaald door TNO-AGE.

	Vergunninghouder			TNO-AGE		
	LTG-GT-01	LTG-GT-02	LTG-GT-03	LTG-GT-01	LTG-GT-02	LTG-GT-03
Gem. TDS (ppm)	210000	230000	220000	200440	170285	161963
Gem. dichtheid (g/l)	1,160	1,160	1,160	1,159	1,139	1,132
NaCl equivalent (ppm)	-	-	-	190918	156004	-

Met name voor LTG-GT-02 en LTG-GT-03 is de concentratie lager (ongeveer 25%) t.o.v. de door de vergunninghouder in het winningsplan gerapporteerde waarden

Datum
26 februari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.015

Blad
10/39

(Tabel 3 in [1]). Na verdere evaluatie blijken de Total Dissolved Solids in LTG-GT-03 niet in balans te zijn. TNO-AGE gebruikt voor de verdere berekeningen dan ook alleen de waarden van LTG-GT-01 en LTG-GT-02. De vergunninghouder rapporteert geen NaCl equivalent waarden. In Tabel 1 zijn daarom ook de NaCl equivalent gegeven zoals bepaald door TNO-AGE. Omdat in DoubletCalc de concentratie in NaCl equivalent gebruikt wordt, zijn voor de verdere modelberekeningen gemiddelde NaCl equivalent waarden voor LTG-GT-01 en LTG-GT-02 gebruikt van 173.461 ppm. Dit komt goed overeen met de saliniteit zoals bepaald voor het Koekoekspolder systeem op ongeveer 20 km afstand van Luttelgeest. De Slochteren Formatie bevindt zich in de putten van het Koekoekspolder systeem op een diepte van ongeveer 1850 m.

Temperatuur

In paragraaf 3.6 stelt de vergunninghouder dat de geothermische gradiënt ongeveer 3,4 °C per 100 meter is, wat equivalent is aan een mid-reservoir temperatuur van ongeveer 75,6 °C voor de producer LTG-GT-01. De vergunninghouder geeft daarnaast per put (mid-)reservoirtemperaturen in Tabel 2 [1]. Deze waarden zijn 1 tot 2 graden hoger. Productiecijfers aangeleverd aan TNO laten een reservoir temperatuur zien van maximaal 79 °C. TNO-AGE gaat voor de reservoirmodellering in DoubletCalc2D en voor de modellering in DoubletCalc1D daarom uit van een mid-reservoir temperatuur van 79 °C.

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

Reservoir eigenschap	Vergunninghouder			TNO-AGE			Opmerkingen
	LTG-GT-01	LTG-GT-02	LTG-GT-03	LTG-GT-01	LTG-GT-02	LTG-GT-03	
Diepte top reservoir (mTVD)	1743,5	1730	1723,5	1740,68	1730	1723,5	Depth shift voor LTG-GT-01 toegepast
Bruto dikte (m)	80	66	71	81	67,4	71,4	Waarden TNO-AGE o.b.v. eigen herinterpretatie 2019.
Netto dikte (m)	-	-	-	81	67,4	66,4	
Netto-bruto (%)	-	-	-	100	100	93	
Porositeit (%)	20	20	20	17,7	19,1	17,1	Porositeit TNO-AGE bepaald met permeabiliteit van TNO-AGE well test analyse.
Permeabiliteit petrofysica (mD)	600	600	600	-	-	-	
Transmissiviteit puttest (Dm)	23	29	20	18,6	23,4	13,1	Transmissiviteit TNO-AGE o.b.v. eigen herinterpretatie 2019.
Permeabiliteit puttest (mD)	284	445	282	229,7	346,5	197	Permeabiliteit TNO-AGE uit TNO-AGE well test analyse
Permeabiliteit interferentietest (mD)	-	324/334*	282	-	-	-	
Skin puttest (-)	-	-	2,5**	-0,5	-0,8	0,9	Skin TNO-AGE uit TNO-AGE well test analyse

* Permeabiliteit o.b.v. interferentietest met LTG-GT-03/LT-GT-01

** De vergunninghouder stelt dat in het model voor LTG-GT-03 gebruik is gemaakt van een skin van 2,5 om te corrigeren voor de beperkte toestroming vanuit het oosten omdat de verstoring niet fysiek in het puttest model is opgenomen.

Aquiferdruk

In het winningsplan wordt een reservoirdruk op top-reservoirdiepte gesteld van 192 bar voor LTG-GT-03 (Tabel 2 in [1] en Tabel 2.1 in [2]).

TNO-AGE merkt op dat downhole drukmetingen in LTG-GT-01 tijdens de puttest een reservoirdruk van 181 bar laten zien. Deze drukmetingen zijn genomen op ca. 100 meter boven top-reservoirdiepte. Dit komt, rekening houdend met de hydrostatische drukgradiënt, tot een reservoirdruk van ca. 192 bar. TNO-AGE gaat in de verdere berekeningen uit van een reservoirdruk van 192 bar op de diepte van top-reservoir.

3.3 Productiegegevens en productieprognose

De vergunninghouder heeft, in een addendum op het winningsplan [4], gegevens geleverd die de productie van het geothermisch systeem karakteriseren onder beoogde standaard operationele condities (Tabel 6 in [4]). De vergunninghouder voorziet een uitbreiding van het bestaande systeem in 2021. De gegevens die de productie van het geothermisch systeem karakteriseren in Tabel 6 [4] zijn voor het huidige systeem en niet voor de toekomstige uitbreiding. Wel wordt er in de productieprognose in Tabel 7 [4] vanaf 2021 een verdubbeling van de productie gesteld. Voor de verdere reservoirmodellering gaat TNO-AGE uit van de huidige systeemconfiguratie. Hiervoor worden de productieprognose van 2019 en 2020 ge-extrapolleert tot het eind van de vergunningsduur van 33 jaar.

In het addendum op het winningsplan (Tabel 7 [4]) wordt de historische productie van het systeem gegeven. TNO-AGE heeft deze vergeleken met de door de vergunninghouder wettelijk aangeleverde productiedata. Voor 2018 komt de totale productie overeen. Voor 2019 is nog geen vergelijking mogelijk.

Injectiedruk

De vergunninghouder hanteert in het winningsplan een maximale operationele Well Head Pressure (WHP) van 61 bar (Tabel 9 in [1]). Dit is hoger dan de op basis van het huidige SodM protocol [5] maximale toelaatbare injectiedruk van circa 41 bar op reservoirdiepte.

In de aanvullende notitie door IF Technology; notitie "Hoogweg injectiedruk en geïnduceerde seismiciteit" van oktober 2018 [6] en twee aanvullende notities [7 en 8] wordt een onderbouwing gegeven voor een hogere toelaatbare injectiedruk.

In de notitie [6], worden door de vergunninghouder drie aspecten benoemd die bepalend zouden zijn voor een maximale toelaatbare injectiedruk van 61 bar (WHP), namelijk: (1) een lokale *effectieve* minimale horizontale stress (Sh_{min}) die afwijkt van een Sh_{min} op basis van het huidige SodM protocol, (2) een temperatuur-gerelateerde stressverandering (thermo-elastisch effect) in het reservoir wegens afkoeling, en (3) een drukafhankelijke stressverandering (poro-elastische effect) in het reservoir wegens een drukverandering door injectie. Naast deze drie aspecten geeft de vergunninghouder aan rekening te houden met een netto-injectiedruk tussen de 10 en 11 bar en dynamische drukverliezen in de injectieput van maximaal 6 bar.

1) Minimale effectieve horizontale stress

Voor de bepaling van de maximale injectiedruk wordt in het huidige SodM protocol [5], een minimale horizontale stress (Sh_{min}) gradiënt van 0,135 bar/m gehanteerd. Deze gradiënt is een conservatieve grenswaarde voor de verwachte ondergrens van de fracture propagation druk op top-reservoir diepte [5]. De Sh_{min} gradiënt is als volgt afhankelijk van de minimale effectieve horizontale stress (Sh_{min}'):

$$Sh_{min} \text{ gradiënt} = (Sh_{min}' + \text{reservoirdruk}) / \text{Diepte top reservoir}$$

Op basis van een Sh_{min}' van 75 bar, gegeven in de notities [6 en 7], een reservoirdruk van 192 bar en een top-reservoir diepte van 1723,5 m, berekent TNO-AGE een minimale horizontale spanningsgradiënt van 0,155 bar/m.

De Sh_{min}' voor Luttelgeest is door de vergunninghouder vastgesteld op 75 bar [6, 7] o.b.v. leak off test data van putten van het Friesland Platform. Aan de hand van Figuur 2b in Van Wees et al. (2014) [9] is voor het Friesland Platform een k' bepaald van 0,38. Hierbij is k' de ratio tussen de effectieve horizontale stress (σ'_h) en de effectieve verticale stress (σ'_v):

$$k' = \sigma'_h / \sigma'_v$$

TNO-AGE is van mening dat niet helder is o.b.v. Figuur 2b [9] wat de k' waarde is voor het Friesland Platform en daarom is het niet duidelijk waarom de vergunninghouder voor het Friesland Platform een k' van 0,38 als representatief acht. TNO-AGE ziet verder o.b.v. leak off test data [9] dat de Sh_{min} -gradiënt lokaal sterk kan variëren. TNO-AGE is van mening dat te weinig rekening is gehouden met de spreiding in de data en dat conservatieve waarden onvoldoende zijn meegenomen in de bepaling van een representatief k' ratio voor de Luttelgeest locatie.

Een Sh_{min}' van 75 bar wordt, in de notitie [7] verder onderbouwd, door de vergunninghouder, met de relatie van Eaton (1969) [7]. Op basis van een Poisson ratio van 0,29 wordt een Sh_{min}' berekent van 80 bar. Vanwege de summiere onderbouwing van de gebruikte relatie is TNO-AGE niet in staat om dit te reproduceren.

In de notities [6, 7] wordt ter verdere onderbouwing van de Sh_{min}' verwezen naar de Formation Integrity Test's (FIT's) met gemeten surface pressures die variëren tussen de 79 en 100 bar over de afsluitende lagen boven het reservoir. Het valt het TNO-AGE op dat de waarden die worden opgegeven ter onderbouwing verschillen in de twee notities [6, 7].

Op basis van de hierboven gegeven redenen, ziet TNO-AGE onvoldoende aanleiding om af te wijken van de op dit moment geldende Sh_{min} gradiënt van 0,135 bar/m.

2) Thermo-elastisch effect

Het thermo-elastisch effect is hoofdzakelijk afhankelijk van het verschil tussen de reservoirtemperatuur en de injectietemperatuur (ΔT) en van de geometrie van de

Datum
26 februari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.015

Blad
13/39

gekoelde zone. Voor de injectietemperatuur gaat de vergunninghouder in het winningsplan [1] uit van minimale injectietemperatuur van 15°C. In [6], gaat de vergunninghouder bij de berekening van het thermo-elastisch effect uit van een injectietemperatuur van 35°C en stelt een afkoeling (ΔT) van 42°C. Volgens de vergunninghouder betekent het thermo-elastisch effect een afname in horizontale spanning, en daarmee een afname in te accepteren injectiedruk gelijk aan maximaal 1 bar per graad afkoeling. Bij een ΔT van 42°C, betekent dit dan een afname in injectiedruk van 42 bar. In de aanvullende toelichting [7], wordt het thermo-elastisch effect verlaagd naar 0,76 bar/°C. Deze keer worden meerdere maximaal toegestane injectiedrukken ter hoogte van de well head (WHP) berekend voor injectietemperaturen die variëren van 10 tot 35°C. Desondanks, wordt in de notitie [7] uitgegaan van een injectietemperatuur van 20°C voor de verdere berekening en onderbouwing.

TNO-AGE ziet dat, in de notities, conclusies worden getrokken op basis van injectietemperaturen (35°C en 20°C) die afwijken van de injectietemperatuur gegeven in het winningsplan [1] (15°C in de winter). In de notitie [7] (Tabel 3), wordt een *statische* WHP van 44 bar berekend bij een injectietemperatuur van 15°C maar de vergunninghouder neemt dit niet mee in de verdere analyse en berekeningen. Stressveranderingen in en nabij de injectielocatie zijn groter wanneer het geproduceerde water tot een lagere temperatuur wordt uitgekoeld. TNO-AGE vindt dat de vergunninghouder, bij de verdere onderbouwing van de maximale toelaatbare injectiedruk uit zou moeten gaan van een injectietemperatuur van 15°C en kan op basis van de huidige conclusies niet eenduidig herleiden welke maximale injectiedruk de vergunninghouder beoogt.

Daarnaast merkt TNO-AGE op dat thermo-elastisch effect van 1 bar/1°C in [6] bepaald is op basis van Pepin et al. (2004) [10] en dat later, in de aanvullende notitie [7], wordt uitgegaan van relatie afgeleid door Perkins en Gonzalez (1985) [11]. Bij het gebruik van de relatie van Pepin et al. (2004) [10] (thermo-elastisch effect van 1 bar/1°C) stelt TNO-AGE grote vraagtekens, omdat hier een zeer gelimiteerde "field data set" is gebruikt en de modeluitkomst gevoelig is voor de input elasticiteit en modelkeuze. Bij de Perkins en Gonzalez (1985) [11] methode, is TNO-AGE van mening dat deze onjuist gebruikt wordt omdat de formule alleen geldt voor een grote verhouding tussen hoogte en radius van de gekoelde cilinder ($h \gg r$). Voor een dunne maar breed uitgestrekte cilinder ($r \gg h$) laten Perkins en Gonzalez zien dat de stressverandering twee keer zo groot wordt. Verder houden Perkins en Gonzalez (1985) [11] geen rekening met de spanningsconcentraties op de wellbore wall. De keuze van 0,76 bar/°C vindt TNO-AGE daarom te optimistisch.

3) *Poro-elastisch effect*

Volgens de vergunninghouder wordt tijdens injectie slechts de helft van de injectiedruk doorgegeven in een reductie van de effectieve minimum in-situ stress door het poro-elastisch effect: een afname van 0,5 bar per bar WHP injectiedrukverandering. Dit klopt. De effectieve spanning is het verschil van de totale spanning en de poriedruk. Als de poriedruk (door injectie) omhoog gaat zal dus de effectieve spanning afnemen. Het poro-elastische effect zorgt echter gelijktijdig voor een toename van de totale horizontale spanning, zodat de reductie gedeeltelijk wordt gecompenseerd. Dit effect is ongeveer 50%. Daardoor zorgt

injectie voor een afname van de effectieve spanning van 0,5 bar/bar injectiedrukverandering. Het poro-elastisch effect wordt hoofdzakelijk toegelicht in de notitie [7]. Voor de berekening wordt gebruik gemaakt van Zoback (2008, p. 381) zoals gegeven in Bijlage 2 van [7]. Het poro-elastisch effect (A_p) wordt berekend op basis van een Poisson's ratio (ν) en de Biot coëfficiënt (β):

$$A_p = \beta ((1 - 2\nu) / (1 - \nu))$$

Voor de bepaling van de Biot coëfficiënt gebruikt de vergunninghouder meerdere methoden en middelt hierbij het uiteindelijke getal en gebruikt bij de verdere berekening een Biot coëfficiënt van 0,85. TNO-AGE merkt op dat bij één van de methoden een hogere reservoirporositeit gebruikt wordt (0,22) dan genoemd in het winningsplan [1] zonder verdere verklaring. Daarnaast wordt er op basis van de relatie $\beta = 1 - (K_b / K_s)$ een fout gemaakt in de berekening (ook zijn in de formules in [7] de K_b en K_s omgedraaid). TNO-AGE berekent zelf een Biot coëfficiënt van 0,79 met de bovenstaande relatie, wat ook in lijn is met de berekende Biot coëfficiënten van de andere methoden.

De Poisson ratio van 0,29 is bepaald op basis van een sonic log (V_p) in de MKO-01 put.

TNO-AGE berekent o.b.v. een Poisson ratio van 0,29 en Biot coëfficiënt van 0,79, een poro-elastisch effect van 0,47. Dit wijkt niet sterk af van de door de vergunninghouder 0,5 bar / bar en het verschil heeft een minimaal effect op de maximale injectiedruk (het verschil is 0,5 bar bij een WHP van 41 bar).

4) Netto-injectiedruk

Bij de berekening van de WHP moet ook rekening worden gehouden met het drukverschil tussen een volledig met koude brine gevulde injector en de poriedruk van het reservoir. In de toelichtende notitie [7] gaat de vergunninghouder uit van een poriedruk in het reservoir van 192 bar op basis van de Well Test rapportage [2]. Op basis van de samenstelling van de koude brine is een hydrostatische druk in de put bepaald van 192 bar op reservoirdiepte. Een poriedruk van 192 bar en een hydrostatisch druk van koude brine van ongeveer 192 bar, zou dan betekenen dat de netto-injectiedruk nihil is. De definitie van netto-injectiedruk is in dit geval de verschillendruk tussen de "normale hydrostatische kolom en de zout formatiewater kolom in de put. De vergunninghouder hanteert desondanks in de verdere analyse een netto-injectiedruk van 11 bar. TNO-AGE heeft zelf, op basis van een eigen well test analyse, een poriedruk van 192 bar bepaald. Daarnaast heeft TNO-AGE ook op basis van de brine samenstelling een hydrostatische druk in de put van 192 bar bepaald en gaat er dan ook vanuit dat de netto-injectiedruk verwaarloosbaar is.

5) Dynamische drukverliezen

In Tabel 1 van de notitie [6], laat de vergunninghouder drukverliezen zien bij verschillende debieten voor LTG-GT-02. Het debiet varieert hierbij van 100 tot 350 m³/hr. Daarna wordt in de conclusie en bijbehorende Tabel 2 uit gegaan van een debiet van 350 m³/uur per put en een bijbehorend drukverlies van 6 bar. TNO-AGE vindt de onderbouwing voor het toepassen mager en mist de berekening voor de resultaten in Tabel 1. Verder, gaat TNO-AGE uit van het maximaal injectiedebiet van 237,5 m³/uur per put zoals gegeven in de aanvulling op het winningsplan (Tabel

8 in [4]) omdat bij dit debiet de injectiedruk het hoogst is en de drukverliezen eventueel significant kunnen zijn. Volgens de resultaten in Tabel 1 [6] komt dit overeen met een drukverlies van rond de 2,5 bar per put. TNO-AGE heeft zelf drukverliezen berekend op basis van de productiegegevens (dec 2018 t/m april 2019). Hieruit volgt een drukverlies van 5 bar per put bij een debiet van 237,5 m³/uur per injector.

Bevindingen TNO-AGE maximale injectiedruk

- TNO-AGE ziet niet voldoende aanleiding om af te wijken van de Shmin gradiënt van 0,135 bar/m. Dit betekent dat, voor de verdere berekeningen, TNO-AGE een maximale injectiedruk op reservoirdiepte van circa 41 bar aanhoudt.
- Er wordt in de notities gewerkt met injectietemperaturen die afwijken van de laagste injectietemperatuur van 15°C zoals in het winningsplan opgegeven. TNO-AGE kan op basis hiervan niet herleiden welke maximale injectiedruk de vergunninghouder beoogt.
- Het thermo-elastisch effect wordt berekend op basis van relaties die niet representatief zijn voor een aardwarmtesysteem. Een thermo-elastisch effect van 0,76 bar/°C vindt TNO-AGE te laag.
- Bij de berekening van het poro-elastisch effect zijn meerdere inconsistenties aangetroffen. Desalniettemin, komt TNO-AGE op een vergelijkbare waarde van 0,47 bar/bar.
- In de verschillende notities gebruikt de vergunninghouder verschillende reservoirdrukken (182 bar t.o.v. 192 bar). Hier wordt geen rekening mee gehouden bij het bepalen van de uiteindelijke netto-injectiedruk. TNO-AGE heeft een reservoirdruk van 192 bar bepaald op basis van well test data.
- TNO-AGE mist de toelichting op de berekening van de drukverliezen en ziet ook dat een te hoog debiet wordt beoogd per injectieput bij de conclusies over de te verwachten drukverliezen.
- De integriteit van het afdichtende pakket onder de beoogde operationele condities is momenteel niet afdoende behandeld. Echter, inzichten van TNO-AGE geven aan dat het bovenliggende pakket voldoende dik en impermeabel lijkt te zijn (zie paragraaf 3.2) zodat het onwaarschijnlijk is dat op korte termijn die door de opgelegde druk en temperatuurdaling zijn integriteit verliest.

Debiet

Het huidige geothermische systeem is operationeel sinds december 2018. Het systeemdebiet variërend tussen de circa 190 en 370 m³/uur. Het injectiedebiet is niet gelijkelijk verdeeld over de injectieputten. De productiegegevens aangeleverd bij TNO, laten zien dat in de injectieputten *wisselende* gemiddelde maandelijkse debieten worden geïnjecteerd. In een enkel geval werd er zelfs een hoger debiet geïnjecteerd dan beoogd in het winningsplan [1,4]. In de maanden december 2018 tot december 2019 varieerde het gemiddeld maandelijkse injectiedebiet voor LTG-GT-02 tussen de 82 en 249 m³/uur en voor LTG-GT-03 tussen 60 en 193 m³/uur. In eerste instantie wordt er meer water in de put LTG-GT-02 geïnjecteerd dan in LTG-GT-03 met een verhouding van 60 - 40 % respectievelijk. In de periode tot mei 2019 draait de verhouding om, om na een vier maanden zomer-insluiting weer op te starten zoals bij de initiële start.

Modellering van het geothermisch systeem in DoubletCalc2D, met een permeabiliteitsveld op basis van de puttest resultaten, geeft ook een injectiviteitsverschil en resulterend debietverschil van de twee injectieputten die vergelijkbaar is aan de initiële injectiedebiet-verhouding tussen de twee injectieputten.

Het verwachte toekomstige te produceren gemiddelde debiet van 375 m³/uur (Tabel 8 in [4]) betreft het gemiddelde jaardebiet voor het gehele systeem voor de jaren 2019 en 2020, uitgaande van 8760 vollasturen. Uit het aangeleverde productieprofiel (Tabel 8 in [4]) blijkt dat de vergunninghouder een variabel gemiddeld maanddebiet hanteert gedurende een jaar, met een lager debiet in de zomer en een hoger debiet dan gemiddeld in de winter. In het winningsplan [1] gaat de vergunninghouder uit van gelijke injectiedebieten voor beide injectieputten (maximaal 237,5 m³/uur per put in de wintermaanden). Voor het huidige systeem stelt de vergunninghouder voor beide injectieputten samen een maandelijks variabel debiet tussen 190 m³/uur en 475 m³/uur met een effectief aantal vollasturen van ca. 6900 per jaar. In de documentatie ter aanvulling op het winningsplan maar met een datum van vóór het winningsplan, zoals in het Quicksan IF Technology van december 2017 [6], wordt in enkele gevallen een afwijkend debiet gesteld. In dit geval beschouwt TNO-AGE de meest recente documentatie leidend waaronder het winningsplan en het addendum op het winningsplan [1,4].

De hoeveelheid water die tot eind 2019 is geproduceerd is circa 1,2 mln m³. Het volume dat gedurende de resterende vergunningsduur (van januari 2019 tot mei 2052) nog wordt geproduceerd, uitgaande van het huidige systeem en een gemiddeld debiet van 375 m³/uur, is ca. 103 miljoen m³. Vanaf 1 januari 2019 betekent dit een jaarlijks geproduceerd watervolume van ca. 3,2 miljoen m³. Dit komt overeen met wat de vergunninghouder stelt in het winningsplan [1]. In het addendum op het winningsplan [4] daarentegen wordt uitgegaan van een groter volume water per jaar: 4380 m³ per jaar meer vanaf 2021. Dit komt overeen met een debiet van 375,25 m³/uur. Het is onduidelijk waarom de vergunninghouder deze aanpassing heeft gemaakt. Desalniettemin met een debietbeperking ten gevolge van injectiedruk begrenzing van 41 bar komt het gemiddelde jaardebiet uit op ca. 332 m³/uur het totaal te produceren volume aan water in de vergunningsperiode bedraagt dan circa 91 mln m³.

Inhibitorvloeistof en bijvangst van gas

In Tabel 6 [1] geeft de vergunninghouder aan 0,005 l/m³ inhibitorvloeistof in te brengen. Dit komt overeen met de hoeveelheid ingebrachte inhibitor zoals gerapporteerd in de productiegegevens voor de eerste vier maanden van 2019.

Gedurende het productieproces vindt bijvangst van opgelost aardgas plaats. De vergunninghouder vermeldt in het winningsplan [1] dat deze bijvangst ca. 0,4 m³ gas per m³ water is. De in de productiedata gerapporteerde bijvangst blijkt enigszins lager te zijn met een verhouding van 0,33 m³/m³ geproduceerd gas en water.

4. Modellering aardwarmteproductie

De vergunninghouder presenteert in Figuur 17 en 18 van [1] het resultaat van een reservoirmodellering van het geothermisch systeem Luttelgeest o.b.v. DoubletCalc2D. De modellering is uitgevoerd voor het huidige systeem, met twee injectieputten, en voor een periode van 35 jaar. Het winningsplan dateert van vóór de toekenningdatum van de winningsvergunning en daarom hanteert de vergunninghouder nog de aangevraagde vergunningsperiode van 35 jaar. De vergunninghouder is hierbij uitgegaan van een continue injectie bij een debiet van 187,5 m³/uur per injectieput.

TNO-AGE heeft een DoubletCalc 2D berekening uitgevoerd van het huidige gerealiseerde systeem. TNO-AGE gebruikt hiervoor invoerwaarden op basis van eigen analyse. Het merendeel van deze invoerwaarden komt overeen met de waarden die de vergunninghouder opgeeft in het winningsplan [1]. Echter, TNO-AGE heeft het jaarproductieprofiel (Tabel 8 [4]) gewijzigd naar aanleiding van de injectiedrukbegrenzing. Daarnaast is het injectiedebiet per injectieput niet gelijk, maar afhankelijk van de injectiviteit volgend uit de puttesten.

Tabel 3: Aangepast jaarproductieprofiel

maand	LTG-GT-03 gem. maanddebiet (m ³ /uur)	LTG-GT-03-temp (°C)	LTG-GT-01 gem. maanddebiet (m ³ /uur)	LTG-GT-01-temp (°C)	LTG-GT-02 gem. maanddebiet (m ³ /uur)	LTG-GT-02-temp (°C)
jan	130	15	-394	-1	264	15
feb	130	15	-394	-1	264	15
mrt	130	15	-394	-1	264	15
apr	130	15	-394	-1	264	15
mei	94	38	-285	-1	191	38
jun	78	38	-238	-1	159	38
jul	63	38	-190	-1	127	38
aug	63	38	-190	-1	127	38
sep	110	15	-333	-1	223	15
okt	130	15	-394	-1	264	15
nov	130	15	-394	-1	264	15
dec	130	15	-394	-1	264	15

4.1 DoubletCalc2D

In Figuur 17 en 18 in [1] presenteert de vergunninghouder het resultaat van het DoubletCalc2D reservoirmodel na 35 jaar productie. TNO-AGE is bij het opstellen van het eigen model uitgegaan van de huidige systeemconfiguratie waarbij de historische productie en de productieprognose gegeven in Tabel 3 is geëxtrapoleerd

Datum
26 februari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.015

Blad
18/39

naar de toegekende vergunningsduur van 33 jaar. TNO-AGE presenteert in de figuren in Bijlage 3 het resultaat aan het eind van de winningsvergunningstermijn van 33 jaar.

De vergunninghouder heeft niet gespecificeerd welke waarden zijn gebruikt in het eigen DoubletCalc2D model met uitzondering van het debiet voor de injectieputten: 187,5 m³/uur. Een aantal waarden zijn herleidbaar uit het winningsplan (Tabellen 2, 3, 4, 9 [1]) maar het is niet zeker of deze ook gebruikt zijn. Bijvoorbeeld, in de aanvullende notitie [6] in Bijlage 3 wordt een gedeelte van de invoerparameters gegeven met een afwijkende productieduur van 30 jaar.

TNO-AGE gebruikt als invoer in het eigen DoubletCalc2D model een aantal grids gemaakt door interpolatie van de putwaarden zoals gegeven in Tabel 2. TNO-AGE neemt aan dat de breuken in het gebied, zoals geïnterpreteerd in Figuur 15 in [1], afsluitend zijn en neemt deze mee in het DoubletCalc2D scenario. De vergunninghouder lijkt geen breuken te hebben meegenomen in het model. Dit ondanks dat de vergunninghouder de aanname maakt dat ten minste de breuk aan de oostzijde afsluitend is o.b.v. de puttest analyses [2]. In het aangeleverde rapport "Well tests Hoogweg" [2] beschrijft de vergunninghouder dat in de puttest van LTG-GT-03 een barrière te zien is die mogelijk wijst op een afsluitende breuk. Daarnaast heeft de vergunninghouder, een drietal niet verder gespecificeerde "discontinuïteiten" geïnterpreteerd. Hier wordt naar gerefereerd in de Quickscan analyse van december 2017 [13]. Deze discontinuïteiten neemt de vergunninghouder niet mee in het DoubletCalc2D model. TNO-AGE heeft de beschikbare seismiek bekeken en vindt het, op basis van de seismiek en op basis van eigen well test analyse, niet aannemelijk dat de discontinuïteiten volledig afsluitend zijn en neemt deze dan ook niet mee in het DoubletCalc2D model.

TNO-AGE heeft het DoubletCalc2D scenario opgesteld voor de huidige systeemconfiguratie, waarin de historische productie, alsmede een productieprognose gebaseerd op het maandelijks productieprofiel zoals gegeven in Tabel 8 van [1], is meegenomen. Het maandelijks productieprofiel komt overeen met een jaarlijks gemiddeld productiedebiet van 375 m³/uur voor de periode van 33 jaar. De skin waarden zijn gekozen o.b.v. TNO-AGE puttest evaluatie zoals gegeven in Tabel 2.

In Bijlage 3 wordt het resulterende beïnvloedingsgebied m.b.t. temperatuur (Figuur 3) en druk (Figuur 4) gepresenteerd aan het eind van de duur van de winningsvergunning in 2052. Het modelresultaat toont aan dat het meer dan 33 jaar duurt totdat er 1°C afkoeling op de vergunningsgrens optreedt en minder dan 33 jaar voordat doorbraak van koud water in de productieput plaatsvindt.

Bij dit model, met een verlaagd debiet van 394 m³/uur in de wintermaanden, bereikt de koudwaterbel de dichtstbijzijnde breuk binnen de 33 jaar (Figuur 3). Op basis van het model is er mogelijk een direct thermo-elastisch effect op de breuk. Daarnaast is er een mogelijk effect op de discontinuïteiten die volgens de vergunninghouder aanwezig zijn (Figuur 3). De koudwaterbel bereikt volgens het TNO-AGE model na circa 11 jaar de dichtstbijzijnde door aanvrager gepostuleerde/geïnterpreteerde discontinuïteit.

Datum
26 februari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.015

Blad
19/39

De reservoirdruk-verandering aan het einde van de vergunningsperiode en bij een debiet van 394 m³/uur, is weergegeven in Figuur 4 in Bijlage 3. Hieruit valt op te maken dat het verschil ten opzichte van de statische reservoirdruk op de huidige vergunningsgrens minder is dan circa -6 bar aan de productiezijde en minder dan +3 bar aan de injectiezijde. Modelmatig is de drukverandering van de injectieput LTG-GT-03 op de dichtstbijzijnde breuken aan de oostzijde van de winningsvergunning het grootst met ca. +4 bar t.o.v. de statische reservoirdruk. Bij de discontinuïteiten tussen de injectieputten en de productieputten is het gemodelleerde drukverschil tussen de -7 en +4 bar.

5. Bodemdaling

De vergunninghouder stelt in Hoofdstuk 5 in [1] dat de bodemdaling aan het maaiveld als gevolg van de geothermische activiteiten verwaarloosbaar is. Dit omdat enerzijds het systeem in massabalans-modus opereert en daarnaast 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 de vergunninghouder berekend met een DoubletCalc2D model. In het door de vergunninghouder 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 375 m³/uur.

Volgens het DoubletCalc2D model van TNO-AGE is de verwachte bodemdaling aan het eind van de winningsvergunning en het winningsplan zoals gegeven in Figuur 5 in Bijlage 3. De verwachte maximale bodemdaling is ca. 8 mm.

6. Interferentie

De vergunninghouder beschrijft in paragraaf 4.4 in [1] dat er binnen de winningsvergunning Luttelgeest geen interferentie plaatsvindt met andere mijnbouwactiviteiten en onderbouwt dit met een kaart van het omliggende gebied in Figuur 15 en 16 [1].

TNO-AGE kan zich vinden in deze conclusie van de vergunninghouder. Er zijn momenteel inderdaad geen mijnbouwactiviteiten in of nabij het winningsvergunningsgebied die interfereren met de geothermische activiteiten van het Luttelgeest systeem. In de toekomst wordt er wel interferentie verwacht met beoogde nieuwe geothermische systemen in de opsporingsvergunningen Luttelgeest II en Luttelgeest 2. Daarnaast is er geen overlap van het winningsvergunningsgebied met beschermde gebieden als grondwaterbeschermingszones of waterwingebieden, zoals de vergunninghouder toont in Figuur 20 [1]. Het dichtstbijzijnde natuurgebied bevindt zich ca. 5 km van de projectlocatie. In de figuren in Bijlage 3 is te zien dat de gemodelleerde bodemdaling op die afstand nihil tot verwaarloosbaar is.

7. Seismische Hazard en Risico Analyse (SHRA)

Ten behoeve van het winningsplan voor het geothermiesysteem Luttelgeest [1] heeft de vergunninghouder een quickscan Seismische Hazard en Risico Analyse (SHRA) uit laten voeren door IF Technology BV. Deze tijdelijke richtlijn, opgesteld door Qcon en IF [15] en de door DAGO gepubliceerde toevoeging hierop [16], dient ter ondersteuning van de leidraad. De resultaten van deze quickscan zijn beschreven in [13 en 17]. Daarnaast heeft de vergunninghouder nog een aanvullende notitie laten opstellen door IF Technology B.V. getiteld “Hoogweg injectiedruk en geïnduceerde seismiciteit” [6] en twee verduidelijkende notities [7, 8] waarin aanvullende onderbouwing wordt gegeven voor de injectiedruk en het risico op geïnduceerde seismiciteit.

In de aangeleverde quickscan Seismische Hazard en Risico Analyse van december 2017 [13] wordt gesteld dat de analyse is uitgevoerd voor een triplet systeem zoals is omschreven in de aanvraag voor de subsidieregeling Stimulering Duurzame Energieproductie (SDE1700096).

De onderbouwing en resultaten in de quickscan analyse [13], de aanvullende notitie op de quickscan analyse [6] en het winningsplan [1] zijn op een aantal punten tegenstrijdig. Waar nodig zal TNO-AGE het winningsplan als leidend beschouwen. Dit is met name van toepassing op paragraaf 4 van de notitie [6] waar een reservoirmodel wordt gegeven met DoubletCalc2D invoerparameters die afwijken t.o.v. de invoerparameters zoals gebruikt in reservoirmodel in het winningsplan [1].

Verder heeft de vergunninghouder in juli 2018 gereageerd op een verzoek van SodM tot de beantwoording van aanvullende vragen m.b.t. de quickscan analyse [6]. De beantwoording van deze vragen is gegeven in de notitie “Potentie veroorzaken geïnduceerde seismiciteit” [17]. Hierbij wordt ook een onderbouwing gegeven voor de wijziging van de score in de quickscan scoringstabel.

Al deze onderbouwingen die betrekking hebben op de SHRA [1, 6, 13, 17] zijn 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 vergunninghouder

Volgens de vergunninghouder luidt het antwoord op deze eerste drie vragen **nee**, deze antwoorden worden niet nader onderbouwd in [13]. De volgende stap is de uitwerking van de quickscan scoretabel.

Datum
26 februari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.015

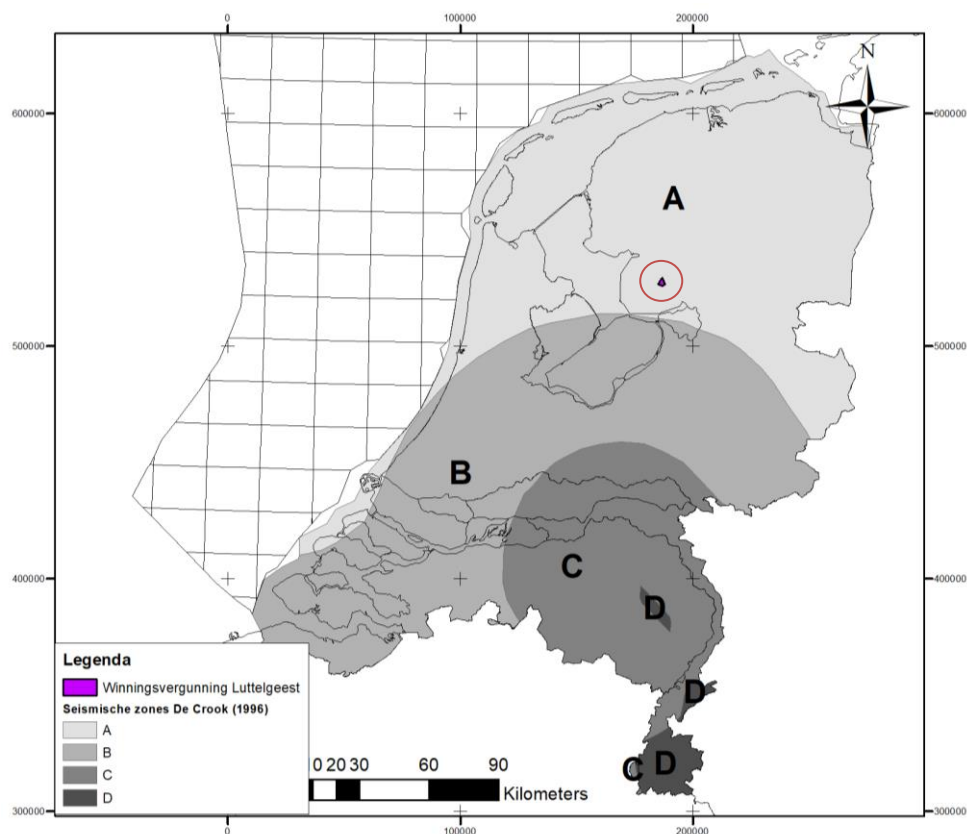
Blad
21/39

Bevindingen TNO-AGE

Het geothermisch systeem Luttelgeest 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 2.6 van [13], waarin de door de vergunninghouder 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) [18]. 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 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 de vergunninghouder dat het antwoord op de eerste drie vragen van de beslisboom **nee** is.*



Figuur 1: Locatie winningsvergunning Luttelgeest t.o.v. seismische zones De Crook (1996).

7.2 *Hydraulische connectie met het kristallijne basement*

Beantwoording vergunninghouder

Vergunninghouder stelt dat het kristallijne gesteente bij Luttelgeest op een diepte van meer dan 5 kilometer ligt. De vergunninghouder 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 10 kilometer van de Luttelgeest installatie en heeft een verticale einddiepte van 5110 m t.o.v. NAP. Daarnaast acht de vergunninghouder het zeer onwaarschijnlijk dat er een verbinding is met de kristallijnen 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.

*Aangezien het zeer aannemelijk is dat het kristallijnen basement zich dieper bevindt dan 3 km, vindt TNO-AGE dat het gerechtvaardigd is om een **score 0** toe te kennen.*

7.3 *Drukcommunicatie tussen de productieput en injectieputten*

Beantwoording vergunninghouder

In de quickscan analyse [13] geeft de vergunninghouder een onderbouwing voor drukcommunicatie op basis van informatie en data die beschikbaar was tijdens de aanvraag voor de subsidieregeling Stimulering Duurzame Energieproductie (SDE1700096). Dit is dan ook van vóór de daadwerkelijke realisatie van het Luttelgeest triplet. De vergunninghouder stelt in [13] dat er wordt geproduceerd en geïnjecteerd in dezelfde permeabele laag. Verder wordt er gesteld dat het onwaarschijnlijk is dat de geïnterpreteerde discontinuïteiten hydrologische barrières vormen en dat daarom drukcommunicatie tussen de productieput en de injectieputten waarschijnlijk is.

In de notitie van juli 2018 [17], een update op de quickscan notitie “Potentie veroorzaken geïnduceerde seismiteit”, geeft de vergunninghouder aanvullende onderbouwing voor dit deel van de SHRA. Op basis van puttest en interferentietest analyse is het volgens de vergunninghouder duidelijk dat er drukcommunicatie is tussen de productieput en de injectieputten. De resulterende score moet daarom 0 zijn.

Bevindingen TNO-AGE

De methodiek van Qcon en IF [15] gebruikt drie toetsingselementen om de score 0 t/m 7 te bepalen. Dit betreft de verticale separatie tussen beide putten, de laterale 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.

Datum
26 februari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.015

Blad
23/39

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 [13], omgezet in een tabel. De geel gemarkeerde cellen geven situaties die niet worden beschreven in de methodiek van Qcon en IF [15].

De putten van het geothermiesysteem Luttelgeest produceren en injecteren in dezelfde formatie, de laterale afstand op reservoir niveau is ca. 1430 m en de verticale separatie tussen de putten is 20 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.

TNO-AGE heeft enkel in de analyse van de puttest van LTG-GT-03 een permeabiliteit-barrière geïdentificeerd op een afstand van meer dan 500m. De aanvrager stelt dat op basis van de interferentietest er communicatie is tussen de productie- en injectieput. De mate van communicatie wordt niet gegeven. TNO-AGE acht het plausibel dat er een zekere mate van discontinuïteit bestaat mede omdat het doublet loodrecht op de heersende structurele trend is geboord. TNO-AGE is daarom van mening dat niet eenduidig gezegd kan worden dat er volledige drukcommunicatie is.

Volgens de analyse van TNO-AGE aan de hand van de methodiek van Qcon en IF zou dit systeem een **score van 3** krijgen voor deze categorie. Dit vindt TNO-AGE een acceptabele score omdat het mogelijk is dat eventuele discontinuïteiten een gedeeltelijke barrière vormen.

7.4 Injectiedruk

Resultaat vergunninghouder

In het quickscan document en de update op de quickscan [13, 17] wordt uitgegaan van een injectiedruk die gebaseerd is op een pre-drill SDE evaluatie (SDE1700096). Op basis van deze injectiedruk van 32,6 bar per put, past de vergunninghouder een score toe van 3 in de Quickscan tabel [13, 17].

Resultaat TNO-AGE

De maximale injectiedruk van circa 41 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.

Datum
26 februari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.015

Blad
24/39

*TNO-AGE is van mening dat voor de injectiedruk categorie een **score 7** passend is. Indien de injectiedruk op reservoirdiepte per put aangepast wordt naar <40 bar dan kan deze score op 3 gezet worden.*

7.5 Debiet

Beantwoording vergunninghouder

Vergunninghouder geeft een geprognoseerd systeemdebiet variërend per maand tussen de 190 m³/uur en 475 m³/uur in [4]. In de SHRA [13] wordt aangegeven dat dit debiet wordt geïnjecteerd in twee injectieputten en dus geldt een maximaal debiet van 237,5 m³/uur per injector. Dit debiet valt in de 180 - 360 m³/uur categorie met een bijbehorende score van 7 punten [13, 17].

Bevindingen TNO-AGE

Conform de SHRA-leidraad moet het systeemdebiet (circulation rate) meegenomen worden in de evaluatie en niet, zoals door de vergunninghouder geïnterpreteerd, het maximale debiet per injectieput. TNO-AGE heeft een systeemdebiet berekend van 394 m³/uur. Het systeemdebiet valt ook in de >360 m³/uur categorie met een bijbehorende score van 10 punten [13, 17].

*Op basis van deze gegevens is TNO-AGE van mening dat een **score van 10** van toepassing is.*

7.6 Afstand tot natuurlijke aardbevingen

Beantwoording vergunninghouder

De vergunninghouder stelt dat de afstand tussen de aardwarmtewinning bij Luttelgeest 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 (december 2017) [13]. Hierop gebaseerd stelt vergunninghouder dat de score 0 moet zijn.

Bevindingen TNO-AGE

De methodiek van Qcon en IF [15] 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 6 in Bijlage 4). Hieruit blijkt dat er geen natuurlijke bevingen zijn geweest in een straal van 10 km rond de vergunning Luttelgeest en ook op grotere afstand daarbuiten.

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

7.7 Afstand tot geïnduceerde aardbevingen

Beantwoording vergunninghouder

De vergunninghouder geeft aan dat op basis van de tektonische aardbevingscatalogus van het KNMI (december 2017) de dichtstbijzijnde geïnduceerde beving op iets meer dan 23 kilometer van het doublet ligt [13]. De vergunninghouder 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 6 in Bijlage 4).

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

7.8 *Afstand tot breuken*

Beantwoording vergunninghouder

Vergunninghouder stelt dat de afstand tot dichtstbijzijnde bestaande discontinuïteit 280 meter is en dat daarmee de score 7 moet zijn. Vergunninghouder onderbouwt dit met een kaart met breuken en discontinuïteit en de top-reservoir locaties in Figuur 2.6 van [13].

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 discontinuïteit, 280 meter is. Hierdoor is de kortst mogelijke afstand tot bestaande breuken tussen de 0,1 en 0,5 kilometer (zie Figuur 7 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]) 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.*

7.9 *Breukoriëntatie in het huidige spanningsveld*

Beantwoording vergunninghouder

De vergunninghouder stelt dat de oriëntatie van de breuken in het gebied bij Luttelgeest over het algemeen NW-ZO (ca. 120°) is. Het stressveld in het gebied van Luttelgeest heeft volgens de vergunninghouder een oriëntatie van ongeveer 130° [13]. Volgens vergunninghouder levert dit binnen het heersende stressveld "shearing possible" op. Daarnaast stelt de vergunninghouder 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, in de directe nabijheid van een breuk een drukverhoging van minimaal 18 bar nodig is om een "critically stressed fault" te veroorzaken [13].

Op basis van de DoubletCalc2D berekening stelt de vergunninghouder dat de drukverandering op reservoirdiepte bij de breuk 2-3 bar is. Volgens de vergunninghouder is de meest voordehand liggende score daarom "shearing unlikely" met een bijbehorende score van 3 punten [13].

Naast de breuken gaat de vergunninghouder ook in op de discontinuïteiten in de update van de quickscan, de notitie "Potentie veroorzaken geïnduceerde

Datum
26 februari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.015

Blad
26/39

seismiciteit” van juli 2018 [17]. Hierin wordt gesteld dat op basis van de puttest resultaten blijkt dat er geen afsluitende of deels afsluitende breuken aanwezig zijn tussen de producer en de injectoren. De discontinuïteiten zoals te zien in Figuur 2.6 in [13] zouden daarom waarschijnlijk geen seismiciteit veroorzaken.

Bevindingen TNO-AGE

Zoals de methodiek van Qcon en IF beschrijft in [15] 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 zuiden van de injectieputten de dichtstbijzijnde breuk is met een lengte van meer dan 1 km. De afstand van deze breuk tot de injectieput is ca. 780 m en de breuk heeft een oriëntatie van gemiddeld 293° (Figuur 8, Bijlage 4). Volgens Mechelse (2017) [19] is de oriëntatie van het spanningsveld voor het Rotliegend 324° ($\pm 20^\circ$). De hoek met de oriëntatie van het spanningsveld is daardoor 31° en op basis van een analytische methode [20], uitgewerkt door TNO, is bepaald dat bij dergelijke breuken breukreactivatie mogelijk is. Omdat de methodiek van Qcon en IF [15] enkel de breukoriëntatie in beschouwing neemt als een benadering voor de potentie op breukreactivatie, krijgt dit project volgens deze methodiek een score van 7 voor deze categorie.

Dit is een vrij eenvoudige benadering 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 na 33 jaar het drukverschil op de zuidelijke breuk tussen de 2 - 3 bar toeneemt. Uit de analyse van TNO-AGE, op basis van Levandowski et al. (2018) [20], blijkt dat zelfs bij een breuk met een helling 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 zuidelijke breuk. Het resultaat van het DoubletCalc2D model laat verder zien dat de koudwaterbel binnen 30 jaar de dichtstbijzijnde breuk bereikt aan de oostzijde van de 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 7** opportuun omdat de strekking van de zuidelijke breuk 31° afwijkt 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 vergunninghouder

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

Bevindingen TNO-AGE

Er wordt bij Luttelgeest een even grote hoeveelheid water geïnjecteerd als uit de ondergrond wordt geproduceerd. Er is sprake van een zogeheten gesloten massabalans. Dit is ook op te maken uit de historische productiedata.

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

7.11 Resultaat Quickscan scoretabel

Resultaat vergunninghouder

De vergunninghouder heeft de Quickscan scoretabel ingevuld en komt daarbij tot een genormaliseerde score van 0,22 [17]. 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 [15] is 0,41. Deze uitkomst wijkt af van die van de vergunninghouder omdat TNO-AGE een hogere score geeft aan de categorieën:

- “drukcommunicatie tussen productie- en injectieput” (3 i.p.v. 0),
- “injectiedruk” (7 i.p.v. 3),
- “Debiet” (10 i.p.v. 7),
- “breukoriëntatie in huidig spanningsveld” (7 i.p.v. 3), en
- “afstand tot breuken en kwaliteit seismiek” (10 i.p.v. 7).

Omdat deze score hoger is dan de grenswaarde van 0,33 is het potentieel voor het induceren van seismiciteit gemiddeld. TNO-AGE benadrukt dat deze uitkomst voor de SHRA geldt voor productie bij een maximale injectiedruk van ca. 41 bar o.b.v. het huidige SodM protocol. Volgens de Qcon en IF methodiek [15] is bij een score hoger dan 0,33 een Level 2 locatie specifieke hazard assessment vereist.

Een aanpassing van de injectiedruk per injectieput naar 37 bar resulteert volgens de modelberekeningen in een iets verlaagd maximaal debiet (debietbegrenzing) van 358 m³/uur bij een injectietemperatuur van 15°C. Hierdoor worden de scores van zowel de categorieën “injectiedruk” als “debiet” verlaagd van 7 en 10 naar respectievelijk 3 en 7. Dit zou resulteren in een genormaliseerde score van 0,33 conform de leidraad en dus een laag potentieel voor het induceren van seismiciteit.

Datum
26 februari 2020

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

Onze referentie

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	3	7	0	0	7	3	0	20	0.22
TNO-AGE	0	3	7	10	0	0	10	7	0	37	0.41

8. Conclusies

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

- De vergunninghouder stelt een toekomstige uitbreidingen van het systeem voor vanaf 2021. TNO-AGE gaat bij de beoordeling van het winningsplan alleen uit van huidige systeem omdat de uitbreidingen nog niet concreet gerapporteerd zijn en mogelijk een separaat winningsplan vereisen.
- De vergunninghouder heeft meerdere aanvullende notities aangeleverd ter onderbouwing van een hogere maximale toelaatbare injectiedruk dan op basis van het huidige SodM protocol, dat met name bedoeld is om te zorgen dat het bovenliggende afdichtende pakket integer blijft. Met name dit deel van de aanvraag is voor TNO-AGE moeilijk te beoordelen omdat de gegevens op een aantal punten tegenstrijdig zijn, relaties niet kloppen en de onderbouwing op bepaalde punten inconsistent en incompleet is. Vooralsnog gaat TNO-AGE uit van de grenswaarde bepaald op basis van het huidige protocol waarbij geen rekening gehouden wordt met het extra temperatuurseffect bij een uitkoeling tot ca. 15°C. TNO-AGE acht dit mogelijk omdat niet wordt verwacht dat het afsluitende pakket op korte termijn zijn integriteit verliest ten gevolge van het effect van afkoeling.
- 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 circa 41 bar die bepaald is o.b.v. het huidige SodM protocol (zie punt 2 van de conclusies) en zonder rekening te houden met eventuele effecten van de lage injectietemperatuur (15°C). Op basis hiervan is aan de hand van DoubletCalc2D een maximaal systeemdebiet van 394 m³/uur bepaald wat resulteert in een maximaal injectiedebiet voor de put LTG-GT-02 van 264 m³/uur en 130 m³/uur voor de put LTG-GT-3. Dit is 81 m³/uur *minder* dan het beoogde maximale systeemdebiet van 475 m³/uur.
- 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 buiten de huidige vergunningsduur van 33 jaar.
 - Doorbraak van de koudwaterbel in de productieput treedt naar verwachting op binnen de huidige vergunningsduur van 33 jaar.
 - Afkoeling bij dichtstbijzijnde breuken is voorzien binnen de huidige vergunningsduur van 33 jaar. Afkoeling bij dichtstbijzijnde discontinuïteit is waarschijnlijk na 11 jaar.
 - Drukveranderingen bij de dichtstbijzijnde breuken zijn beperkt tot ca. +4 bar na 33 jaar.
 - De verwachte bodemdaling aan het eind van de vergunningsduur is ca. 8 mm.

Datum
26 februari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.015

Blad
30/39

- Er zijn momenteel geen mijnbouwactiviteiten in de nabijheid van de geothermische installatie, daarom is er geen ondergrondse interferentie. De modelresultaten tonen aan dat de verwachte bodemdaling ten gevolge van aardwarmtewinning bij de dichtstbijzijnde natuur-/beschermingsgebieden (minimale afstand ca. 5 km) waarschijnlijk nihil tot verwaarloosbaar is.
- TNO-AGE heeft een SHRA evaluatie uitgevoerd, met het volgende resultaat:
 - **Score: 0,41** → gemiddeld potentieel voor induceren van seismiciteit. Deze score is volgens de methodiek van Qcon en IF [15] bepaald.
 - Conform de SHRA methodiek [15] zou de vergunninghouder daarom een evaluatie van de locatie specifieke seismische dreiging uit moeten voeren voor dit systeem.

9. Aanbevelingen

TNO-AGE ziet geen geotechnische belemmeringen om in te stemmen met het winningsplan onder de voorwaarde dat de toelaatbare injectiedruk op reservoirdiepte vooralsnog wordt gemaximeerd op 41 bar. Daarnaast adviseert TNO-AGE EZK om de vergunninghouder te verzoeken op termijn een adequate onderbouwing aan te leveren voor de gewenste hogere maximale injectiedruk en debiet in samenhang met de beoogde lage injectietemperatuur van 15°C.

Vanwege de uitkomst van de SHRA evaluatie geeft TNO-AGE ter overweging om de injectiedruk op reservoirdiepte vooralsnog te begrenzen op 37 i.p.v. 41 bar. Bij een injectiedruk van 37 bar valt het systeem namelijk in de laagste seismisch potentieel categorie. Op die manier zou voorwaardelijk ingestemd kunnen worden met het ingediende winningsplan, tot het moment dat de vergunninghouder een adequate onderbouwing van de injectiedruk bij een uitkoeling tot 15°C heeft aangeleverd. Op basis van deze resultaten kan bepaald worden of de uitkomst van de SHRA verandert. Indien het systeem alsnog in de gemiddelde seismisch potentieel categorie valt dient de vergunninghouder een evaluatie van de locatie-specifieke seismische dreiging aan te leveren.

Datum
26 februari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.015

Blad
31/39

Referenties

- [1] Hoogweg Aardwarmte B.V., april 2019. Winningsplan Aardwarmte LTG-GT-01, LTG-GT-02, LTG-GT-03.
- [2] IF Technology B.V., 9 juli 2018. Well tests Hoogweg. Evaluation of clean out, step drawdown and interference tests,.
- [3] IF Technology B.V., Maart 2017. SDE+ Application Hoogweg Paprikakwekerijen.
- [4] Hoogweg Aardwarmte B.V., september 2019. Addendum Winningsplan Aardwarmte LTG-GT-01, LTG-GT-02, LTG-GT-03.
- [5] SodM, 2013. Protocol bepaling maximale injectiedrukken bij aardwarmtewinning, Versie 2.
- [6] IF Technology B.V., 19 oktober 2018. Hoogweg, Injectiedruk en geïnduceerde seismiteit. Rapport nr. 20181019/66238/NB.
- [7] IF Technology B.V., 14 oktober 2019. Aanvaardbare Injectiedrukken Hoogweg. Rapport nr. 20191014/66238/NB
- [8] IF Technology B.V., 18 november 2019. Toelichting notitie "Aanvaardbare Injectiedrukken Hoogweg". Rapport nr. 20191119/66238/NB
- [9] Van Wees, J.D., L. Buijze, K. Van Thienen-Visser, M. Nepveu, B.B.T. Wassing, B. Orlic, en P.A. Fokker. 2014. Geomechanics response and induced seismicity during gas field depletion in the Netherlands. *Geothermics*, 52, 206–219.
- [10] Pepin, Gregory, Manuel Gonzalez, J Ben Bloys, John Lofton, Joseph Schmidt, Carey Naquin, en Scot Ellis., 2004. Effect of Drilling Fluid Temperature on Fracture Gradient: Field Measurements and Model Predictions, 6th North America Rock Mechanics Symposium (NARMS), Houston, TX, June 5–9, Paper No. ARMA-04-527.
- [11] Perkins, T.K., en J.A. Gonzalez. 1985. The effect of thermoelastic stresses on injection well fracturing. *Soc. of Petr. Engineers Journal* 25 (1): 78–88.
- [12] Zoback. 2008. *Reservoir geomechanics*. New York: Cambridge University Press.
- [13] IF Technology B.V., 6 december 2017. Potential for Inducing Seismicity, Geothermie Luttelgeest. Rapport nr. 20171206/66238/BP.
- [14] TNO, 30 augustus 2018. Geotechnische evaluatie aanvraag winningsvergunning aardwarmte Luttelgeest. Referentie AGE 18-10.076
- [15] Qcon GmbH & IF Technology B.V., 5 oktober 2016. Defining the Framework for Seismic Hazard Assessment in Geothermal Projects V0.1.
- [16] DAGO, 2018. "SHRA Richtlijn richtinggevende suggesties".
- [17] IF Technology B.V., 19 juli 2018. Hoogweg, update quickscan seismiteit. Rapport nr. 66238/NB
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] Levandowski, W., Weingarten, M., Walsh, R., 2018. Geomechanical sensitivities of injection induced earthquakes. *Geophysical Research Letters*, Vol. 45, Issue 17, p. 8958 – 8965.

Datum
26 februari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.015

Blad
32/39

Bijlage 2: resultaten berekeningen maximale toegestane injectiedruk

Invoer parameters	waarde	Default	eenheid
Diepte top aquifer in productieput	-1741		m
Diepte top aquifer in injectieput	-1730	x	m
Gemiddelde diepte top aquifer	-1735	x	m
Diepte pomp	-743	-500	m
Aquiferdruk Productieput	192	x	bar
Aquiferdruk Injectieput	192	x	bar
Bottom hole pressure Productieput	153	x	bar
Bottom hole pressure Injectieput	233	x	bar
Drukverschil over put-aquifer interface in productieput	39	x	bar
Drukverschil over put-aquifer interface in injectieput	41	x	bar
hydrostatische gradient in injectieput	0,1114	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	0,0388	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 protoco	40,8	JA	
Maximale verschildruk injectieput top reservoir	41,6	JA	
Fracking		NEE	
Kans op breukreactivatie		JA	

Figuur 2: GeoMech invoer en uitvoer van het TNO-AGE scenario.

Datum
26 februari 2020

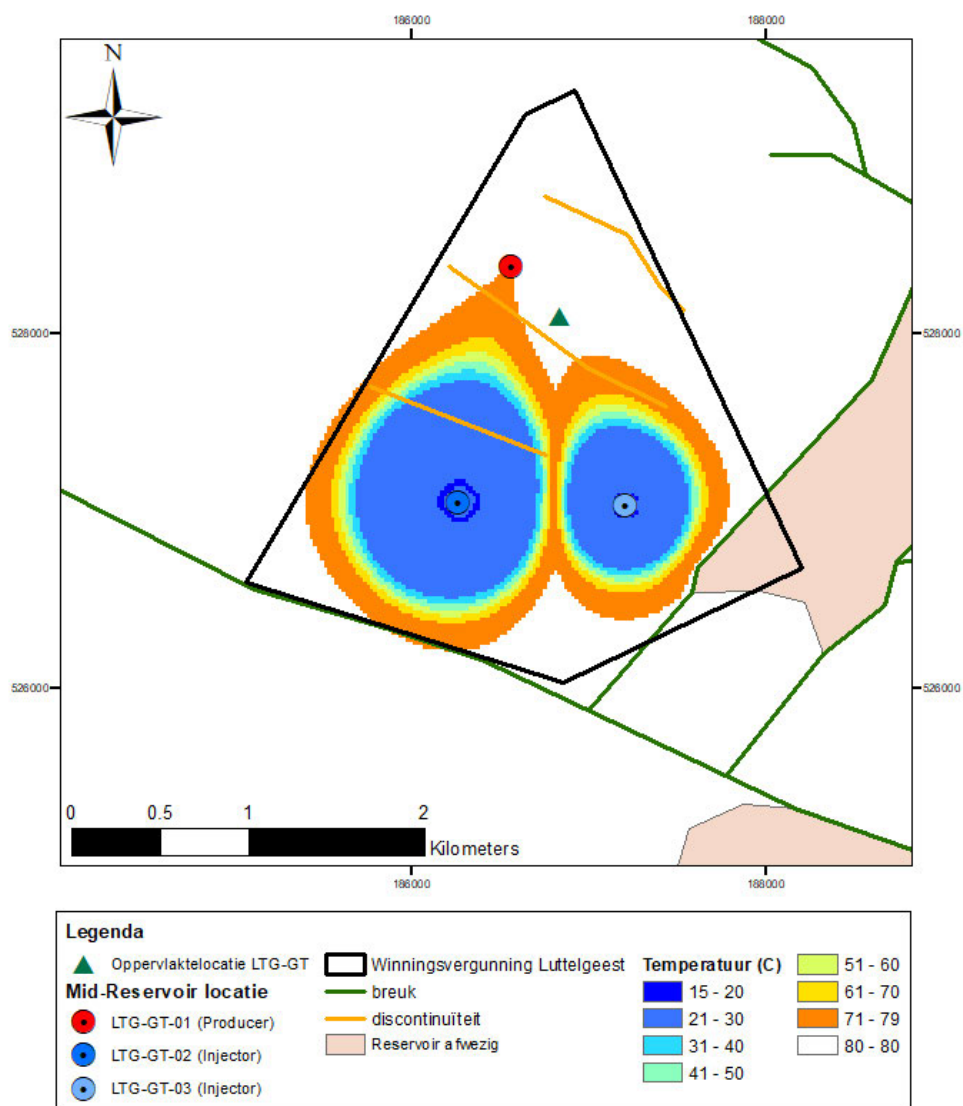
Onze referentie
AGE 20-10.015

Blad
33/39

Bijlage 3: resultaten DoubletCalc modelberekeningen

In deze bijlage worden de resultaten van de modelberekeningen in DoubletCalc1D en DoubletCalc2D, uitgevoerd door TNO-AGE, gepresenteerd.

DoubletCalc2D uitvoer

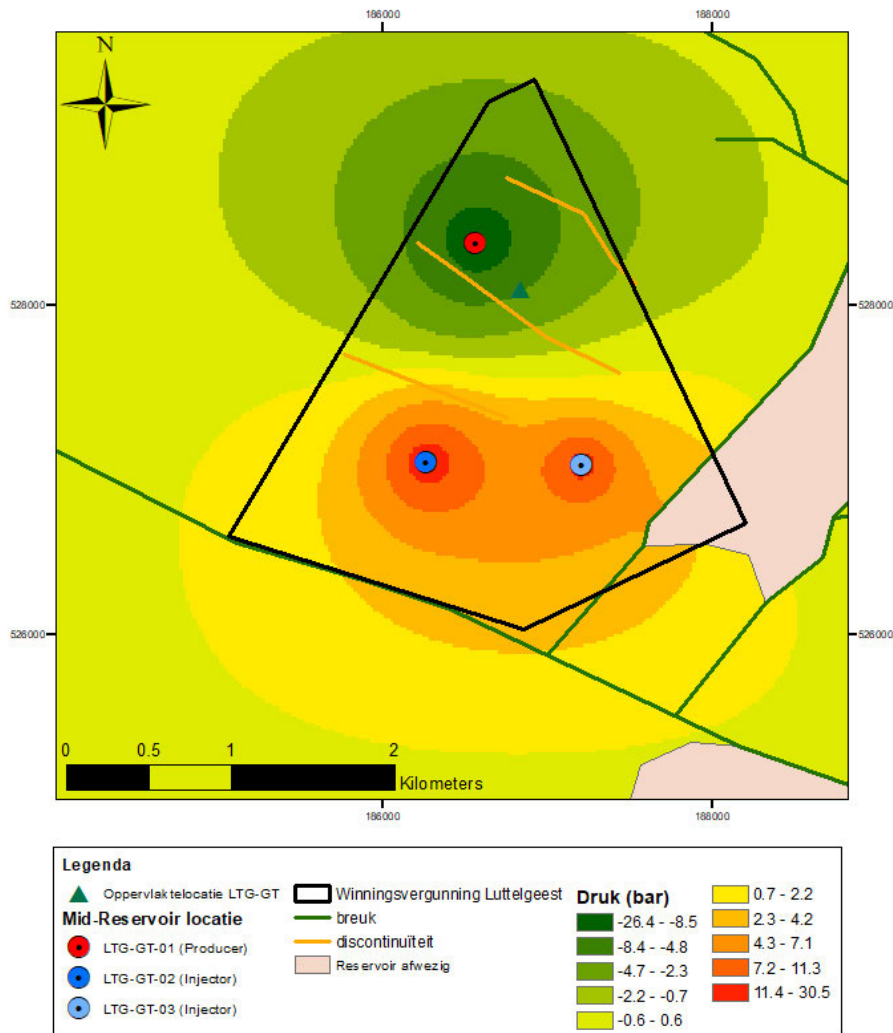


Figuur 3: DoubletCalc2D uitvoer van het TNO-AGE scenario met een maximaal systeem debiet van 394 m³/uur. De kaart toont de temperatuursverandering op reservoirdiepte aan het eind van de winningsvergunningsduur.

Datum
26 februari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.015

Blad
34/39

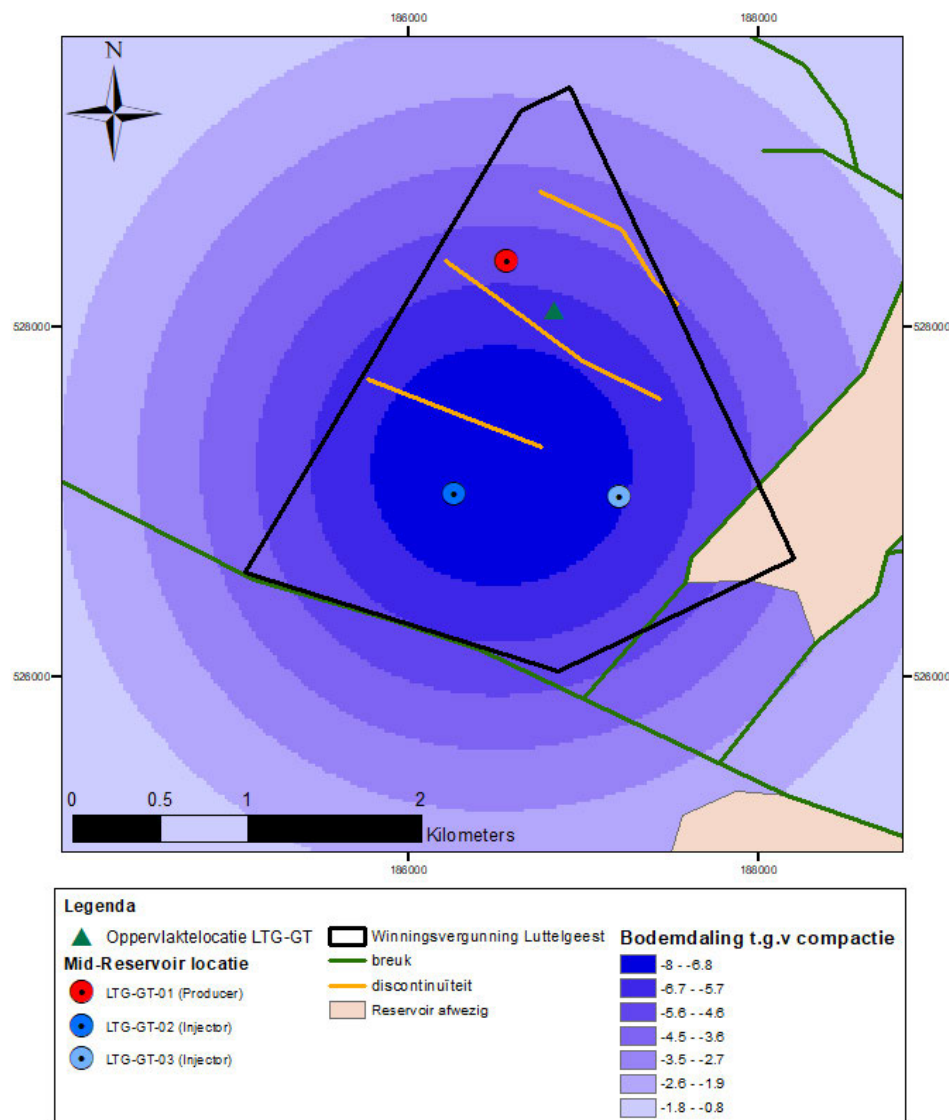


Figuur 4: DoubletCalc2D uitvoer van het TNO-AGE scenario met een maximaal debiet van 394 m³/uur. De kaart toont de drukverandering op reservoirdiepte aan het eind van de winningsvergunningsduur.

Datum
26 februari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.015

Blad
35/39



Figuur 5: DoubletCalc2D uitvoer van het TNO-AGE scenario met een maximaal debiet van 394 m³/uur. De kaart toont de mate van bodemdaling aan het eind van de winnings-vergunningsduur.

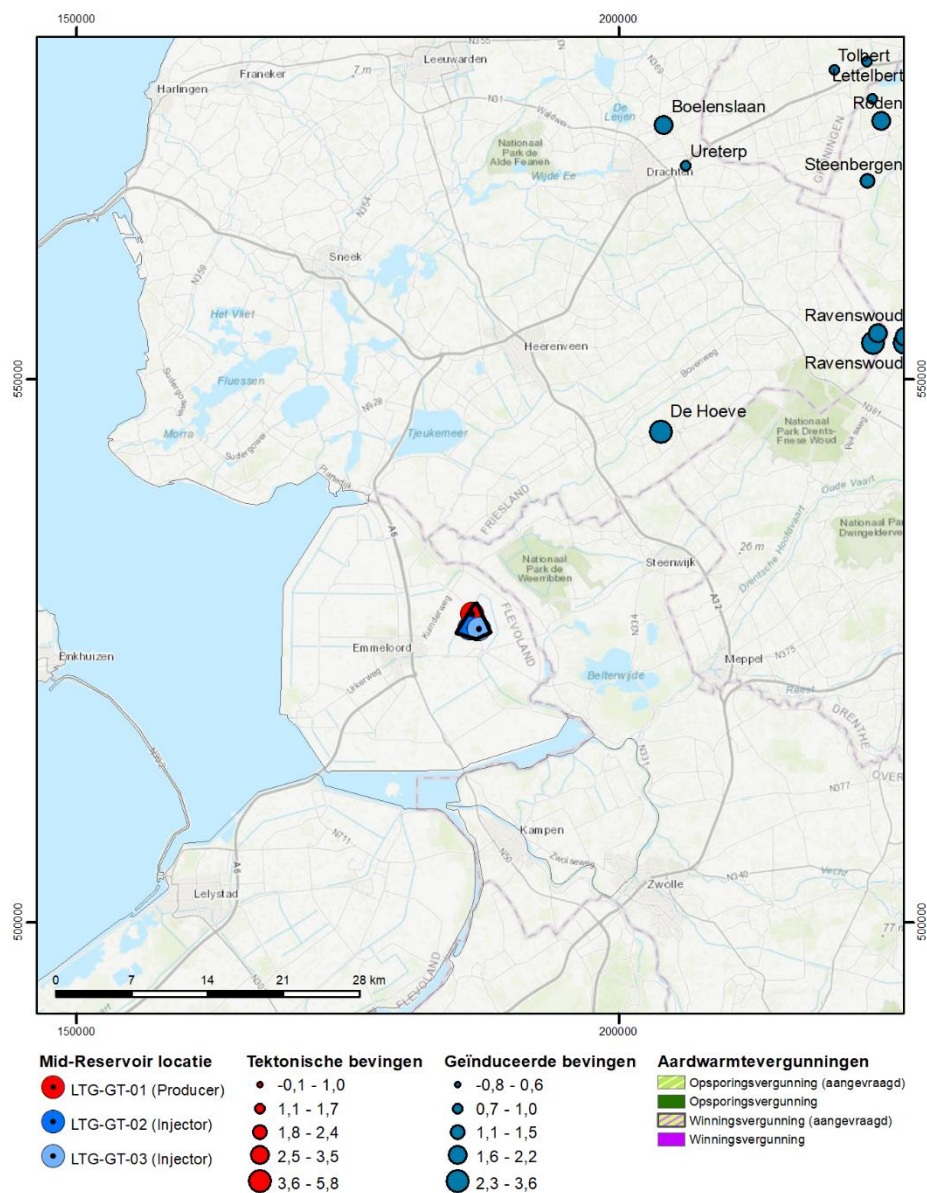
Bijlage 4: SHRA evaluatie kaarten

Afstand tot bekende natuurlijke en geïnduceerde bevingen.

Datum
26 februari 2020

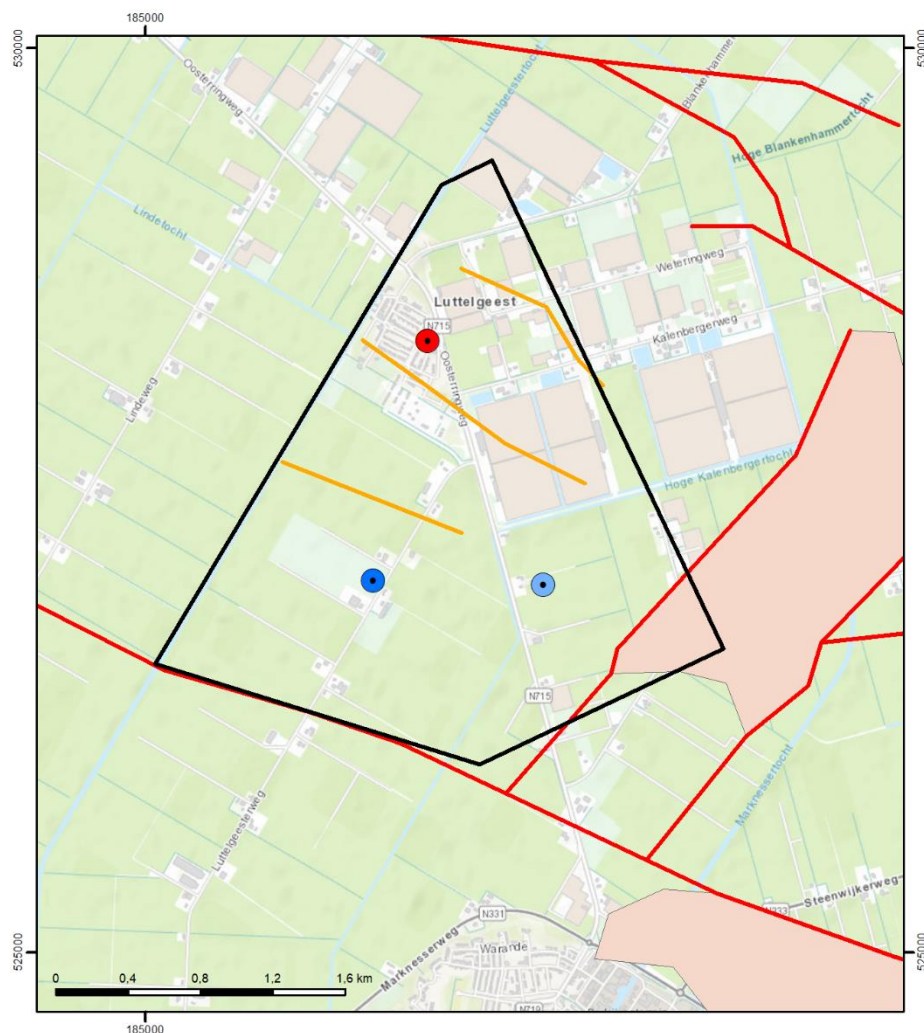
Onze referentie
AGE 20-10.015

Blad
36/39



Figuur 6: Overzicht van natuurlijke en geïnduceerde bevingen in de nabijheid van het geothermiesysteem Andijk. De weergegeven bevingen komen uit de aardbevingcatalogus van het KNMI (<https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/dataset/aardbevingcatalogus> – 17-12-2019).

Afstand tot breuken



- | | | |
|---------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| Breuken | Mid-Reservoir locatie | Aardwarmtevergunningen |
| — breuk | ● LTG-GT-01 (Producer) | ■ Opsporingsvergunning (aangevraagd) |
| — discontinuïteit | ● LTG-GT-02 (Injector) | ■ Opsporingsvergunning |
| ■ Reservoir afwezig | ● LTG-GT-03 (Injector) | ■ Winningsvergunning (aangevraagd) |
| | | ■ Winningsvergunning |

Figuur 7 Afstand van de injectieputten, top reservoir tot de geïnterpreteerde breuken en discontinuïteiten in de ondergrond.

Datum
26 februari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.015

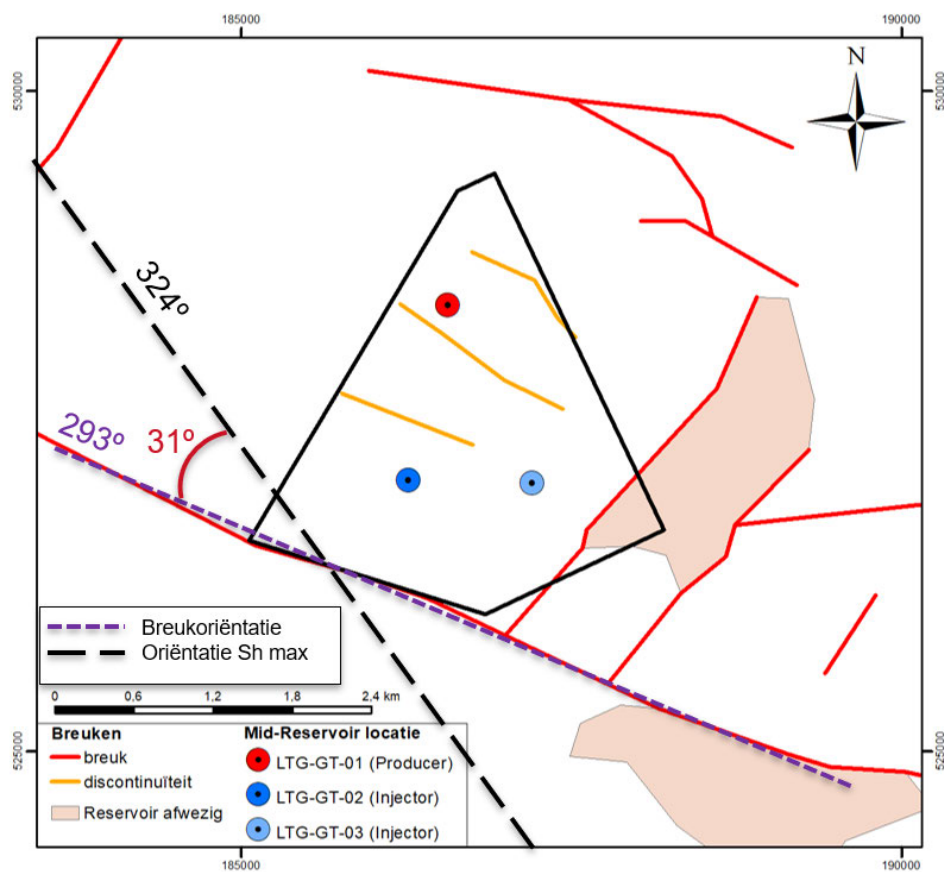
Blad
37/39

Breukoriëntatie

Datum
26 februari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.015

Blad
38/39



Figuur 8: Breukoriëntatie i.r.t. de oriëntatie van de maximale spanningsrichting (Sh max) en top reservoir locaties van de putten.

Datum
26 februari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.015

Blad
39/39

Bijlage 5: erratalijst

- De einddiepte van de put LTG-GT-03 zoals gegeven in Tabel 1 [1] is 1808 mTVD, maar in het End Of Well Report wordt een einddiepte van 1806 mTVD gegeven.
- De in het winningsplan [1] gepresenteerde top aquifer dieptekaart (Figuur 10) en bruto diktekaart (Figuur 11) zijn pre-drill en dus niet geactualiseerd o.b.v. de diepte en dikte van het reservoir zoals aangetroffen in de drie geboorde putten.
- De vergunninghouder presenteert in het winningsplan geen correlatiediagram waarin de logmetingen van de drie geboorde putten zijn opgenomen.
- In het addendum op het winningsplan [4] is in Tabel 6 het aantal vollasturen per jaar ca. 6400 uur. Dit komt niet overeen met de in Tabel 8 [4] gegeven inschatting van het jaarlijks aantal vollasturen. Deze komen wel weer overeen met het aantal vollasturen van ca. 6900 uur zoals gesteld in het winningsplan [1].