

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 Heemskerk

Geachte [REDACTED],

Naar aanleiding van uw adviesverzoek van 13 mei 2019 (per email) ter ondersteuning van het te nemen instemmingsbesluit betreffende het winningsplan aardwarmte Heemskerk van 2 mei 2019 door Ce-Ren Beheer 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 Heemskerk op de volgende onderwerpen:

1. Planmatig gebruik ondergrond (interferentie);
 - Wijze van winning, operationeel ontwerp en productiestrategie van het aardwarmte-systeem;
 - Drukbeïnvloeding en ondergrondse interferentie met aanpalende winningsactiviteiten;
 - Duur en hoeveelheden van de winning;
 - Bijvangst van delfstoffen;
2. Bodemdaling (prognoses en onzekerheden);
3. Bodemtrilling (analyse van de risicobeoordeling seismiciteit, controle op historische bevingen).

Beschrijving winning

Het aardwarmtesysteem Heemskerk, bestaande uit een productieput (HEK-GT-01-S2) en een injectieput (HEK-GT-02) is sinds 2015 in productie. Het systeem ligt in het gebied dat is gedefinieerd als de winningsvergunning Heemskerk (ca. 2,5 km²). Deze vergunning is bij beschikking, met kenmerk DGETM-EO/15124705, op 14 april 2016 verleend aan Ce-Ren Beheer B.V.. Het doublet is gericht op de

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

T +31 88 866 42 56

Datum

14 oktober 2019

Onze referentie

AGE 19-10.056

Contactpersoon

[REDACTED]

E-mail

[REDACTED]@tno.nl

Bijlage(n)

4

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
14 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.056

Blad
2/49

watervoerende zandsteenlagen van de Slochteren Formatie, die zich bevindt op een diepte van ca. 2500 m. 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 winningsvergunning verloopt in mei 2046 en daarmee is de totale duur van de warmteproductie 31 jaar.

De gewonnen warmte wordt gebruikt voor de glastuinbouw. Het debiet waarmee in 2018 werd geproduceerd was gemiddeld 97 m³/uur en de opbrengst van energie in dat jaar was ca. 0,17 PJ. In vergelijking met voorgaande jaren is in 2018 de grootste hoeveelheid energie geproduceerd.

De vergunninghouder gebruikt in het winningsplan twee winnings-scenario's met voor ieder een minimum en maximum hoeveelheid water die per jaar geproduceerd zal worden:

- 1) Productiestrategie op basis van de huidige operationele instellingen met een hoger debiet dan momenteel wordt opgelegd en een injectietemperatuur van 40°C;
- 2) Productiestrategie waarbij de eerste 3 jaar gelijk zijn aan scenario 1. Na 3 jaar zal de injectietemperatuur verlaagd worden tot 20 °C, waardoor de energieproductie verhoogd wordt.

In het eerste scenario verwacht de vergunninghouder jaarlijks tussen de 0,20 en 0,23 PJ te produceren. Met de extra uitkoeling in het tweede scenario ligt de verwachte jaarlijks te produceren hoeveelheid energie tussen de 0,26 en 0,31 PJ.

1. Planmatig gebruik van de ondergrond

Vergunninghouder vraagt in de aanvulling op het winningsplan [4] een gemiddeld debiet van 103 m³/uur aan voor een periode 35 jaar. Dit is langer dan de huidige winningsvergunning, die geldt tot 2046 (nog 27 jaar). Vanaf start productie tot 01-01-2019 is er 2,4 miljoen m³ water geproduceerd. De totale hoeveelheid water die tot het einde van de winningsvergunning, in totaal 31 jaar productie, geproduceerd zal worden bedraagt ca. 27,1 miljoen m³. Het geproduceerde formatiewater bevat ca. 0,4 m³ opgelost aardgas per m³ water [1]. De vergunninghouder heeft ervoor gekozen om het water niet te ontgassen, door het systeem op voldoende druk te houden, en terug te injecteren in het reservoir.

TNO-AGE heeft de invoerparameters en de daaruit voortvloeiende injectiedrukken en afkoelingscontouren geëvalueerd en vervolgens eigenstandig nagerekend met de softwarepakketten DoubletCalc-1D en -2D.

Bijlage 2 toont de druk- en temperatuurdistributie in de ondergrond aan het einde van de winningsvergunning in 2046 voor beide winnings-scenario's.

TNO-AGE vindt het genoemde debiet, injectiedruk en productieduur voor de huidige systeemconfiguratie in overeenstemming met de principes van planmatig gebruik van de ondergrond in de genoemde geologische setting.

De door de vergunninghouder opgegeven maximale injectiedruk aan de putmond (THP) van 56 bar en/of een maximaal debiet van 200 m³/uur, conform het gestelde

Datum
14 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.056

Blad
3/49

in de WABO, geldt voor een minimale injectietemperatuur van 40°C. Bij de voorgestelde toekomstige injectietemperatuur van 20 °C is de maximale injectiedruk aan de putmond waarschijnlijk lager, maar de verschildruk op reservoirdiepte groter ten gevolge van het hogere gewicht en viscositeit van de meer afgekoelde waterkolom in de injectieput. Dit onder de aanname dat de reservoir eigenschappen onveranderd blijven bij een lagere temperatuur. Indien in dit scenario het maximale debiet wordt opgelegd dan lijkt er vooralsnog binnen de drukbegrenzingsgrenzen geproduceerd te kunnen worden. Daarnaast vindt er modelmatig, voor beide scenario's, geen doorbraak plaats van koud water in de productieput binnen de duur van de winningsvergunning.

Er zijn momenteel geen andere mijnbouwactiviteiten in de nabijheid van de geothermische installatie, daarom is er nu geen ondergrondse interferentie.

TNO-AGE acht de winning van aardwarmte, zoals voorgesteld in het winningsplan, in overeenstemming met de principes van planmatig gebruik van de ondergrond in de genoemde geologische setting.

2. Bodemdaling

TNO-AGE heeft de bodemdalingsberekeningen van de vergunninghouder geëvalueerd en eigenstandig nagerekend. De resultaten confirmeren de inschatting van de vergunninghouder. De berekende bodemdaling is enkel ten gevolge van de krimp van het reservoir door afkoeling van het gesteente. De maximaal verwachte bodemdaling (rondom de locatie van de injectieput op reservoirdiepte) na 31 jaar productie is ca. 1,5 tot 1,8 mm, afhankelijk van de injectietemperatuur. De mate van bodemdaling neemt af met toenemende afstand van de injectieput. Bodemdaling, ten gevolge van de aardwarmteproductie, in het dichtstbijzijnde natuur-/beschermingsgebied ligt in dezelfde orde van grootte.

TNO-AGE is van mening dat de modelmatige bodemdaling ten gevolge van de winning van aardwarmte, voor zowel de huidige als toekomstige situatie, als verwaarloosbaar kan worden beschouwd.

3. Bodemtrilling

Op basis van de KNMI-database concludeert de vergunninghouder dat er enkel geïnduceerde bevingen zijn waargenomen in de nabije omgeving van het geothermisch systeem Heemskerk. TNO-AGE is het eens met de observatie dat er geïnduceerde bevingen zijn waargenomen. Echter, uit dezelfde database blijkt dat er ook één natuurlijke beving heeft plaats gevonden in de ruime omgeving van het geothermisch systeem Heemskerk.

Vergunninghouder heeft conform de leidraad^{1,2} een seismische hazard-risicoanalyse (SHRA) uitgevoerd voor het geothermisch systeem Heemskerk,

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

Datum
14 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.056

Blad
4/49

maar enkel voor de huidige situatie. Vergunninghouder komt uit op een genormaliseerde seismisch potentieel score van 0,3, geclassificeerd als laag potentieel voor het induceren van seismiciteit.

TNO-AGE heeft dit geëvalueerd en eigenstandig nagerekend conform de leidraad^{1,2} en heeft hiervoor de door de vergunninghouder aangeleverde scenario's gebruikt. Voor het geothermisch systeem Heemskerk, in zowel de huidige als toekomstige situatie, komt TNO-AGE uit op een genormaliseerde seismisch potentieel score van 0,37. Deze score is hoger dan die van de vergunninghouder en resulteert in een gemiddeld potentieel voor het induceren van seismiciteit. Het resultaat van TNO-AGE wijkt af van de uitkomst van de vergunninghouder (0,30) doordat TNO-AGE een hogere score geeft aan de categorieën breukoriëntatie in huidig spanningsveld" (10 i.p.v. 7) en "afstand tot natuurlijke bevingen" (3 i.p.v. 0).

Voor het geothermisch systeem Heemskerk, zowel in de huidige als toekomstige winningsstrategie, komt TNO-AGE uit op een gemiddeld potentieel voor het induceren van seismiciteit. Dit wijkt af van het resultaat van de vergunninghouder, die uitkomt op een laag potentieel voor het induceren van seismiciteit. Op basis van deze uitkomst zou de vergunninghouder, conform de leidraad^{1,2} [11], een evaluatie van de locatie specifieke seismische dreiging uit moeten voeren.

Conclusie en aanbevelingen

De SHRA methodiek zoals geïmplementeerd^{1,2} resulteert in een seismische dreiging die de grens tussen laag en gemiddeld net overschrijdt. Conform de leidraad^{1,2} zou de vergunninghouder daarom een evaluatie van de locatie specifieke seismische dreiging uit moeten voeren. TNO-AGE geeft ter overweging om in te stemmen met het ingediende winningsplan, onder de voorwaarde dat de vergunninghouder wordt verzocht op termijn een evaluatie van de locatie specifieke seismische dreiging aan te leveren. Dit dient tenminste voor de start van verdere uitkoeling tot 20°C te gebeuren, omdat de effecten hiervan op de seismische dreiging expliciet meegenomen moeten worden in deze evaluatie. Resumerend ziet TNO-AGE geen geotechnische belemmeringen wat betreft de bodemdaling en het planmatig gebruik van de ondergrond.

Ik verwacht u hiermee van dienst te zijn geweest.

Met vriendelijke groet,



Hoofd Adviesgroep Economische Zaken en Klimaat

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.

Bijlage 1: geotechnische evaluatie winningsplan geothermie Heemskerk

TNO-AGE heeft een geotechnische evaluatie uitgevoerd van de winningsplandocumenten geothermie Heemskerk die in dit kader bij het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) zijn aangeleverd, ter ondersteuning van het te nemen instemmingsbesluit betreffende het winningsplan voor het geothermiesysteem Heemskerk. In deze rapportage worden de resultaten en bevindingen van de door TNO-AGE uitgevoerde evaluatie beschreven.

1. Configuratie aardwarmtesysteem

Het aardwarmtesysteem Heemskerk, bestaande uit een productieput (HEK-GT-01-S2) en een injectieput (HEK-GT-02) is sinds 2015 in productie en ligt in de winningsvergunning voor aardwarmte Heemskerk. Het systeem is gericht op de watervoerende zandsteenlagen van de Slochteren Formatie. Een schematisch overzicht van het systeem wordt gepresenteerd in [2] en van de putten in [3].

2. Toekomstige uitbreidingen

In de lange termijn productieprognose (tweede tabel in [4]) verhoogt de vergunninghouder de hoeveelheid geproduceerde energie vanaf 2022 van gemiddeld 215270 GJ per jaar naar gemiddeld 286330 GJ per jaar, terwijl de hoeveelheden geproduceerd water gelijk blijft. Dit is gerelateerd aan het plan dat in de toekomst het mogelijk wordt om het geproduceerde water verder uit te koelen tot 20°C. TNO-AGE neemt de verdere uitkoeling tot 20°C mee in de modelberekeningen en de evaluatie van de SHRA.

3. Evaluatie put-, reservoir- en productiegegevens

TNO-AGE heeft een evaluatie uitgevoerd van de in het winningsplan [1] en [4] 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 gerapporteerde putgegevens, m.b.t. locaties en architectuur, komen overeen met die in de End Of Well Reports (EOWR) van beide putten. In 2017 zijn in de productieput de ESP en inhibitorlijn vervangen. Daarnaast is in de productieput een *scab liner* geplaatst. De *scab liner* is smaller dan de originele *casing* en *liners*, waardoor de drukverliezen door wrijving mogelijk hoger zijn dan ervoor. TNO-AGE heeft deze gegevens overgenomen voor de modelberekeningen.

3.2 Reservoirgegevens

In paragraaf 3.1 van [1] worden de reservoir eigenschappen beschreven. Deze zijn door TNO-AGE geëvalueerd. Op basis van eigen analyses zijn alternatieve waarden gepresenteerd. Voor de TNO-AGE reservoirmodellering zijn de putgegevens, gegeven in Tabel 1 (kolom TNO-AGE) van dit document.

Datum
14 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.056

Blad
6/49

Diepte en bruto dikte

Op basis van de stratigrafische interpretatie van HEK-GT-01-S2 en HEK-GT-02 zijn de top reservoir diepte en bruto dikte van beide putten bepaald. Er is overeenstemming in de bepaling van de top reservoir dieptes. Voor de bruto dikte geeft vergunninghouder enkel een “circa” waarde. Deze wijkt licht af van de door TNO-AGE bepaalde waarden.

Netto/bruto verhouding

De vergunninghouder geeft in paragraaf 3.1 [1] een netto-bruto waarde van circa 99 – 100% voor beide putten. TNO-AGE heeft de netto/bruto verhouding bepaald o.b.v. de logmetingen in beide putten en komt op een vergelijkbare waarde.

Porositeit

De door de vergunninghouder bepaalde porositeit van 17% (paragraaf 3.1 in [1]) komt nagenoeg overeen met de door TNO-AGE bepaalde en gebruikte porositeit in de evaluatie van de winningsvergunning aanvraag [5] van 17,5%.

Permeabiliteit

In paragraaf 3.1 [1] wordt door de vergunninghouder een permeabiliteit van 220 mD gegeven, het is onduidelijk wat de bron van deze permeabiliteitswaarde is. Uit de puttest analyse van HEK-GT-01-S2 [6] uitgevoerd door PanTerra Geoconsultants B.V. (hierna: PanTerra) komt een permeabiliteitsspreiding van 55 tot 80 mD met een gemiddelde permeabiliteit van 65 mD.

Uit de productiedata analyse van het Heemskerk doublet volgt een vergelijkbare permeabiliteitsspreiding. De gemiddelde permeabiliteit in de put HEK-GT-01-S1 is bepaald op 68 mD, welke gelijk is aan de permeabiliteit die gebruikt is voor de evaluatie van de winningsvergunning van Heemskerk [5].

Saliniteit formatiewater

De vergunninghouder geeft op pagina 21 van [1] alleen het zoutgehalte van het formatiewater, namelijk 183 g/l (als TDS – Total Dissolved Solids). Er wordt geen eenduidige bron gegeven op reeds aan de overheid aangeleverde rapporten na.

TNO-AGE beschikt over een rapport [7] waarin voor meerdere monsters van HEK-GT-01-S2 de watersamenstelling wordt geanalyseerd. Aan de hand van deze metingen heeft TNO-AGE een gemiddelde TDS van ca. 207.822 ppm en gemiddelde dichtheid van 1,137 g/l bij 99°C berekend. Deze concentratie is ca. 14% meer dan wat de vergunninghouder in het winningsplan rapporteert. De concentratie in NaCl equivalent, overeenkomstig met een TDS van 207.822 ppm, is ca. 206.000 ppm.

Temperatuur

In paragraaf 3.1 van [1] stelt de vergunninghouder dat de geothermische gradiënt 3,8°C per 100 meter is en dat de temperatuur van het formatiewater circa 100°C is. De opgegeven temperatuur van het formatiewater komt overeen met de maandelijks gerapporteerde productietemperatuur gemeten bij de warmtewisselaar. Dit is niet noodzakelijkerwijs de temperatuur op mid-reservoir niveau. Wat de werkelijke reservoir temperatuur is en dus de gradiënt, is niet eenduidig te berekenen. TNO-AGE gebruikt de temperatuur zoals deze uit de

Datum
14 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.056

Blad
7/49

productiedatabase komt voor de reservoirmodellering in DoubletCalc2D. Voor de DoubletCalc1D is de aquifertemperatuur afgeleid van de temperatuur van 100°C bij de warmtewisselaar.

Tabel 1: 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
	HEK-GT-01-S2	HEK-GT-02	HEK-GT-01-S2	HEK-GT-02	
Diepte top reservoir (mTVD)	2530	2384	2530	2384	Diepte en bruto dikte TNO-AGE gebaseerd op log interpretatie.
Bruto dikte (m)	Ca. 200	Ca. 200	187	203	
Netto dikte (m)	Ca. 200	Ca. 200	185	201	Waarden TNO-AGE gebaseerd op logdata.
Netto-bruto (%)	99 – 100%	99 – 100%	99%	99%	
Porositeit (%)	17%	17%	17,5%	17,5%	TNO-AGE porositeit gelijk aan de Winningsvergunning evaluatie.
Permeabiliteit (mD)	220	220	68	68	Gelijk aan de Winningsvergunning evaluatie en vergelijkbaar met de PanTerra puttest analyse.
Saliniteit (ppm)	183.000	183.000	206.000	206.000	Vergunninghouder saliniteit als TDS. TNO-AGE saliniteit als NaCl eq. TDS.
Geothermische gradiënt	3,8°C/100m	3,8°C/100m	3,4°C/100m	3,4°C/100m	-

3.3 Productiegegevens

De gegevens die de vergunninghouder in paragraaf 4.4 van [1] geeft, karakteriseren de productie van het geothermisch systeem onder beoogde standaard operationele condities. TNO-AGE heeft deze gegevens vergeleken met de historische productie gegevens en is van mening dat de door de vergunninghouder aangeleverde gegevens in paragraaf 4.4 van [1] grotendeels in lijn zijn met de historische productie cijfers.

In paragraaf 4.4 van [1] geeft vergunninghouder een geprognostiseerd debiet met bijbehorende vollasturen per jaar. Het debiet van 115 m³/uur, in de tabel in paragraaf 4.4, is waarschijnlijk een maximum debiet. Uit de productiedatabase van TNO-AGE blijkt dat de vergunninghouder een variabel debiet hanteert gedurende een jaar, met een lager debiet in de zomer en een hoger debiet dan gemiddeld in de winter. Het maximaal behaalde debiet sinds de start van de productie is 111 m³/uur.

Op 23 juli 2019 heeft TNO-AGE aanvullingen [4] ontvangen ten behoeve van de toekomstige productieprognoses. In deze aanvullingen beschrijft de vergunninghouder twee scenario's:

- 1) Productiestrategie op basis van de huidige operationele instellingen met een hoger debiet dan momenteel wordt opgelegd en een injectietemperatuur van 40°C;
- 2) Productiestrategie waarbij de eerste 3 jaar gelijk zijn aan scenario 1. Na 3 jaar zal de injectietemperatuur verlaagd worden tot 20 °C, waardoor de energieproductie verhoogd wordt.

Datum
14 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.056

Blad
8/49

Het productievolume van beide scenario's ligt tussen de 0,8 en 0,9 miljoen m³ water per jaar. De bijbehorende energieproductie in scenario 1 ligt tussen de 197.296 en 233.244 GJ per jaar. In scenario 2 is de energieproductie in de eerste 3 jaar gelijk aan die van scenario 1. Na verlaging van de injectietemperatuur ligt de energieproductie tussen de 264.176 en 308.484 GJ [4]. Het valt TNO-AGE op dat het aantal vollasturen in de eerste 3 jaar van scenario 2 lager is dan het aantal vollasturen in scenario 1, terwijl de energieproductie in beide scenario's gelijk blijft. Bij een afname in vollasturen wordt ook een afname in energieproductie verwacht, tenzij het bronvermogen toeneemt. TNO-AGE ziet daarom de water- en energieproductie als leidend en gebruikt de opgegeven vollasturen alleen om het maximale debiet per scenario uit te rekenen, welke gebruikt zal worden in de modellering en de SHRA evaluatie.

Het berekende maximale debiet, op basis van de aangeleverde informatie [4], voor scenario 1 is 133 m³/uur en scenario 2 163 m³/uur, het gemiddelde debiet per jaar is voor beide scenario's 91 m³/uur (minimum) en 103 m³/uur (maximum).

*Tabel 2: Overzicht van de door vergunninghouder aangeleverde scenario's. Afkomstig uit de aangeleverde aanvullingen [4]. * full time jaarproductie.*

Scenario	Injectie temperatuur [°C]	Hoeveelheid water [m ³]	Debiet [m ³ /uur]	Vollasturen [uren]	Debiet bij 8760 uur*	Opmerkingen
1 Minimum	40	800.000	132,6	6033	91	Prognose o.b.v. hoger debiet dan momenteel wordt opgelegd en huidige operationele instellingen.
1 Maximum	40	900.000	126,2	7132	103	
2 Minimum	40	800.000	162,6	4920	91	Eerste 3 jaar van scenario 2, waarin in de injectietemperatuur 40 °C is. Vergunninghouder hanteert in de eerste 3 jaar een lager aantal vollasturen.
2 Maximum	40	900.000	154,7	5816	103	
2 Minimum	20	800.000	121,4	6588	91	Scenario 2 na 3 jaar, meer vollasturen en verdere uitkoeling waardoor injectietemperatuur naar 20°C gaat.
2 Maximum	20	900.000	117,0	7692	103	

Vergunninghouder hanteert in het winningsplan (paragraaf 4.4 van [1]) een gemiddelde en maximale druk van de injector aan de injectieputkant van de injectiepomp van respectievelijk 11 en 20 bar. Vergunninghouder geeft daarnaast een gemiddelde en maximale operationele injectiedruk op reservoir niveau van 280 bar en 320 bar. DoubletCalc1D berekent dat de aquiferdruk aan de injectieputkant 249 bar is. Dit is in dezelfde grootteorde als bepaald uit de puttest. Op basis hiervan is de maximale verschillendruk bij de injectieput op reservoirniveau 71 bar (maximale operationele injectiedruk op reservoirdiepte minus de aquiferdruk). De aquiferdruk die hiervoor gebruikt is een berekening en geen directe meting op reservoirdiepte en derhalve onzeker.

Bij de historische gemiddelde operationele injectiedruk op reservoirniveau hoort een injectietemperatuur van circa 43°C. De vergunninghouder is van plan om na een aantal jaar het geproduceerde water verder af te koelen tot 20°C. TNO-AGE verwacht dat de lagere temperatuur van het geïnjecteerde water de maximale injectiedruk zal beïnvloeden. Enerzijds omdat het koudere water zwaarder is en dus

resulteert in een hogere injectiedruk op reservoirniveau en anderzijds omdat het koudere water een hogere viscositeit heeft waardoor een hogere injectiedruk vereist is om te injecteren met een bepaald debiet. De balans tussen deze twee bepaalt of de injectiedruk nodig voor een bepaald debiet hoger of lager wordt.

In de tabel in paragraaf 4.4 [1] geeft de vergunninghouder aan 0,05 l/m³ inhibitorvloeistof in te brengen. Uit de door vergunninghouder aangeleverde aanvullingen [4] blijkt dat de vergunninghouder ca. 0,04 l/m³ inhibitorvloeistof wil in brengen. Deze prognoses zijn hoger dan wat uit de aan TNO-AGE aangeleverde productiedata blijkt. Uit de productiedata blijkt dat momenteel maximaal 0,03 l/m³ inhibitorvloeistof gebruikt wordt.

Het geproduceerde formatiewater bevat opgelost aardgas. De vergunninghouder vermeldt in het winningsplan [1] dat de verhouding ca. 0,4 m³ gas per m³ water is. De vergunninghouder heeft ervoor gekozen om het water niet te ontgassen. Door het systeem op voldoende druk te laten draaien blijft het gas in oplossing en kan het terug in het reservoir geïnjecteerd worden.

4. Modellering aardwarmteproductie

De vergunninghouder presenteert in paragraaf 4.3 en Figuren 7 en 8 van [1] het resultaat van een reservoir modellering van het geothermisch systeem Heemskerk o.b.v. DoubletCalc2D. De modellering is uitgevoerd voor het huidige systeem, met een geprognostiseerd debiet van 115 m³/uur, en voor een periode van 35 jaar. De verleende winningsvergunning heeft echter een duur van 30 jaar. Daarom modelleert TNO-AGE het systeem voor een periode van 31 jaar; van de productiestart tot het einde van de winningsvergunning. Het valt TNO-AGE op dat injectietemperatuur van het DoubletCalc2D scenario (30°C) afwijkt van dat wat in het winningsplan (43°C) staat.

TNO-AGE heeft een DoubletCalc1D [19] en DoubletCalc2D [20] berekening uitgevoerd van zowel het huidige gerealiseerde systeem als het toekomstig geplande systeem met een injectietemperatuur van 20°C. De invoerwaarden zijn deels overgenomen van de in het winningsplan [1] gerapporteerde put- en reservoirgegevens. Om de druk en reservoirparameters te matchen met het debiet, zijn de skinwaarden in het DoubletCalc1D model geoptimaliseerd. Echter, op basis van een evaluatie van deze gegevens, zoals hierboven beschreven, komt TNO-AGE voor bepaalde parameters tot andere inzichten en heeft daarvoor afwijkende waarden gebruikt in de modellering. De uitkomsten van deze modelberekeningen zijn vergeleken met de reeds beschikbare productiedata.

4.1 DoubletCalc1D

Huidige systeemconfiguratie (40°C injectietemperatuur)

Als eerste heeft TNO-AGE een DoubletCalc1D scenario opgesteld dat het huidige gerealiseerde systeem representeert. De uitvoer van dit scenario is gegeven in Figuur 3 in Bijlage 2. De door TNO-AGE geëvalueerde geologische parameters (Tabel 1) zijn gebruikt als invoer, alsmede de installatieparameters zoals door de vergunninghouder beschreven in het winningsplan [1]. Het pompdrukverschil is zo gekozen dat een gemiddeld debiet (op basis van de historische productiedata) van

ca. 89 m³/uur wordt berekend. De resultaten in termen van gemiddeld maand vermogen en druk sluiten goed aan bij de aangeleverde productiedata en ook de ingevoerde skins komen overeen met de skins die volgen uit een analyse door TNO-AGE van de productiedata.

Toekomstige productieparameters

Vergunninghouder heeft ter aanvulling [4] van het winningsplan enkele productiescenario's opgesteld (Tabel 2). TNO-AGE heeft van deze scenario's de scenario's doorgerekend waarin het meeste water wordt geproduceerd. Dit is gedaan om een inschatting te maken van het verwachte vermogen en een indicatie te krijgen van de injectiedruk op reservoirdiepte bij de verschillende debieten en injectietemperaturen. De resultaten zijn gegeven in Figuren 4, 5 en 6 in Bijlage 2. TNO-AGE wil wel opmerken dat het resultaat met enige onzekerheid is omgeven omdat de skin waarden voor het toekomstige systeem niet eenduidig te bepalen zijn en omdat de resulterende injectiedruk niet goed te verifiëren is.

Het vermogen dat resulteert uit het maximum van scenario 1 (zoals beschreven in Tabel 2) is ca. 8 MW en de injectiedruk op reservoirdiepte komt uit op ca. 43 bar (Figuur 4 in Bijlage 2). Dit is een toename in vermogen en injectiedruk in vergelijking met de huidige productieparameters.

Scenario 2 (Tabel 2) bestaat uit twee fases. In de eerste fase wordt water geïnjecteerd met een temperatuur van 40°C. Na drie jaar wordt het productiewater verder afgekoeld tot een injectietemperatuur van 20°C. Dit resulteert in een hoger aantal vollasturen waarbij het totaal geproduceerde volume aan water per jaar gelijk blijft, maar het gemiddeld jaardebiet lager wordt. Dit resulteert in een hogere energieopbrengst van ca. 10 MW voor beide injectietemperaturen (Figuur 5 in Bijlage 2). De injectiedruk op reservoirdiepte is voor het scenario dat injecteert met 40°C ca. 45 bar en in scenario met een injectietemperatuur van 20°C ca. 48 bar (Figuur 6 in Bijlage 2).

4.2 DoubletCalc2D (DC2D)

Bij het opstellen van een DoubletCalc2D model is TNO-AGE uitgegaan van twee productiescenario's; een voor de huidige injectietemperatuur van 40°C en een voor de toekomstige injectietemperatuur van 20°C. Dit in tegenstelling tot de vergunninghouder, die enkel voor de huidige situatie een model met een injectietemperatuur van 30°C en een afwijkend debiet van 115 m³/uur heeft opgesteld. De vergunninghouder geeft in [4] per scenario aan hoeveel water er minimaal en maximaal geproduceerd gaat worden (Tabel 2). TNO-AGE gaat alleen uit van de maximale waterproductie voor de berekeningen van de doorbraaktijd en grensoverschrijding.

De vergunninghouder heeft constante waarden voor de reservoirparameters gebruikt voor de invoer van het DoubletCalc2D model ([8], [9] en [10]). TNO-AGE gebruikt grids als invoer voor DoubletCalc2D, welke zijn gemaakt door interpolatie van de putwaarden zoals gegeven in Tabel 1.

TNO-AGE neemt aan dat de breuken die het dichtst bij het doublet staan, zoals geïnterpreteerd in Figuur 6 van [1], doorlatend zijn en neemt deze in eerste instantie

Datum
14 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.056

Blad
11/49

niet mee in het DoubletCalc2D scenario. De aanname dat deze breuken doorlatend zijn is o.b.v. de puttest interpretatie aangeleverd door de vergunninghouder [6]. Hierin wordt o.a. onderzocht of in de puttest van HEK-GT-01-S2 een mogelijk barrière te zien is die mogelijk wijst op een afsluitende breuk. Er wordt echter geconcludeerd dat de invloed van deze breuk op het model te klein is om het bestaan van een barrière te bevestigen. TNO-AGE heeft daarnaast ook de seismiek in dit gebied bekeken en ziet dat de dichtstbijzijnde breuken hoogstwaarschijnlijk zand-zand juxtapositie hebben, waardoor de breuken waarschijnlijk deels doorlatend zijn.

Aangezien afkoeling van het reservoir mogelijk zorgt voor een toename van spanning op breuken, zal TNO-AGE een DoubletCalc2D scenario opstellen waarin de breuken, in het geëvalueerde gebied, alsnog meegenomen worden. Het doel is om het relatieve tijdstip en de mogelijke afkoeling bij de breuken te bepalen.

Scenario 1 – Huidige productiesysteem met 40°C injectietemperatuur

DC2D scenario vergunninghouder

De vergunninghouder heeft voor het huidige systeem een modelberekening gedaan van 35 jaar (paragraaf 4.3 van [1]). De vergunninghouder heeft in dit model geen rekening gehouden met de historische productiedata, de verwachte toename van waterproductie en verdere verlaging van de injectietemperatuur zoals aangeleverd in [4]. De resultaten van dit model staan in Figuur 7 van [1] (kaart met drukverdeling na 35 jaar) en Figuur 8 van [1] (kaart met verwachte temperatuurverdeling na 35 jaar). Er worden geen “druk tegen tijd” of “temperatuur tegen tijd” grafieken gegeven door vergunninghouder. Vergunninghouder geeft aan dat er na 35 jaar productie nog geen temperatuur doorbraak is bij de productieput.

TNO-AGE heeft dit model met dezelfde modelparameters nagerekend. Voor het narekenen van dit model heeft TNO-AGE wel het onderzoeksgebied aangepast zodat deze overeenkomt met het onderzoeksgebied dat gebruikt wordt in de door TNO-AGE opgestelde DoubletCalc2D scenario's.

De resultaten (Figuren 7, 8 en 9 in Bijlage 2) komen grotendeels overeen met wat de vergunninghouder rapporteert in paragraaf 4.3 van het winningsplan [1]. Op basis van dit model wordt grensoverschrijding en doorbraak van koud water in de productieput niet verwacht binnen de winningsduur van 31 jaar.

DC2D scenario TNO-AGE

TNO-AGE heeft voor het huidige systeem een eigen DoubletCalc2D scenario opgesteld met een injectietemperatuur van 40°C. In dit scenario wordt rekening gehouden met de historische productie en de productieprognose (Tabel 2) zoals die is aangeleverd door de vergunninghouder in [4]. De invoerparameters voor DoubletCalc2D, zoals bepaald door TNO-AGE, staan in Tabel 1 van dit document.

Vergunninghouder stelt in [4] dat er maximaal 900.000 m³ water per jaar verpompt gaat worden. Vergunninghouder geeft ook aan dat het systeem niet met 100% vollasturen zal draaien. In het DoubletCalc2D model van TNO-AGE wordt uitgegaan

Datum
14 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.056

Blad
12/49

van een continue productie over het gehele jaar, dat gelijk staat aan 8760 uur. Het debiet dat hieruit volgt is 103 m³/uur. De skin waarden zijn zo afgestemd dat de resulterende verschildruk overeenkomt met de verschildruk afgeleid van de productiedata.

De hoeveelheid water die tot 1 januari 2019 is geproduceerd (en geïnjecteerd) en gedurende de resterende duur van de winningsvergunning (tot 26 mei 2046) nog wordt geproduceerd, uitgaande van de prognose van de vergunninghouder, is ca. 27,1 miljoen m³.

In Bijlage 2 worden de resulterende beïnvloedingsgebieden m.b.t. temperatuur (Figuur 10) en druk (Figuur 11) gepresenteerd na een productieperiode van 31 jaar. Daaruit is op te maken dat de koudwaterbel de productieput na 31 jaar nog niet bereikt heeft. Het modelresultaat toont ook aan dat na 100 jaar productie er nog geen 1°C afkoeling op de vergunningsgrens optreedt en geen doorbraak van koud water in de productieput plaatsvindt. Dit resultaat komt overeen met het de uitkomsten van het DoubletCalc2D model t.b.v. het advies [5] voor de winningsvergunningaanvraag (na 105 jaar afkoeling van 1°C op de vergunningsgrens).

Afkoeling van het reservoir zorgt mogelijk voor een toename van spanning op breuken, waardoor de breuken minder stabiel worden. Dit zogenaamde thermo-elastische effect op breuken is momenteel ook nog niet meegenomen in de SHRA-methodiek van Qcon en IF [11] en dient in het algemeen nader te worden onderzocht. TNO-AGE observeert dat de modelresultaten (Figuur 10 in Bijlage 2) suggereren dat tegen het einde van de huidige duur van de winningsvergunning (30 jaar) de koudwaterbel de dichtstbijzijnde breuk heeft bereikt, en dat de mate van afkoeling langs deze breuk op dat moment tussen de 1°C en 37°C is.

Uit de modelstudie lijkt te volgen dat de invloed van het productieproces op de reservoirdruk buiten de huidige vergunningsgrens maximaal ca. 1 bar is, in het geval de breuken doorlatend zijn. Dit is weergegeven in Figuur 11 in Bijlage 2. Het effect van de injectieput op de dichtstbijzijnde breuken is ca. 2 bar t.o.v. de statische reservoirdruk. De invloed van de productieput op de dichtstbijzijnde breuk is kleiner vanwege de grotere afstand.

De beïnvloeding van het productieproces op de reservoirdruk in geval de breuken afsluitend zijn is weergegeven in Figuur 14 in Bijlage 2. In dit geval is het verschil ten opzichte van de statische reservoirdruk buiten de huidige vergunningsgrens lager dan ca. 2 bar. Het lijkt erop dat, als de breuken afsluitend zijn, het effect van de injectie- en productieput op de dichtstbijzijnde breuken groter is, namelijk tot ca. 3 bar.

Scenario 2 – Toekomstig productiesysteem met 20°C injectietemperatuur

De vergunninghouder heeft voor de toekomstige productie, met een injectietemperatuur van 20°C, geen modelberekeningen gedaan. TNO-AGE heeft een DoubletCalc2D scenario opgesteld met deze injectietemperatuur. In dit scenario wordt rekening gehouden met de historische productie en de productieprognose (Tabel 2) zoals die is aangeleverd door de vergunninghouder in

[4]. De invoerparameters voor DoubletCalc2D zijn bepaald door TNO-AGE en staan in Tabel 1 van dit document.

In dit scenario wordt 900.000 m³ water per jaar (8760 uur) verpompt met debiet van 103 m³/uur. Het verschil met scenario 1 is dat na 3 jaar de injectietemperatuur verlaagd wordt van 40°C naar 20°C, wat resulteert in een hogere energieopbrengst per kubieke meter water.

De hoeveelheid water die tot 1 januari 2019 is geproduceerd (en geïnjecteerd) en gedurende de resterende vergunningsduur (tot 26 mei 2046) nog wordt geproduceerd, uitgaande van de prognose van de vergunninghouder, is ca. 27,1 miljoen m³.

In Bijlage 2 worden de resulterende beïnvloedingsgebieden m.b.t. temperatuur (Figuur 16) en druk (Figuur 17) gepresenteerd na een productieperiode van 31 jaar. Daaruit is op te maken dat de koudwaterbel de productieput na 31 jaar nog niet bereikt heeft. Het modelresultaat toont aan dat na 100 jaar productie er nog geen 1°C afkoeling op de vergunningsgrens optreedt en geen doorbraak van koud water in de productieput plaatsvindt.

TNO-AGE observeert dat de modelresultaten (Figuur 16 in Bijlage 2) suggereren dat tegen het einde van de huidige duur van de winningsvergunning (30 jaar) de koudwaterbel de dichtstbijzijnde breuk heeft bereikt, en dat de mate van afkoeling langs deze breuk op dat moment tussen de 1°C en 47°C is.

De beïnvloeding van het productieproces op de reservoirdruk, in het geval de breuken doorlatend zijn, is weergegeven in Figuur 17 in Bijlage 2. Hieruit valt op te maken dat het verschil ten opzichte van de statische reservoirdruk buiten de huidige vergunningsgrens maximaal ca. 1 bar is. Het effect van de injectieput op de dichtstbijzijnde breuken is ca. 2 bar t.o.v. de statische reservoirdruk. De invloed van de productieput op de dichtstbijzijnde breuk is kleiner gezien de grotere afstand.

De beïnvloeding van het productieproces op de reservoirdruk in geval de breuken afsluitend zijn is weergegeven in Figuur 20 in Bijlage 2. In dit geval is het verschil ten opzichte van de statische reservoirdruk buiten de huidige vergunningsgrens lager dan ca. 2 bar. Het lijkt er op dat, als de breuken afsluitend zijn, het effect van de injectie- en productieput op de dichtstbijzijnde breuken groter is, namelijk tot ca. 3 bar.

5. Bodemdaling

De vergunninghouder stelt in Hoofdstuk 5 van [1] dat bij de aardwarmtewinning in Heemskerk warm formatiewater inclusief opgelost gas uit het reservoir onttrokken wordt en het afgekoelde water inclusief opgelost gas in hetzelfde reservoir weer geïnjecteerd wordt. Volgens vergunninghouder is er daarmee netto geen onttrekking van massa, waardoor de druk zou in het reservoir zou kunnen veranderen. Vergunninghouder stelt daarentegen wel dat er nabij de productieput een plaatselijke drukdaling plaats zou kunnen vinden door de productie van water. Daarnaast verwacht vergunninghouder een geringe druk stijging nabij de

Datum
14 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.056

Blad
14/49

injectieput, door de injectie van water. Volgens de vergunninghouder kan dit leiden tot compactie van het reservoir en wat mogelijk resulteert tot bodemdaling.

De vergunninghouder heeft het resultaat van het DoubletCalc2D model aangeleverd waarin te zien is dat, theoretisch gezien, een bodemdaling van ca. 2 mm kan worden verwacht na 35 jaar productie. Hierbij is uitgegaan van 35 jaar productie met een injectietemperatuur van 30°C.

De theorie onderliggend aan de compactieberekeningen in DoubletCalc2D lijken vooralsnog adequaat te zijn. Voor een aantal parameters dienen aannames te worden gedaan omdat weinig tot geen data beschikbaar is om die locatie-specifiek te bepalen. Echter, de onzekerheid in deze parameters is naar verwachting niet dusdanig groot dat dit kan leiden tot een significant verschillend resultaat. Op basis hiervan gebruikt TNO-AGE ook DoubletCalc2D om een inschatting van de verwachte bodemdaling te geven.

De verwachte bodemdaling scenario's aan het eind van de huidige winningsvergunning, volgens de DoubletCalc2D modellen van TNO-AGE, zijn gegeven in Figuren 12, 15, 18 en 21 in Bijlage 2. In het scenario waarbij de injectietemperatuur 40°C blijft is de verwachte maximale bodemdaling ca. 1,5 mm. In het scenario waarbij de injectietemperatuur verder daalt naar 20°C is de verwachte maximale bodemdaling 1,8 mm. Het resultaat voor de toekomstige situatie komt goed overeen met het modelresultaat van de vergunninghouder. TNO-AGE concludeert, o.b.v. de modelresultaten, dat de verwachte mate van bodemdaling zowel voor de huidige als toekomstige situatie zeer beperkt zal zijn.

6. Interferentie

In het winningsplan [1] wordt het onderwerp interferentie niet benoemt. De vergunninghouder vermeldt wel dat er geen gaswinning aanwezig is of gepland is in de directe omgeving van de winningsvergunning Heemskerk geothermie.

Daarnaast vermeldt de vergunninghouder dat er geen interactie is met de drinkwatervoorziening in dit deel van Noord-Holland. Verder stelt de vergunninghouder dat ander gebruik van de ondergrond, zoals gasopslag of zoutwinning, niet verwacht wordt. De vergunninghouder geeft aan dat de winningslocatie buiten een NatuurNetwerk Nederland gebied ligt. De putmonden liggen volgens vergunninghouder op ca. 500 meter van het Natura2000 gebied Noordhollands Duinreservaat.

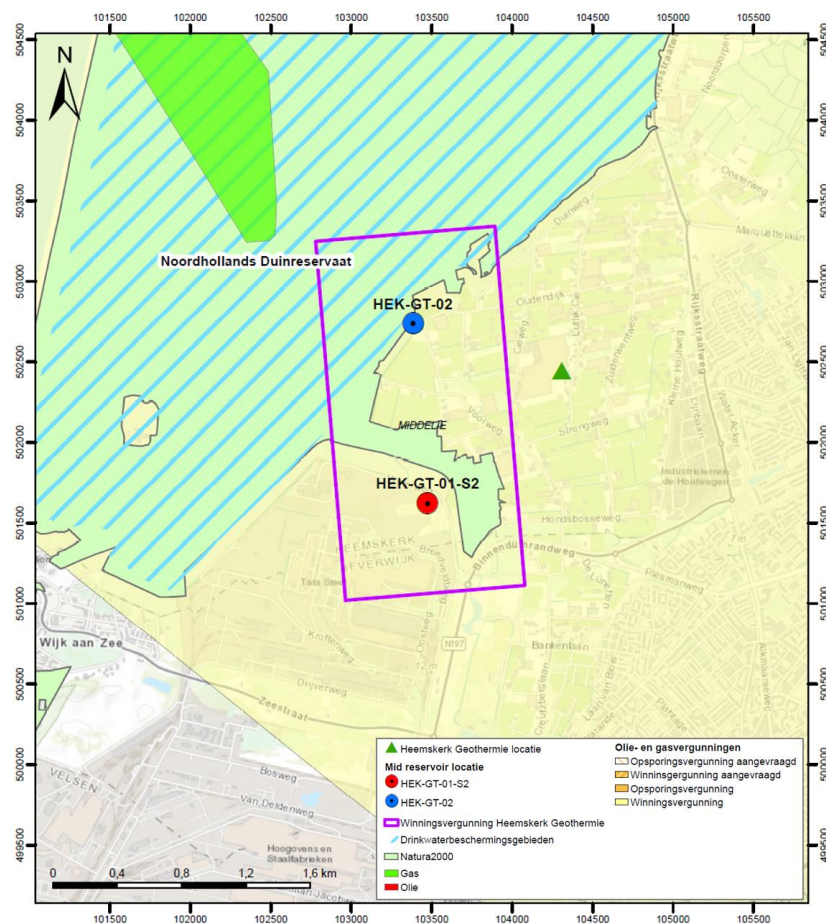
TNO-AGE heeft een kaart gemaakt met daarop de drinkwaterbeschermingsgebieden, Natura2000 gebieden, olie- en gasvoorkomens en vergunningen. Op basis van deze kaart (Figuur 1), kan TNO-AGE zich deels vinden in de conclusie van de vergunninghouder. De putmonden liggen op basis van deze kaart op ca. 800 meter van het Noordhollands Duinreservaat. Op ca. 1,2 km afstand van de putmond van de injectieput (in kaartbeeld) ligt het meest zuidoostelijke puntje van het Castricum-Zee gasveld (zie figuur 1). Dit gasveld met als gasreservoir de Trias Zandstenen, is niet meer in productie sinds 2007. Er is dus geen sprake van interferentie. Enerzijds omdat de gaswinning is gestaakt en anderzijds omdat de aardwarmtewinning uit een ander reservoir, de Slochteren Zandsteen, plaatsvindt.

Datum
14 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.056

Blad
15/49

Het winningsvergunningsgebied overlapt lateraal wel, maar in de verticaal (meer dan 2 km dieper) niet met een beschermd gebied. Dit is het Noordhollands Duinreservaat, dat zowel een Natura2000 en drinkwaterbeschermingsgebied is. De verwachte bodemdaling ten gevolge van de aardwarmtewinning (zie paragraaf 5) voor dit gebied is maximaal ca. 1,8 mm na 31 jaar productie.



Figuur 1: Overzicht van de Natura2000- en drinkwaterbeschermingsgebieden, vergunningen en olie- en gasvoorkomens in de nabijheid van het geothermiesysteem Heemskerk.

7. Seismische Hazard en Risico Analyse (SHRA)

Ten behoeve van het Winningsplan voor het geothermiesysteem Heemskerk [1] heeft de vergunninghouder een quickscan Seismische Hazard en Risico Analyse (SHRA) uitgevoerd. Het uitgangspunt voor deze analyse is de tijdelijke leidraad zoals opgesteld door Qcon en IF [11] en de door DAGO gepubliceerde toevoeging hierop [12]. De resultaten van deze quickscan zijn beschreven in het winningsplan [1].

De door de vergunninghouder aangeleverde SHRA is door TNO-AGE geëvalueerd en gecontroleerd. De bevindingen van TNO-AGE worden in deze paragraaf beschreven.

Datum
14 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.056

Blad
16/49

7.1 Eerste drie vragen beslisboom

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

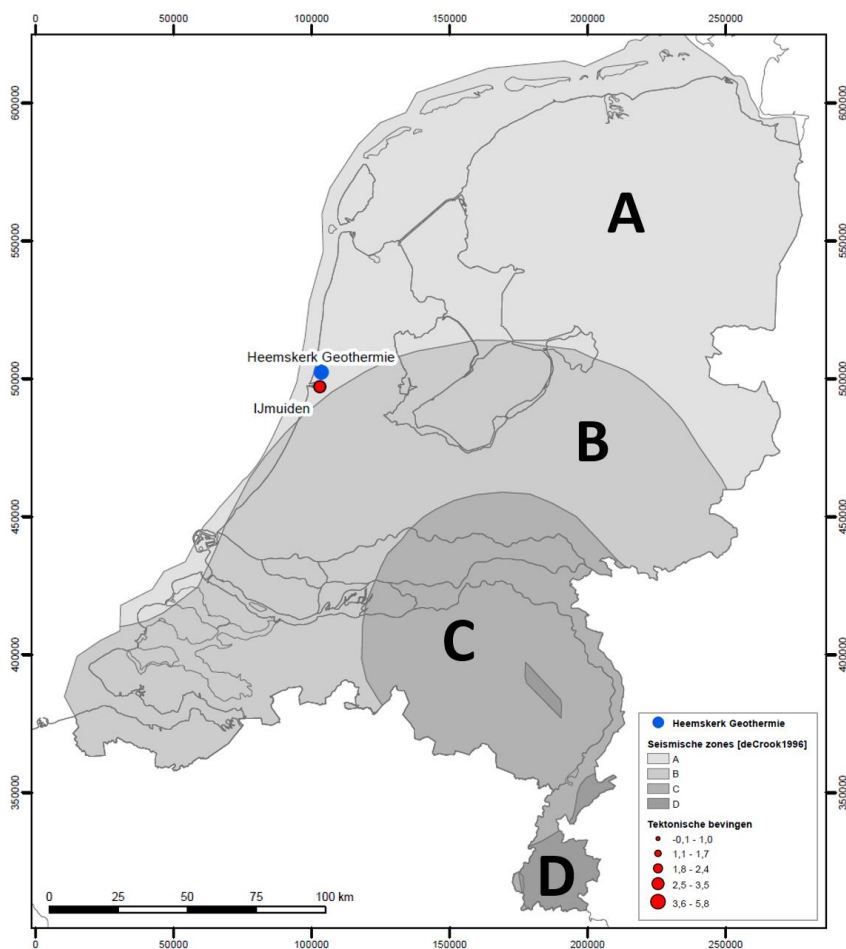
1. Is de afstand van het project tot een majeure breukzone <100 m of is het stromingsconcept gebaseerd op productie uit bestaande breuken?
2. Ligt het project in de tektonisch actieve Roerdalslenk?
3. Wordt het project beïnvloed door het Groningen gasveld?

Beantwoording vergunninghouder

Volgens de vergunninghouder luidt het antwoord op deze eerste drie vragen **nee**, deze antwoorden worden niet nader onderbouwd in [1]. De volgende stap is de uitwerking van de quickscan scoretabel.

Bevindingen TNO-AGE

Het geothermisch systeem Heemskerk 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 6 van [1], waarin de door de vergunninghouder geïnterpreteerde breuken worden gepresenteerd, en een evaluatie van de seismiek door TNO-AGE.



Figuur 2: Locatie winningsvergunning Heemskerk t.o.v. seismische zones van De Crook (1996). De locatie van de natuurlijke beving nabij IJmuiden is weergegeven met de rode stip op de kaart.

Datum
14 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.056

Blad
17/49

Figuur 2 toont de zones A t/m D zoals gedefinieerd door De Crook (1996) [13]. Zones C en D kunnen worden gezien als de tektonisch actieve zone van de Roerdalslenk. Zoals te zien in Figuur 2 bevindt het geothermisch systeem Heemskerk zich in zone A en dus buiten deze tektonisch actieve zones. Echter in 1997 heeft er een tektonische beving plaatsgevonden nabij IJmuiden, in zone A volgens De Crook (1996) [13]. Daarnaast ligt het systeem 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.

7.2 Hydraulische connectie met het kristallijne basement

Beantwoording vergunninghouder

Vergunninghouder stelt dat het kristallijne gesteente bij Heemskerk op een diepte van ongeveer 7 kilometer ligt. De vergunninghouder onderbouwt deze stelling met een kaartje op pagina 34 van [1]. Deze kaart geeft schematisch de diepte van de top van het pre-Silesian (top Vroeg Carboon) weer. Daarnaast stelt dat er geen verbinding is met de kristallijne basis en dat daarmee een score van 0 moet worden toegewezen.

Bevindingen TNO-AGE

De basis van het reservoir in de injectieput ligt op ca. 2,5 km diep. Het kristallijne basement is niet aangeboord in Nederland. Op basis van de beschikbare modellen van de Nederlandse ondergrond, zoals DGMdiep V4.0, wordt op de locatie van Heemskerk de basis van de Geul Subgroep (DCG) / top Zeeland Formatie op ongeveer 5 km diepte verwacht. Het is zeer aannemelijk dat onder de basis van de Geul Subgroep nog afzettingen van de Zeeland Formatie (Dinantien ouderdom), Banjaard Groep (Laat Devoon ouderdom) en mogelijk afzettingen van Siluur ouderdom liggen. In een Nederlandse put, O18-01, is het Dinantiën, Devoon en een deel van het Siluur aangeboord met een dikte van 1,5 km. In Duitse putten is het Devoon aangeboord met een dikte van 5 km en uit België is bekend dat het Siluur-Cambrium een dikte van ca. 13 km kan aannemen.

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

7.3 Drukcommunicatie tussen de productie- en injectieput

Beantwoording vergunninghouder

Vergunninghouder stelt op basis van de historische productiegegevens dat er drukcommunicatie is tussen beide putten. Het doublet functioneert sinds april 2015 zonder noemenswaardige druk veranderingen. Indien er, volgens de vergunninghouder, slechte of geen drukcommunicatie zou zijn dan was de druk in de ene put verder opgelopen en in de andere put verder gedaald. De resulterende score moet daarom 0 zijn.

Datum
14 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.056

Blad
18/49

Bevindingen TNO-AGE

De methodiek van Qcon en IF [11] 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 productie/injectie in hetzelfde laagpakket of niet. Een score van 10 geldt alleen als het systeem is ontworpen om te produceren en injecteren in verschillende formaties.

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.

Tabel 3: Score-indeling voor de categorie “drukcommunicatie tussen de productie- en injectieput” volgens de SRA methodiek van Qcon en IF [11], omgezet in een tabel. De geel gemarkeerde cellen geven situaties weer die niet worden beschreven in de methodiek van Qcon en IF [11]

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

De putten van het geothermiesysteem Heemskerk produceren en injecteren in dezelfde formatie, de laterale afstand op reservoir niveau is ca. 1031 m en de verticale separatie tussen de putten is 146 m. Daarmee valt dit systeem onder de situatie van verticale separatie 100 – 500 m en laterale separatie 1000 – 2000 m en krijgt daarom een score van 3.

De vergunninghouder heeft geen interferentietest uitgevoerd tussen de putten van het doublet en kan op basis daarvan geen indicatie geven van de connectiviteit tussen de putten. Maar er wordt al wel meer dan 4 jaar geproduceerd uit het Heemskerk doublet en gedurende de productietijd neemt de injectiedruk juist af wat wijst op een verbeterde instroom van koud water. De productiviteitsindex blijft gelijk dat alleen maar mogelijk is als er geen drukdepletie in het reservoir optreedt en derhalve moet er connectie tussen de productie- en injectieput zijn.

Volgens de methodiek van Qcon en IF zou dit systeem een score van 3 krijgen voor deze categorie. TNO-AGE is echter van mening dat een score van 0 passend is voor dit systeem gezien het verloop van de productie- en injectiedruk gedurende de tijd dat het systeem operationeel was (> 4 jaar).

7.4 Debiet

Beantwoording vergunninghouder

Vergunninghouder geeft een geprognostiseerd systeemdebiet van 115 m³/uur in [1]. Dit debiet valt in de 50 – 180 m³/uur categorie met een bijbehorende score van 3 punten.

Bevindingen TNO-AGE

Naar aanleiding van de bevindingen van TNO-AGE heeft de vergunninghouder aanvullende informatie [4] aangeleverd over de productie prognoses van het geothermisch systeem Heemskerk. In de aanvullende informatie schetst de vergunninghouder twee scenario's, waarin voor elk scenario minimum en maximum waarden worden gegeven.

Het maximale debiet in scenario 1 is 132,6 m³/uur. In scenario 2 is het maximale debiet 163 m³/uur. In de WABO is een maximum systeemdebiet van 200 m³/uur opgenomen, TNO-AGE gaat alleen uit van de geprognostiseerde systeemdebieten.

Op basis van deze gegevens is TNO-AGE van mening dat een score van 3 van toepassing is, zolang het systeemdebiet onder de 180 m³/uur grens blijft.

7.5 Injectiedruk

Beantwoording vergunninghouder

Op pagina 34 van [1] stelt vergunninghouder dat de maximale injectiedruk ruim 5 MPa is. Dit lijkt overeen te komen met de opgelegde WABO druk limiet van 56 bar (p27 [1]). Dit zijn volgens TNO-AGE drukken aan de injectieputmond en niet noodzakelijkerwijs identiek aan het opgelegde drukverschil op reservoir niveau. Op basis van de 5 MPa danwel 56 bar rapporteert vergunninghouder een score van 7 punten. Conform het injectieprotocol [14] is de het maximale opgelegde injectiedruk verschil ca 70 bar.

Daarnaast noemt de vergunninghouder in paragraaf 4.4 van [1] dat de maximale operationele injectiedruk op reservoirniveau 320 bar is. Deze injectiedruk correspondeert met de sommatie van reservoirdruk en de maximale verschildruk conform het protocol.

Bevindingen TNO-AGE

De vergunninghouder geeft aan in het winningsplan [1] dat het geprognostiseerde debiet maximaal 115 m³/uur is. De bijbehorende injectiedruk op reservoirdiepte, op basis van DoubletCalc2D berekeningen, is 39 bar. Uit de door de vergunninghouder maandelijks aangeleverde productiedata blijkt dat het maximale debiet 111 m³/uur is geweest, hierbij is een injectiedruk op reservoirdiepte van 37,6 bar berekend. Beide injectiedrukken op reservoirdiepte zorgen voor een score van 3 in de Quicksan tabel.

In de toekomstige situatie wordt door de vergunninghouder een maximaal debiet van 163 m³/uur (bij 40°C injectietemperatuur) geprognostiseerd [4]. De injectiedruk op reservoirdiepte die nodig is om een dergelijk hoog debiet te genereren is niet simpelweg te bepalen door ook de injectiedruk met een factor te vermenigvuldigen, omdat bij hogere debieten de relatie tussen debiet en injectiedruk hoogstwaarschijnlijk niet lineair is. Dit is o.a. gerelateerd aan het toenemende effect

Datum
14 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.056

Blad
20/49

van drukverliezen door wrijving. Daarnaast speelt ook de skin een grote rol in de bepaling van de injectiedruk. De productiedata lijkt een afnemende skin bij een toenemende injectiedruk op reservoirdiepte te tonen. Deze relatie is bepaald in het debiet-bereik dat tot nu toe gehanteerd is, dus ca. 80 – 110 m³/uur. Het is echter onbekend hoe deze relatie zich ontwikkelt bij hogere debieten, daarom is de hoogte van de negatieve skin in de injectieput een onzekere factor.

Op basis van bovenstaand heeft TNO-AGE, met behulp van DoubletCalc2D, getracht de injectiedruk te bepalen die hoort bij het maximale debiet van 163 m³/uur en een injectietemperatuur van 40°C. Hierbij is een injectiedruk op reservoirdiepte van 45 bar berekend. Dit leidt tot een score van 7 punten in de Quickscan tabel.

Vergunninghouder geeft aan dat het mogelijk is om de injectietemperatuur verder te verlagen naar 20°C zie [4]. Zodra de injectietemperatuur verlaagd wordt gaat het debiet volgens de vergunninghouder ook omlaag. Deze gaat van maximaal 163 m³/uur naar maximaal 121 m³/uur. De hierbij horende injectiedruk op reservoirdiepte is 45 bar. Dit resulteert in een score van 7 punten in de Quickscan tabel.

Voor de volledigheid heeft TNO-AGE ook een DoubletCalc2D scenario berekend met een debiet van 163 m³/uur en een injectietemperatuur van 20°C. De injectiedruk op reservoirdiepte komt dan uit op 63 bar. Dit levert in de Quickscan tabel ook 7 punten op.

Uitgaande dat 320 bar volgens de vergunninghouder de maximum reservoirdruk is, is het mogelijk om de maximum injectiedruk op reservoirdiepte te bepalen. Uit DoubletCalc1D berekeningen (Figuren 3 t/m 6 in Bijlage 2) volgt een aquiferdruk aan de injectieputkant van 249 bar. Hieruit volgt een maximale injectiedruk op reservoirdiepte van 71 bar, welke nog steeds lager is dan druk die bepaald is volgens het SodM protocol 14].

TNO-AGE wil opmerken dat aquiferdruk uit DoubletCalc1D een berekening is en derhalve een zekere mate van onzekerheid heeft. Deze onzekerheid heeft invloed op de maximale verschildruk. De maximale injectiedruk op reservoirdiepte, uitgaande van een maximale reservoirdruk van 320 bar en een onzekere aquiferdruk van 249 bar, is volgens TNO-AGE om en nabij 70 bar.

De hierboven beschreven scenario's laten zien dat Geothermie Heemskerk onder de huidige productie-omstandigheden 3 punten scoort in de Quickscan tabel. Echter, uit de verschillende doorgerekende toekomstige productiescenario's blijkt dat de injectiedruk op reservoirdiepte tussen de 40 en 70 bar zal komen te liggen. In acht nemend dat de aquiferdruk met enige onzekerheid omringd is, kent TNO-AGE 7 punten toe volgens de Quickscan tabel.

7.6 Afstand tot natuurlijke aardbevingen

Beantwoording vergunninghouder

De vergunninghouder stelt dat de aardwarmtewinning bij Heemskerk niet nabij een seismisch actief breuksysteem ligt en de afstand tot natuurlijke bevingen meer dan 10 kilometer is, hiervoor is echter geen onderbouwing gegeven. Hierop gebaseerd stelt vergunninghouder dat de score 0 moet zijn.

Datum
14 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.056

Blad
21/49

Bevindingen TNO-AGE

De methodiek van Qcon en IF [11] 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. Hieruit blijkt dat er op 30-01-1997 een natuurlijke beving heeft plaatsgevonden nabij IJmuiden ($M = 2,0$) op een diepte van 3,5 km. De afstand, bepaald volgens de Qcon en IF [11] methodiek, is 5,6 kilometer (zie Figuur 22 in Bijlage 3).

Het valt TNO-AGE op dat de diepte van de beving opmerkelijk ondiep (3,5 km) is voor een natuurlijke beving. De diepte ligt namelijk meer in het bereik van geïnduceerde bevingen. Echter, op het moment dat de beving plaatsvond waren er geen mijnbouwactiviteiten in de wijde omgeving. De onzekerheid in de dieptebepaling leidt mogelijk ook tot een onzekerheid in de locatiebepaling van de bevingshaard. Hierdoor is het mogelijk dat deze dichterbij of verder weg komt te liggen van het Heemskerk doublet. Dit kan resulteren in een hogere of lagere score in de Quicksan tabel van de SHRA.

Op basis van deze gegevens is TNO-AGE van mening dat een score van 3 van toepassing is.

7.7 Afstand tot geïnduceerde aardbevingen

Beantwoording vergunninghouder

De vergunninghouder geeft aan dat de dichtstbijzijnde geïnduceerde beving op iets meer dan 8 kilometer van het doublet ligt. Er wordt geen kaartje gegeven waarop deze afstand gebaseerd is. De vergunninghouder stelt dat de afstand tussen de 5 en 10 kilometer is en dat daarmee de score 3 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 (Castricum Noordzee, 2013) zich op 5,4 kilometer bevindt (zie Figuur 22 in Bijlage 3). Een studie [17] heeft uitgewezen dat een eenduidige oorzaak van deze bevingen niet te vinden is.

TNO-AGE is van mening dat de score van 3 valide is.

7.8 Afstand tot breuken

Beantwoording vergunninghouder

Vergunninghouder stelt dat de afstand tot bestaande breuken tussen de 0,1 en 0,5 kilometer is en dat daarmee de score 7 moet zijn. Vergunninghouder onderbouwt dit met een top reservoir kaart met breuken in Figuur 6 van [1] en twee seismische lijnen als bijlage [15] en [16].

Bevindingen TNO-AGE

TNO-AGE heeft de aangeleverde breukinterpretatie gecontroleerd met behulp van “reprocessed” 3D seismiek en is van mening dat de breukinterpretatie gegeven door vergunninghouder valide is. Op de seismiek zijn geen evidente breuken

Datum
14 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.056

Blad
22/49

waarneembaar die dicht bij het geothermisch systeem zouden staan. De kortst mogelijke afstand tot bestaande breuken is tussen de 0,1 en 0,5 kilometer (zie Figuur 23 in Bijlage 3).

TNO-AGE is van mening dat de score van 7 gerechtvaardigd is.

7.9 Breukoriëntatie in het huidige spanningsveld

Beantwoording vergunninghouder

De vergunninghouder stelt dat de oriëntatie van de breuken in het gebied bij Heemskerk over het algemeen NW-ZO (315°) is. Volgens vergunninghouder levert dit binnen het heersende stressveld “shearing possible of favourable” op. Vergunninghouder stelt dat het project al enige jaren operationeel is en het druk patroon veroorzaakt door het doublet hetzelfde blijft. Daarnaast stelt vergunninghouder dat er zich geen shearing heeft voorgedaan in de tijd dat het doublet produceert. Verder stelt vergunninghouder dat de op seismiek zichtbare breuken op Upper Rotliegend en Zechstein niveau niet door lopen tot richting oppervlak en niet actief meer lijken te zijn. Volgens vergunninghouder is de meest voor de hand liggende score daarom “shearing unlikely” met een bijbehorende score van 3 punten. Echter, de vergunninghouder stelt dat het niet helemaal uitgesloten kan worden dat er “shearing” op kan treden en nemen dus “shearing possible” aan met de bijbehorende score van 7 punten.

Bevindingen TNO-AGE

Zoals de methodiek van Qcon en IF beschrijft in [11] 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 oosten van de injectieput met een breuklengte van meer dan 1 km en een afstand tot de injectieput van ca. 200 m, een oriëntatie heeft van gemiddeld 325°. Volgens Mechelse (2017) is de oriëntatie van het spanningsveld voor het Rotliegend 320° ($\pm 20^\circ$). De hoek met de oriëntatie van het spanningsveld is daardoor slechts 5° en op basis van een analytische methode [18], uitgewerkt door TNO, is bepaald dat dergelijke breuken kansrijk zijn voor breukreactivatie. Omdat de methodiek van Qcon en IF [11] enkel de breukoriëntatie in beschouwing neemt als een benadering voor de potentie op breukreactivatie, krijgt dit project volgens deze methodiek een score van 10 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 “direct pressure”, 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. Het resultaat van het DoubletCalc2D model laat zien dat de koudwaterbel binnen 30 jaar de dichtstbijzijnde breuk bereikt.

TNO-AGE kan de additionele argumentatie voor een verlaging van het “shearing potential” appreciëren. Echter, deze maar ook een andere analytische methodiek voor “shearing potential / slip tendency” waarbij ook de dip van de breuk

Datum
14 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.056

Blad
23/49

meegenomen wordt geeft aan dat de breuken in het beïnvloedingsgebied van het doublet hoog is.

Volgens TNO-AGE is een score van 10 opportuun de oriëntatie van een nabij gelegen breuk slechts 5° afwijkt van de oriëntatie van het spanningsveld.

7.10 Netto geïnjecteerd volume

Beantwoording vergunninghouder

Vergunninghouder geeft aan, dat er net zoveel water wordt geïnjecteerd als er geproduceerd wordt uit het reservoir en verwijst hiervoor naar de productie en injectie hoeveelheden. Daarom kent de vergunninghouder een score van 0 toe aan deze categorie.

Bevindingen TNO-AGE

Er wordt bij Heemskerk een even grote hoeveelheid water geïnjecteerd als uit de ondergrond 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 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 0,30 (Tabel 4). Dit leidt tot een laag potentiaal voor het induceren van seismiteit.

Resultaat TNO-AGE

TNO-AGE heeft, op basis van de resultaten van de evaluatie, ook de Quickscan scoretabel ingevuld (Tabel 4). Daarnaast geeft TNO-AGE naast de score strikt volgens de Qcon en IF methodiek [11], een alternatieve score waarin één van de categorieën een afwijkende score krijgt o.b.v. de bevindingen. Dit heeft overigens geen directe gevolgen voor de uitkomst in termen van seismisch potentieel.

De genormaliseerde score voor de huidige situatie, zoals resulteert uit de evaluatie van TNO-AGE o.b.v. de Qcon en IF methodiek [11], is 0,40. De door TNO-AGE bepaalde alternatieve score is 0,37. Beide scores zijn hoger dan de grenswaarde van 0,33 en lager dan de grenswaarde 0,66 en indiceren dus een gemiddeld potentieel voor het induceren van seismiteit.

Datum
14 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.056

Blad
24/49

*Tabel 4: Resultaat Quickscan scoretabel. *TNO-AGE geeft een alternatieve score omdat voor de categorie "drukcommunicatie tussen productie- en injectieput" wordt afgeweken van de Qcon en IF methodiek, zoals beschreven in paragraaf 7.3.*

Score	Connectie met basement	Drukcommunicatie tussen productie- en injectieput	Injectiedruk	Debiet	Afstand tot natuurlijke aardbevingen	Afstand tot geïnduceerde aardbevingen	Afstand tot breuken	Beukoriëntatie 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
Vergunninghouder	0	0	7	3	0	3	7	7	0	27	0.30
TNO-AGE	0	3	7	3	3	3	7	10	0	36	0.40
TNO-AGE alternatief*	0	0	7	3	3	3	7	10	0	33	0.37

8. Conclusies

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

- De vergunninghouder stelt twee productie scenario's voor: 1) een scenario waarbij de injectietemperatuur 40°C is, 2) extra uitkoeling tot 20 °C vanaf 2022. In elk scenario geeft de vergunninghouder aan wat de minimale en maximale hoeveelheid geproduceerd water is. TNO-AGE gaat bij de beoordeling van het winningsplan alleen uit van het maximum van deze scenario's.
- De vergunninghouder gebruikt voor de injectiedruk de maximale THP van ruim 50 bar (pagina 34 van [1]), welke de druk aan de injectieputmond is en niet op reservoirdiepte. TNO-AGE heeft de verschillende productiescenario's doorgerekend en concludeert dat injectiedruk op reservoirdiepte tussen de 40 en 70 bar is, wat leidt tot een score van 7. Echter wil TNO-AGE opmerken de deze berekeningen met enige onzekerheid omgeven zijn.
- TNO-AGE heeft voor de modelberekeningen onderscheid gemaakt tussen de twee voorgestelde scenario's. De uitkomsten van de DoubletCalc2D modellering door TNO-AGE kunnen als volgt worden samengevat:

Datum
14 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.056

Blad
25/49

Scenario 1 (40 °C injectietemperatuur):

- Vanaf de productiestart tot het einde van de huidige winningsvergunning en winningsplan wordt naar verwachting ca. 27,1 miljoen m³ water geproduceerd.
- Afkoeling van 1 °C op de vergunningsgrens wordt niet verwacht binnen 100 jaar productie, en is dus buiten de huidige vergunningsduur.
- Doorbraak van de koudwaterbel in de productieput duurt >100 jaar vanaf de productiestart.
- Afkoeling langs de dichtstbijzijnde breuk is tussen de 1°C en 37°C.
- Drukveranderingen, in het geval de breuken doorlatend zijn, buiten de vergunningsgrens is beperkt tot 1 bar en bij de dichtstbijzijnde breuken tot ca. 2,5 bar.
- Drukveranderingen, in het geval de breuken niet doorlatend zijn, buiten de vergunningsgrens is beperkt tot 1,6 bar en bij de dichtstbijzijnde breuken tot ca. 3 bar.
- De verwachte bodemdaling aan het eind van de vergunningsduur is ca. 1,5 mm.

Scenario 2 (20°C injectietemperatuur):

- Vanaf de productiestart tot het einde van de huidige winningsvergunning en winningsplan wordt naar verwachting ca. 27,1 miljoen m³ water geproduceerd.
- Afkoeling van 1 °C op de vergunningsgrens wordt niet verwacht binnen 100 jaar productie, en is dus buiten de huidige vergunningsduur.
- Doorbraak van de koudwaterbel in de productieput duurt >100 jaar vanaf de productiestart.
- Afkoeling langs de dichtstbijzijnde breuk is tussen de 1°C en 47°C.
- Drukveranderingen, in het geval de breuken doorlatend zijn, buiten de vergunningsgrens is beperkt tot 1 bar en bij de dichtstbijzijnde breuken tot ca. 2,5 bar.
- Drukveranderingen, in het geval de breuken niet doorlatend zijn, buiten de vergunningsgrens is beperkt tot 1,6 bar en bij de dichtstbijzijnde breuken tot ca. 3,2 bar.
- De verwachte bodemdaling aan het eind van de vergunningsduur is ca. 1,8 mm.

- Er zijn geen mijnbouwactiviteiten in de nabijheid van de geothermische installatie, daarom wordt ook geen ondergrondse interferentie verwacht. Wel overlapt het winningsgebied van Heemskerk Geothermie deels met een Natura2000- en Drinkwaterbeschermingsgebied het Noordhollands Duinreservaat. Op basis van de DoubletCalc2D berekeningen is de verwachte bodemdaling ten gevolge van de aardwarmteproductie voor dit gebied maximaal ca. 1,8 mm na 31 jaar productie.
- TNO-AGE heeft op basis van de aangeleverde scenario's een SHRA evaluatie uitgevoerd, met het volgende resultaat:

Datum
14 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.056

Blad
26/49

- Score: 0,37 of 0,40 → gemiddeld potentieel voor induceren van seismiciteit. Deze score is strikt volgens de methodiek van Qcon en IF [11] bepaald. Het resultaat van TNO-AGE wijkt af van de uitkomst van de vergunninghouder (0,30) doordat TNO-AGE een hogere score geeft aan de volgende categorieën: “breukoriëntatie in huidig spanningsveld” (10 i.p.v. 7), “drukcommunicatie tussen productie- en injectieput” (3 i.p.v. 0) en “afstand tot natuurlijke bevingen” (3 i.p.v. 0).

Echter, in afwijking van deze leidraad stelt TNO-AGE voor de categorie “drukcommunicatie tussen productie- en injectieput” een score van 0 toe te kennen op basis van de productiedata van de afgelopen 4 jaar die drukcommunicatie aan lijken te tonen. Dit leidt tot een alternatieve score van 0,37, welke nog steeds wijst naar een gemiddeld potentieel voor induceren van seismiciteit.

9. Aanbevelingen

TNO-AGE geeft ter overweging om voorwaardelijk in te stemmen met het ingediende winningsplan waarbij op termijn een evaluatie van de locatie specifieke seismische dreiging wordt uitgevoerd. Hierbij zouden ook de effecten van de verdere uitkoeling tot 20°C op de seismische dreiging expliciet meegenomen moeten worden.

Datum
14 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.056

Blad
27/49

Referenties

- [1] Ce-Ren Beheer B.V., mei 2019. Aanvraag instemming winningsplan Aardwarmte Ce-Ren Beheer B.V. V3.2.
- [2] P&ID met meetsondes, juli 2016. Bijlage 1 van het winningsplan.
- [3] Well schematic HEK-GT-01-S2 en HEK-GT-02, januari 2017. Bijlage 6 van het winningsplan.
- [4] Aanvulling op ingediende winningsplan, 23-07-2019.
- [5] TNO-AGE, 28 augustus 2014. Advies aanvraag winningsvergunning aardwarmte Heemskerk. Referentie AGE 15-10.052.
- [6] PanTerra Geoconsultant B.V., september 2013. Welltest analysis of water well Heemskerk01.
- [7] SGS Nederland B.V., augustus 2013. Analytical report SR-1526359.01.A01 t/m SR-1526359.01.A02 (Water analysis HEK-GT-01-S2).
- [8] Ce-Ren Beheer B.V., juni 2019, Screenshot van DoubletCalc 2D – aquifer invoer scherm.
- [9] Ce-Ren Beheer B.V., juni 2019, Screenshot van DoubletCalc 2D – advanced settings invoer scherm.
- [10] Ce-Ren Beheer B.V., juni 2019, Screenshot van DoubletCalc 2D – put invoer scherm.
- [11] Qcon GmbH & IF Technology B.V., 5 oktober 2016. Defining the Framework for seismic Hazard Assessment in Geothermal Projects V0.1.
- [12] DAGO, 2018. “SHRA Richtlijn richtinggevende suggesties”.
- [13] 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.
- [14] SodM, 2013. Protocol bepaling maximale injectiedrukken bij aardwarmtewinning, Versie 2.
- [15] Seismic crossline HEK-GT-02. Bijlage 2 van het winningsplan.
- [16] Seismic crossline HEK-GT-01-S2. Bijlage 3 van het winningsplan.
- [17] TNO, 2016. Evaluatie mogelijke oorzaken aardbevingen nabij Castricum-Zee in oktober – november 2013. Rapport nr. TNO 2016 R11210.
- [18] Levandowski, W., Weingarten, M., Walsh, R., 2018. Geomechanical sensitivities of injection-induced earthquakes. Geophysical Research Letters, Vol. 45, Issue 17, p. 8958 – 8965.
- [19] Mijnlief, H.F., Obdam, A.N.M., Van Wees, J.D.A.M., Pluymaekers, M.P.D., Veldkamp, J.G., 2014. DoubletCalc 1.4 Manual. TNO report R11396.
- [20] Veldkamp, J.G., Pluymaekers, M.P.D., Van Wees, J.D.A.M., 2015. DoubletCalc 2D 1.0 User Manual. TNO report R10216.

Datum
14 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.056

Blad
28/49

Bijlage 2: Resultaten DoubletCalc modelberekeningen

In deze bijlage worden de resultaten van de modelberekeningen in DoubletCalc1D en DoubletCalc2D, uitgevoerd door TNO-AGE, gepresenteerd. Zoals in Bijlage 1 beschreven wordt daarbij onderscheid gemaakt tussen de verschillende scenario's en of de breuken wel of niet doorlatend zijn.

DoubletCalc1D uitvoer – huidige situatie

Geotechnics (Input)

Property	min	median	max
aquifer permeability (mD)	60.0	68.0	70.0
aquifer net to gross (-)	0.95	0.99	1.0
aquifer gross thickness (m)	187.0	195.0	203.0
aquifer top at producer (m TVD)	2277.0	2530.0	2783.0
aquifer top at injector (m TVD)	2146.0	2384.0	2622.0
aquifer water salinity (ppm)	201000.0	205999.0	220000.0

Geotechnics (Output)

Property	value		
number of simulation runs (-)	1.0		
aquifer kh/kv ratio (-)	1.0		
surface temperature (°C)	10.0		
geothermal gradient (°C/m)	0.0369		
[mid aquifer temperature producer (°C)]	107.0		
[initial aquifer pressure at producer (bar)]	0.0		
[initial aquifer pressure at injector (bar)]	0.0		
exit temperature heat exchanger (°C)	43.0		
distance wells at aquifer level (m)	1118.0		
pump system efficiency (-)	0.7		
production pump depth (m)	920.0		
pump pressure difference (bar)	69.0		
outer diameter producer (inch)	8.5		
skin producer (-)	16.0		
skin due to penetration angle p (-)	-0.58		
pipe segment sections p (m AH)	956.0,1666.0,2807.0,2811.0,2871.0		
pipe segment depth p (m TVD)	943.0,1552.0,2470.0,2474.0,2530.0		
pipe inner diameter p (inch)	5.8,8.83,6.18,4.95,5.92		
pipe roughness p (milli-inch)	1.19,1.19,1.19,1.19,1.19		
outer diameter injector (inch)	8.5		
skin injector (-)	4.5		
skin due to penetration angle i (-)	-1.01		
pipe segment sections i (m AH)	220.0,1323.0,2618.0,2659.0		
pipe segment depth i (m TVD)	220.0,1299.0,2357.0,2386.0		
pipe inner diameter i (inch)	6.14,12.41,8.83,5.92		
pipe roughness i (milli-inch)	1.19,1.19,1.19,1.19		

Monte Carlo cases (stochastic inputs)	P90	P50	P10
aquifer kH net (Dm)	12.65	12.65	12.65
mass flow (kg/s)	26.32	26.32	26.32
pump volume flow (m³/h)	84.8	84.8	84.8
required pump power (kW)	232.3	232.3	232.3
geothermal power (MW)	4.89	4.89	4.89
COP (kW/kW)	21.1	21.1	21.1

aquifer pressure at producer (bar)	272.81	272.81	272.81
aquifer pressure at injector (bar)	255.31	255.31	255.31
pressure difference at producer (bar)	36.65	36.65	36.65
pressure difference at injector (bar)	38.35	38.35	38.35
aquifer temperature at producer * (°C)	104.53	104.53	104.53
temperature at heat exchanger (°C)	98.71	98.71	98.71

base case (median value inputs)	value
aquifer kH net (Dm)	13.13
mass flow (kg/s)	27.69
pump volume flow (m³/h)	89.8
required pump power (kW)	245.8
geothermal power (MW)	5.41
COP (kW/kW)	22.0

aquifer pressure at producer (bar)	264.6
aquifer pressure at injector (bar)	248.65
pressure difference at producer (bar)	36.22
pressure difference at injector (bar)	38.58
aquifer temperature at producer * (°C)	107.0
temperature at heat exchanger (°C)	101.21
pressure at heat exchanger (bar)	18.98

* @ mid aquifer depth

Figuur 3: DoubletCalc1D uitvoer van het TNO-AGE scenario voor de huidige systeemconfiguratie.

Datum
14 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.056

Blad
29/49

DoubletCalc1D uitvoer – Scenario 1 max. debiet en 40°C injectietemperatuur

Geotechnics (Input)

Property	min	median	max
aquifer permeability (mD)	60.0	68.0	70.0
aquifer net to gross (-)	0.95	0.99	1.0
aquifer gross thickness (m)	187.0	195.0	203.0
aquifer top at producer (m TVD)	2277.0	2530.0	2783.0
aquifer top at injector (m TVD)	2146.0	2384.0	2622.0
aquifer water salinity (ppm)	201000.0	205999.0	220000.0

Property	value
number of simulation runs (-)	50.0
aquifer kh/kv ratio (-)	1.0
surface temperature (°C)	10.0
geothermal gradient (°C/m)	0.0363
[mid aquifer temperature producer (°C)]	106.0
initial aquifer pressure at producer (bar)]	0.0
[initial aquifer pressure at injector (bar)]	0.0
exit temperature heat exchanger (°C)	40.0
distance wells at aquifer level (m)	1118.0
pump system efficiency (-)	0.7
production pump depth (m)	920.0
pump pressure difference (bar)	99.0
outer diameter producer (inch)	8.5
skin producer (-)	19.9
skin due to penetration angle p (-)	-0.58
pipe segment sections p (m AH)	956.0,1666.0,2807.0,2811.0,2871.0
pipe segment depth p (m TVD)	943.0,1552.0,2470.0,2474.0,2530.0
pipe inner diameter p (inch)	5.8,8.83,6.18,4.95,5.92
pipe roughness p (milli-inch)	1.19,1.19,1.19,1.19,1.19
outer diameter injector (inch)	8.5
skin injector (-)	1.3
skin due to penetration angle i (-)	-1.01
pipe segment sections i (m AH)	220.0,1323.0,2618.0,2659.0
pipe segment depth i (m TVD)	220.0,1299.0,2357.0,2386.0
pipe inner diameter i (inch)	6.14,12.41,8.83,5.92
pipe roughness i (milli-inch)	1.19,1.19,1.19,1.19

Geotechnics (Output)

Monte Carlo cases (stochastic inputs)	P90	P50	P10
aquifer kH net (Dm)	12.18	12.96	13.51
mass flow (kg/s)	36.17	38.32	40.18
pump volume flow (m³/h)	116.6	124.0	130.5
required pump power (kW)	458.3	487.0	512.5
geothermal power (MW)	6.99	7.74	8.87
COP (kW/kW)	15.0	16.1	17.5

aquifer pressure at producer (bar)	250.16	266.03	281.69
aquifer pressure at injector (bar)	235.56	248.22	263.56
pressure difference at producer (bar)	58.78	59.9	60.97
pressure difference at injector (bar)	41.53	42.91	44.33
aquifer temperature at producer * (°C)	100.68	105.65	110.88
temperature at heat exchanger (°C)	96.67	101.31	106.66

base case (median value inputs)	value
aquifer kH net (Dm)	13.13
mass flow (kg/s)	38.89
pump volume flow (m³/h)	126.0
required pump power (kW)	495.1
geothermal power (MW)	8.02
COP (kW/kW)	16.2

aquifer pressure at producer (bar)	264.69
aquifer pressure at injector (bar)	248.73
pressure difference at producer (bar)	59.74
pressure difference at injector (bar)	42.69
aquifer temperature at producer * (°C)	105.5
temperature at heat exchanger (°C)	101.39
pressure at heat exchanger (bar)	23.27

* @ mid aquifer depth

Figuur 4: DoubletCalc1D uitvoer van het TNO-AGE scenario voor het door de vergunninghouder voorgestelde productie scenario 1. Waarbij het maximum debiet en een injectietemperatuur van 40°C is gebruikt.

Datum
14 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.056

Blad
30/49

DoubletCalc1D uitvoer – Scenario 2 max. debiet en 40°C injectietemperatuur

Geotechnics (Input)

Property	min	median	max
aquifer permeability (mD)	60.0	68.0	70.0
aquifer net to gross (-)	0.95	0.99	1.0
aquifer gross thickness (m)	187.0	195.0	203.0
aquifer top at producer (m TVD)	2277.0	2530.0	2783.0
aquifer top at injector (m TVD)	2146.0	2384.0	2622.0
aquifer water salinity (ppm)	201000.0	205999.0	220000.0

Property	value
number of simulation runs (-)	50.0
aquifer kh/kv ratio (-)	1.0
surface temperature (°C)	10.0
geothermal gradient (°C/m)	0.0369
[mid aquifer temperature producer (°C)]	107.0
initial aquifer pressure at producer (bar)	0.0
[initial aquifer pressure at injector (bar)]	0.0
exit temperature heat exchanger (°C)	40.0
distance wells at aquifer level (m)	1118.0
pump system efficiency (-)	0.7
production pump depth (m)	920.0
pump pressure difference (bar)	111.0
outer diameter producer (inch)	8.5
skin producer (-)	17.7
skin due to penetration angle p (-)	-0.58
pipe segment sections p (m AH)	956.0,1666.0,2807.0,2811.0,2871.0
pipe segment depth p (m TVD)	943.0,1552.0,2470.0,2474.0,2530.0
pipe inner diameter p (inch)	5.8,8.83,6.18,4.95,5.92
pipe roughness p (milli-inch)	1.19,1.19,1.19,1.19,1.19
outer diameter injector (inch)	8.5
skin injector (-)	0.0
skin due to penetration angle i (-)	-1.01
pipe segment sections i (m AH)	220.0,1323.0,2618.0,2659.0
pipe segment depth i (m TVD)	220.0,1299.0,2357.0,2386.0
pipe inner diameter i (inch)	6.14,12.41,8.83,5.92
pipe roughness i (milli-inch)	1.19,1.19,1.19,1.19

Geotechnics (Output)

Monte Carlo cases (stochastic inputs)	P90	P50	P10
aquifer kh net (Dm)	12.19	12.91	13.59
mass flow (kg/s)	44.27	47.02	49.41
pump volume flow (m³/h)	143.4	152.4	160.6
required pump power (kW)	631.8	671.3	707.2
geothermal power (MW)	8.99	9.95	11.09
COP (kW/kW)	13.9	14.9	16.1

aquifer pressure at producer (bar)	249.85	264.64	281.68
aquifer pressure at injector (bar)	235.17	249.25	263.39
pressure difference at producer (bar)	65.62	66.92	68.19
pressure difference at injector (bar)	43.85	45.62	47.33
aquifer temperature at producer * (°C)	102.28	106.96	112.44
temperature at heat exchanger (°C)	99.05	103.47	108.56

base case (median value inputs)	value
aquifer kh net (Dm)	13.13
mass flow (kg/s)	47.72
pump volume flow (m³/h)	154.8
required pump power (kW)	682.0
geothermal power (MW)	10.19
COP (kW/kW)	14.9

aquifer pressure at producer (bar)	264.6
aquifer pressure at injector (bar)	248.65
pressure difference at producer (bar)	66.71
pressure difference at injector (bar)	45.38
aquifer temperature at producer * (°C)	107.0
temperature at heat exchanger (°C)	103.58
pressure at heat exchanger (bar)	26.29

* @ mid aquifer depth

Figuur 5: DoubletCalc1D uitvoer van het TNO-AGE scenario voor het door de vergunninghouder voorgestelde productie scenario 2. Waarbij het maximum debiet en een injectietemperatuur van 40°C is gebruikt.

Datum
14 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.056

Blad
31/49

DoubletCalc1D uitvoer – Scenario 2 max. debiet en 20°C injectietemperatuur

Geotechnics (Input)

Property	min	median	max
aquifer permeability (mD)	60.0	68.0	70.0
aquifer net to gross (-)	0.95	0.99	1.0
aquifer gross thickness (m)	187.0	195.0	203.0
aquifer top at producer (m TVD)	2277.0	2530.0	2783.0
aquifer top at injector (m TVD)	2146.0	2384.0	2622.0
aquifer water salinity (ppm)	201000.0	205999.0	220000.0

Property	value
number of simulation runs (-)	50.0
aquifer kh/kv ratio (-)	1.0
surface temperature (°C)	10.0
geothermal gradient (°C/m)	0.0365
[mid aquifer temperature producer (°C)]	106.0
initial aquifer pressure at producer (bar)	0.0
[initial aquifer pressure at injector (bar)]	0.0
exit temperature heat exchanger (°C)	20.0
distance wells at aquifer level (m)	1118.0
pump system efficiency (-)	0.7
production pump depth (m)	920.0
pump pressure difference (bar)	92.0
outer diameter producer (inch)	8.5
skin producer (-)	17.0
skin due to penetration angle p (-)	-0.58
pipe segment sections p (m AH)	956.0,1666.0,2807.0,2811.0,2871.0
pipe segment depth p (m TVD)	943.0,1552.0,2470.0,2474.0,2530.0
pipe inner diameter p (inch)	5.8,8.83,6.18,4.95,5.92
pipe roughness p (milli-inch)	1.19,1.19,1.19,1.19,1.19
outer diameter injector (inch)	8.5
skin injector (-)	0.2
skin due to penetration angle i (-)	-1.01
pipe segment sections i (m AH)	220.0,1323.0,2618.0,2659.0
pipe segment depth i (m TVD)	220.0,1299.0,2357.0,2386.0
pipe inner diameter i (inch)	6.14,12.41,8.83,5.92
pipe roughness i (milli-inch)	1.19,1.19,1.19,1.19

Geotechnics (Output)

Monte Carlo cases (stochastic inputs)	P90	P50	P10
aquifer KH net (Dm)	12.27	12.93	13.42
mass flow (kg/s)	34.38	35.69	37.71
pump volume flow (m³/h)	110.6	115.5	122.6
required pump power (kW)	403.8	421.6	447.7
geothermal power (MW)	9.06	9.64	10.74
COP (kW/kW)	21.9	23.1	24.4

aquifer pressure at producer (bar)	248.99	265.49	282.54
aquifer pressure at injector (bar)	234.19	248.7	263.95
pressure difference at producer (bar)	48.93	49.9	51.27
pressure difference at injector (bar)	46.82	48.23	49.69
aquifer temperature at producer * (°C)	101.13	106.17	111.32
temperature at heat exchanger (°C)	97.03	101.53	106.28

base case (median value inputs)	value
aquifer KH net (Dm)	13.13
mass flow (kg/s)	36.32
pump volume flow (m³/h)	117.7
required pump power (kW)	429.7
geothermal power (MW)	9.95
COP (kW/kW)	23.2

aquifer pressure at producer (bar)	264.66
aquifer pressure at injector (bar)	248.7
pressure difference at producer (bar)	49.89
pressure difference at injector (bar)	47.97
aquifer temperature at producer * (°C)	106.0
temperature at heat exchanger (°C)	101.58
pressure at heat exchanger (bar)	26.67

* @ mid aquifer depth

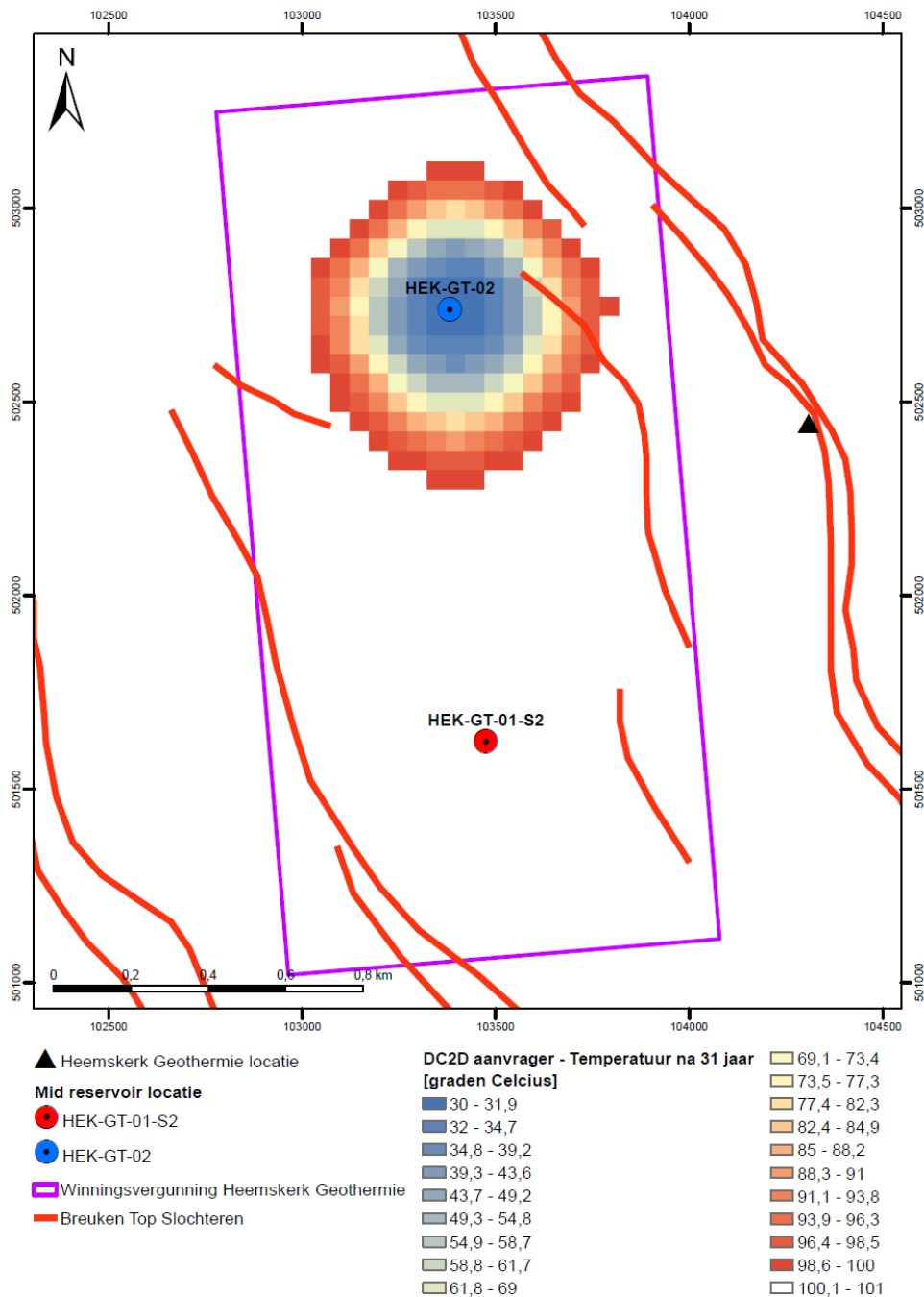
Figuur 6: DoubletCalc1D uitvoer van het TNO-AGE scenario voor het door de vergunninghouder voorgestelde productie scenario 2. Waarbij het maximum debiet en een injectietemperatuur van 20°C is gebruikt.

Datum
14 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.056

Blad
32/49

DoubletCalc2D uitvoer – TNO-AGE evaluatie DC2D scenario vergunninghouder

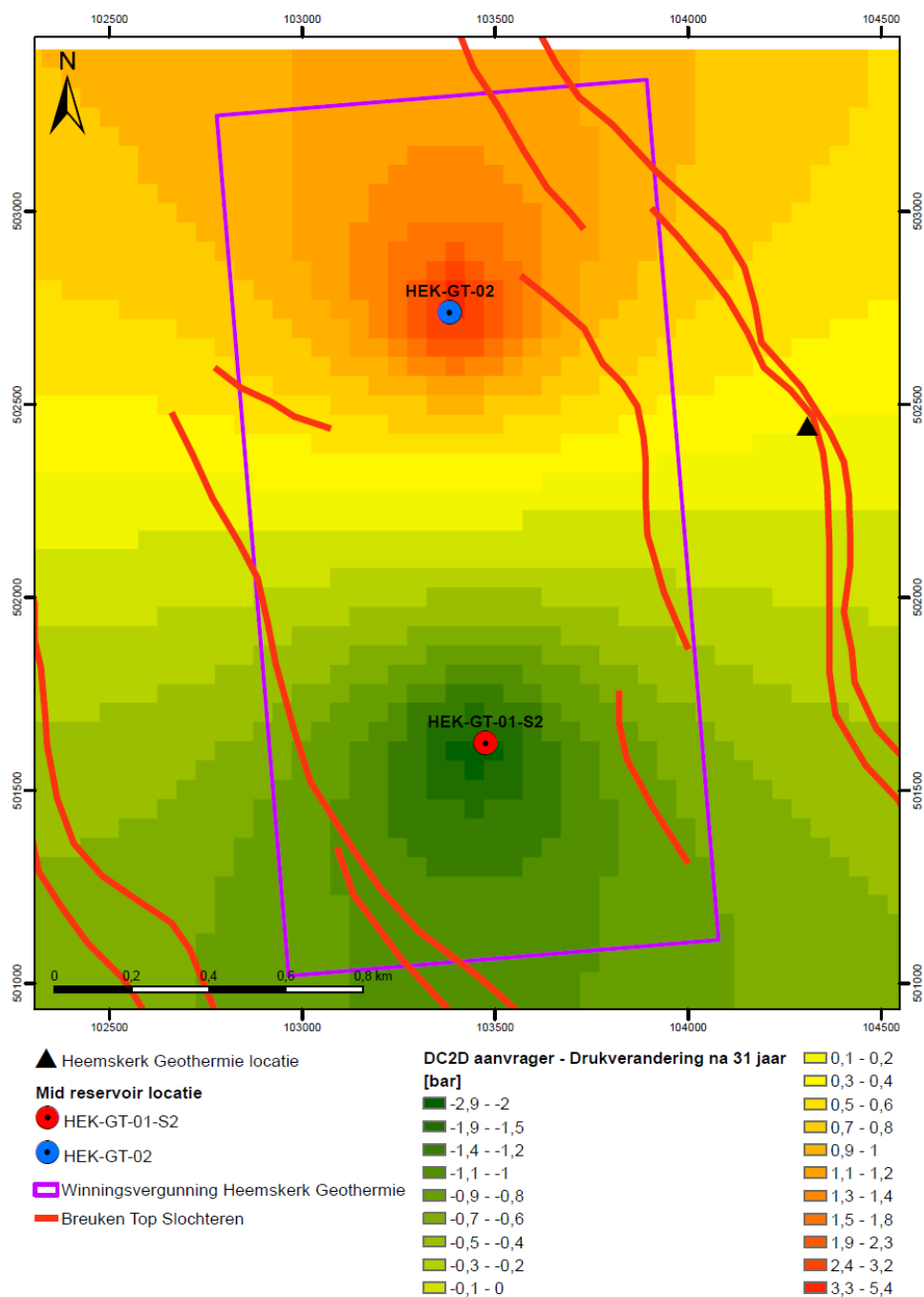


Figuur 7: DoubletCalc2D uitvoer van het door TNO-AGE geëvalueerde vergunninghouder scenario. De kaart laat de reservoirtemperatuur zien na 31 jaar productie. Er is in scenario geen rekening gehouden met de aanwezige breuken in de ondergrond.

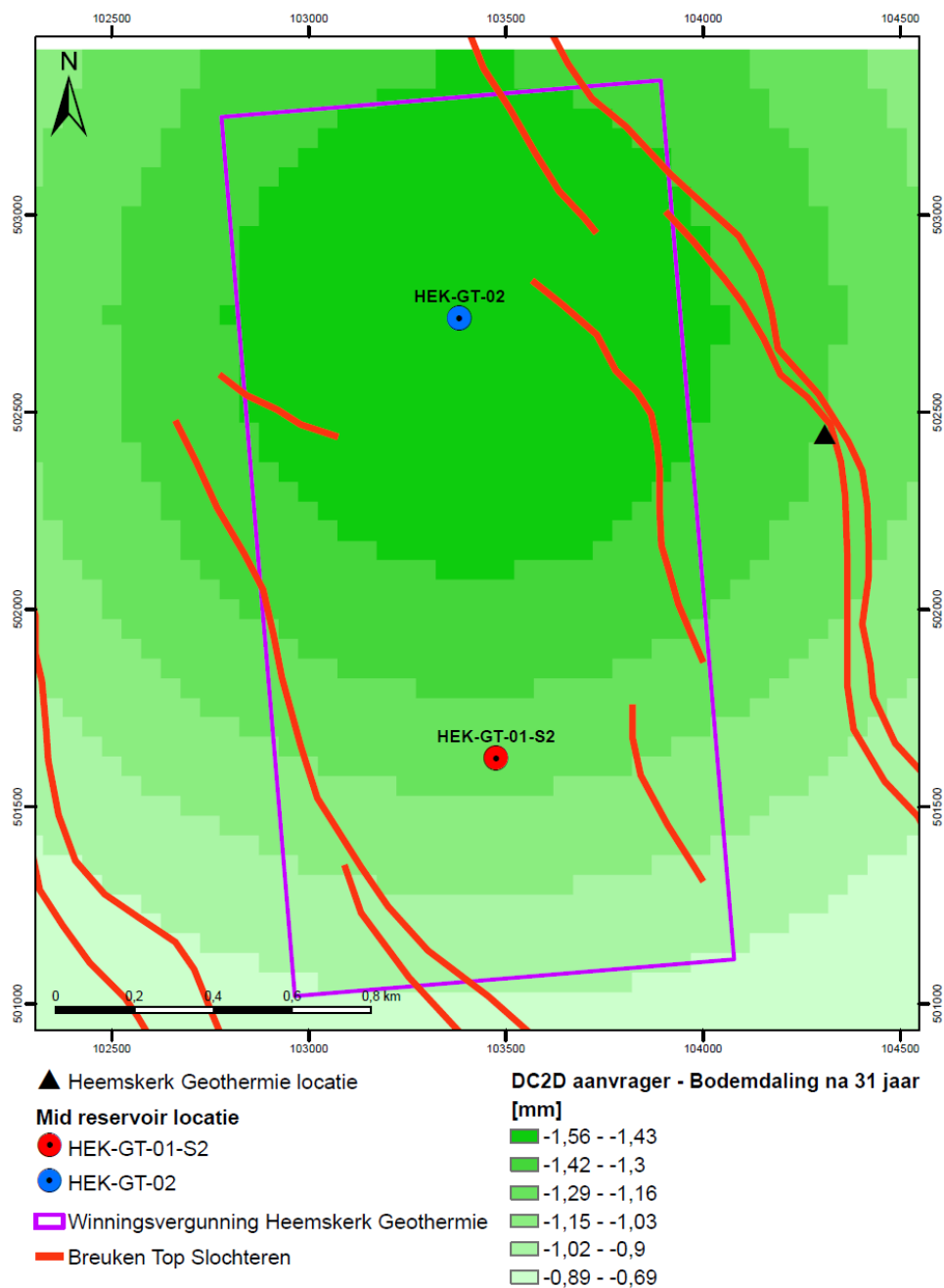
Datum
14 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.056

Blad
33/49



Figuur 8: DoubletCalc2D uitvoer van het door TNO-AGE geëvalueerde vergunninghouder scenario. De kaart laat de drukverandering op reservoirniveau zien na 31 jaar productie. Er is in scenario geen rekening gehouden met de aanwezige breuken in de ondergrond.



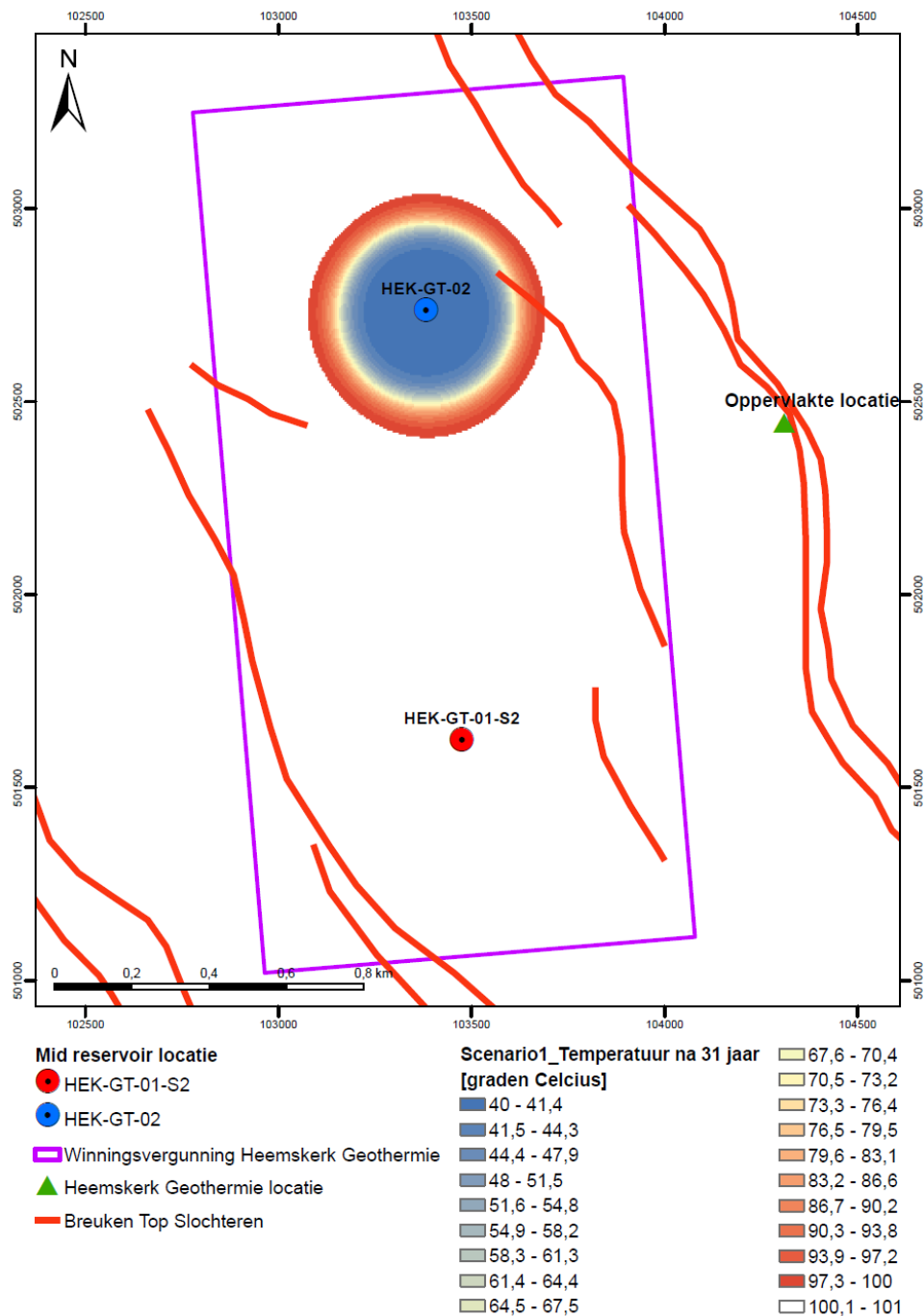
Figuur 9: DoubletCalc2D uitvoer van het door TNO-AGE geëvalueerde vergunninghouder scenario. De kaart laat de mate van bodemdaling zien na 31 jaar productie. Er is in scenario geen rekening gehouden met de aanwezige breuken in de ondergrond.

Datum
14 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.056

Blad
35/49

DoubletCalc2D uitvoer – Scenario 1 zonder invloed van breuken

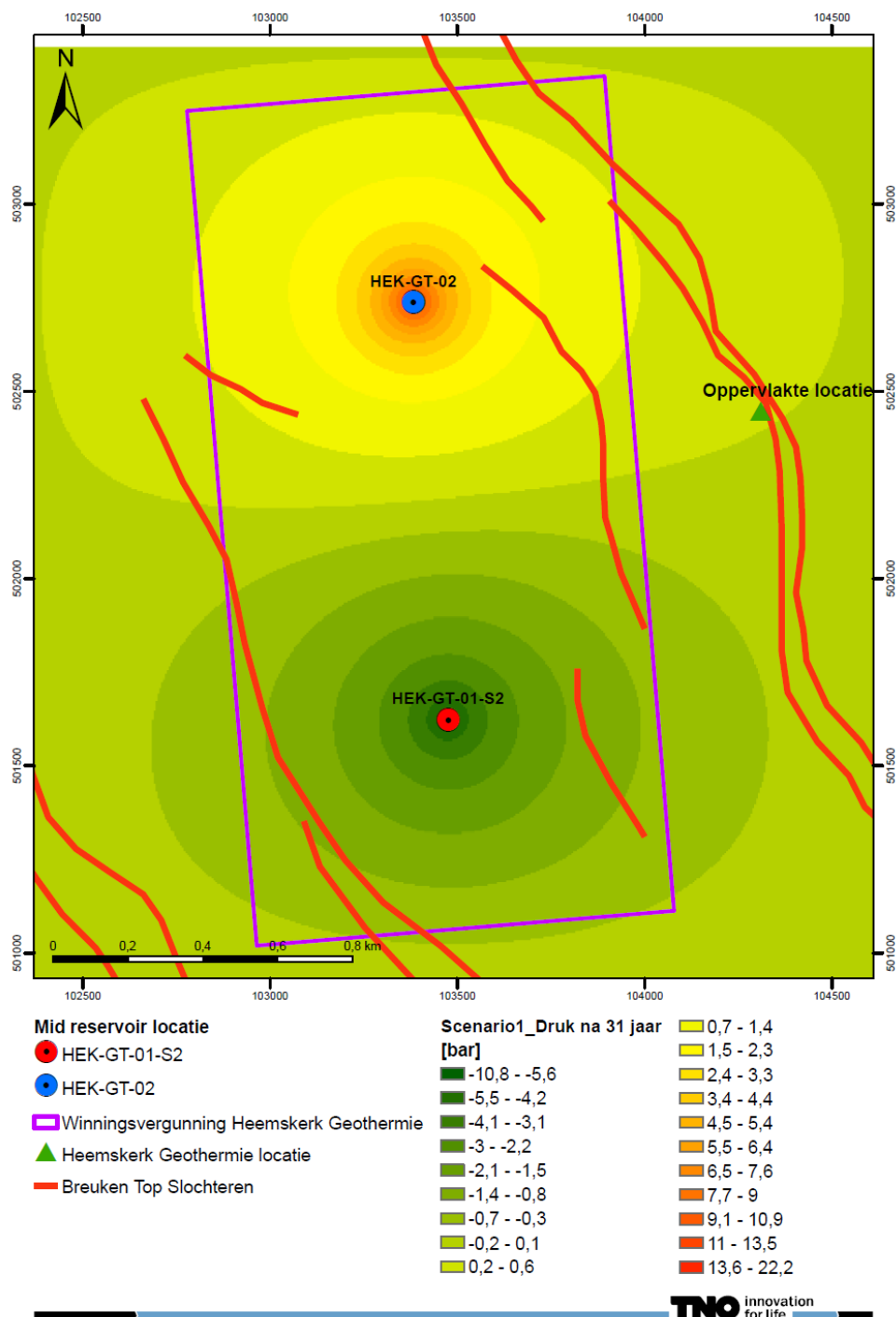


Figuur 10: DoubletCalc2D uitvoer van het TNO-AGE scenario op basis van scenario 1 van de vergunninghouder, zonder de invloed van de aanwezige breuken. De kaart toont de temperatuur op reservoirdiepte aan het einde van de huidige winningsvergunningsduur, dus 31 jaar na de start van de productie.

Datum
14 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.056

Blad
36/49

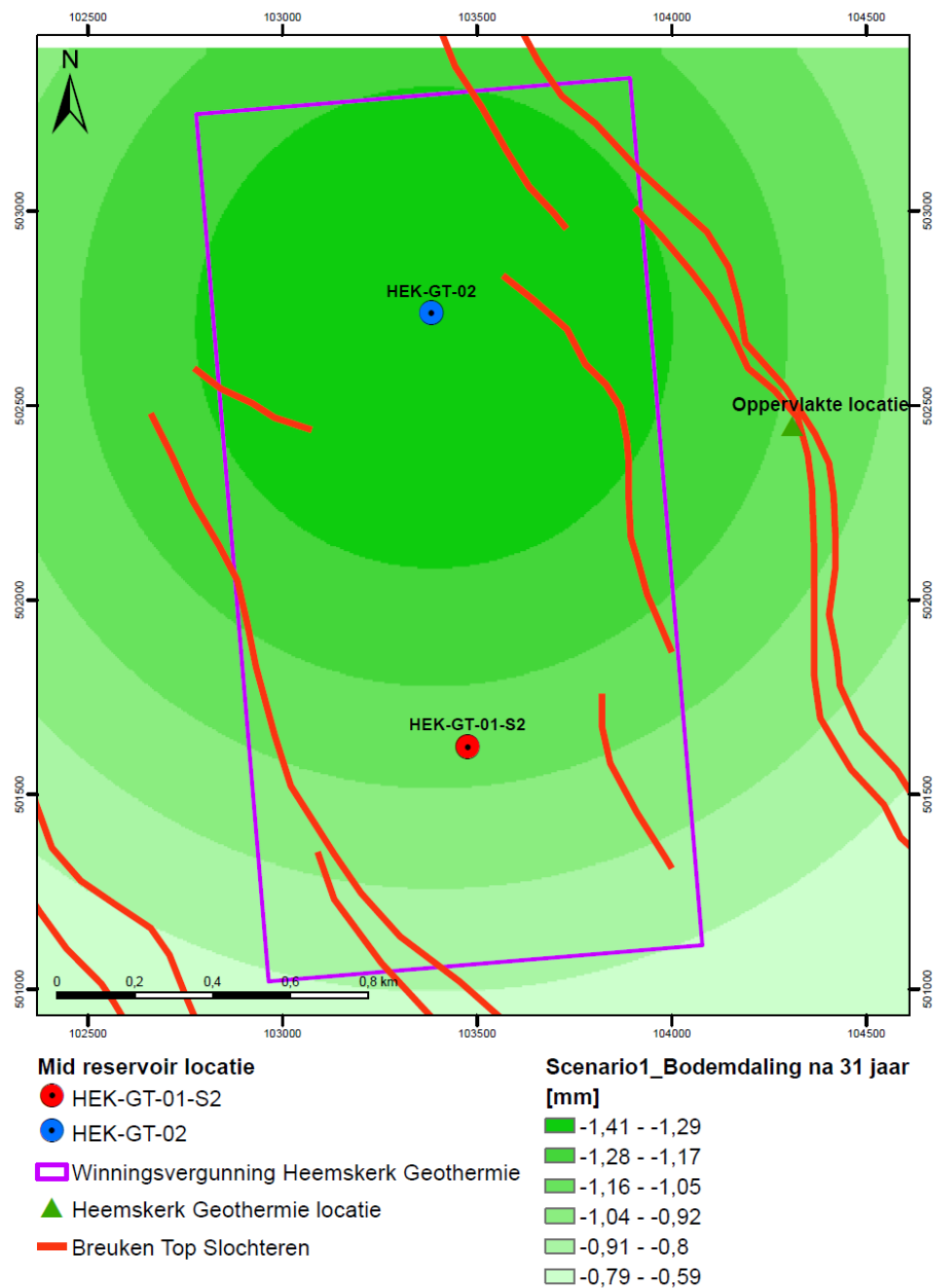


Figuur 11: DoubletCalc2D uitvoer van het TNO-AGE scenario op basis van scenario 1 van de vergunninghouder, zonder de invloed van de aanwezige breuken. De kaart toont de drukverandering op reservoirdiepte aan het einde van de huidige winningsvergunningsduur, dus 31 jaar na de start van de productie.

Datum
14 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.056

Blad
37/49



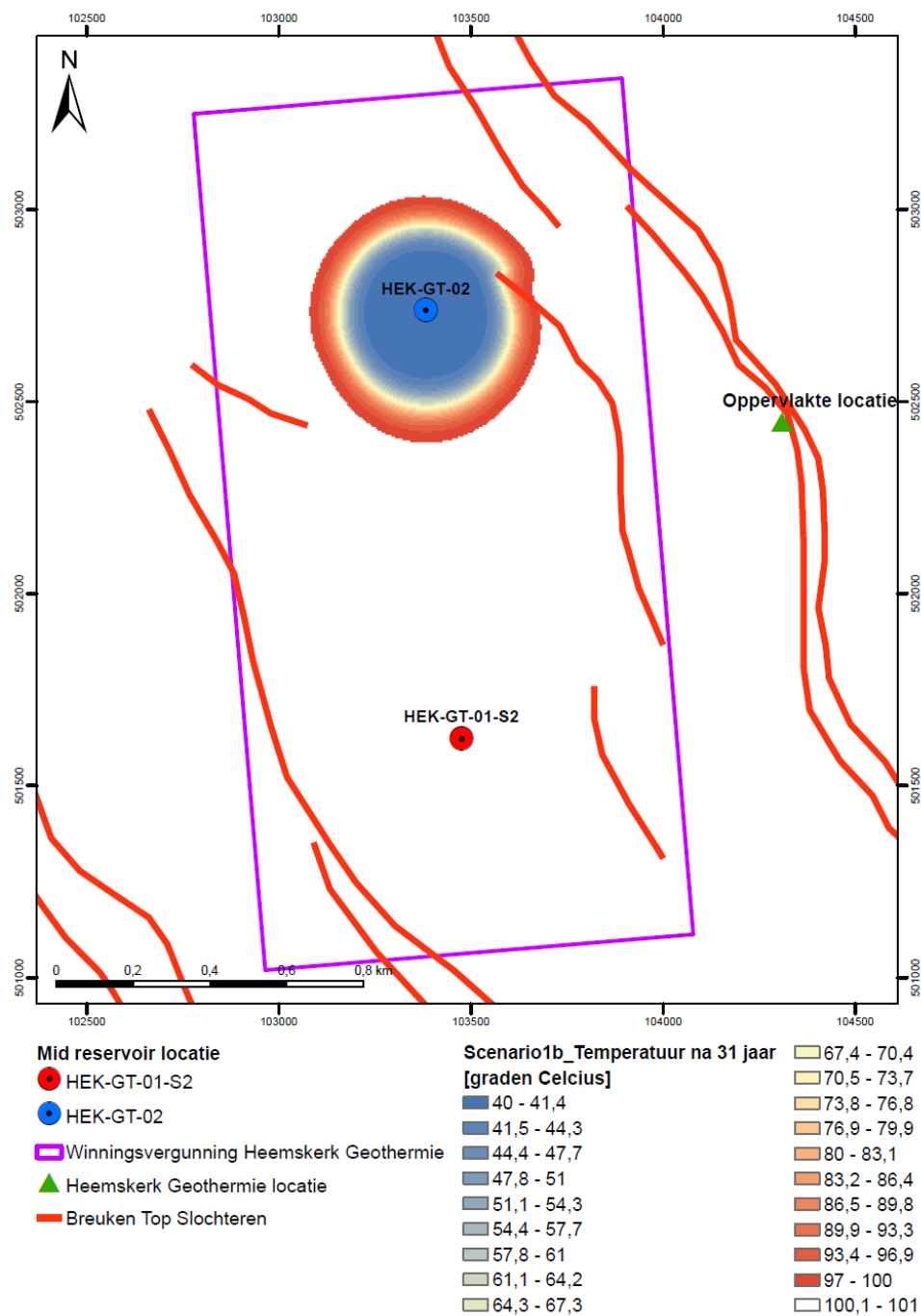
Figuur 12: DoubletCalc2D uitvoer van het TNO-AGE scenario op basis van scenario 1 van de vergunninghouder, zonder de invloed van de aanwezige breuken. De kaart toont de mate van bodemdaling aan het einde van de huidige winningsvergunningsduur, 31 jaar na start productie.

DoubletCalc2D uitvoer – Scenario 1 met invloed van breuken

Datum
14 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.056

Blad
38/49



Figuur 13: DoubletCalc2D uitvoer van het TNO-AGE scenario op basis van scenario 1 van de vergunninghouder, met de invloed van de aanwezige breuken in de ondergrond. De kaart toont de reservoirtemperatuur aan het einde van de huidige winningsvergunningsduur, dus na 31 jaar productie.

Datum

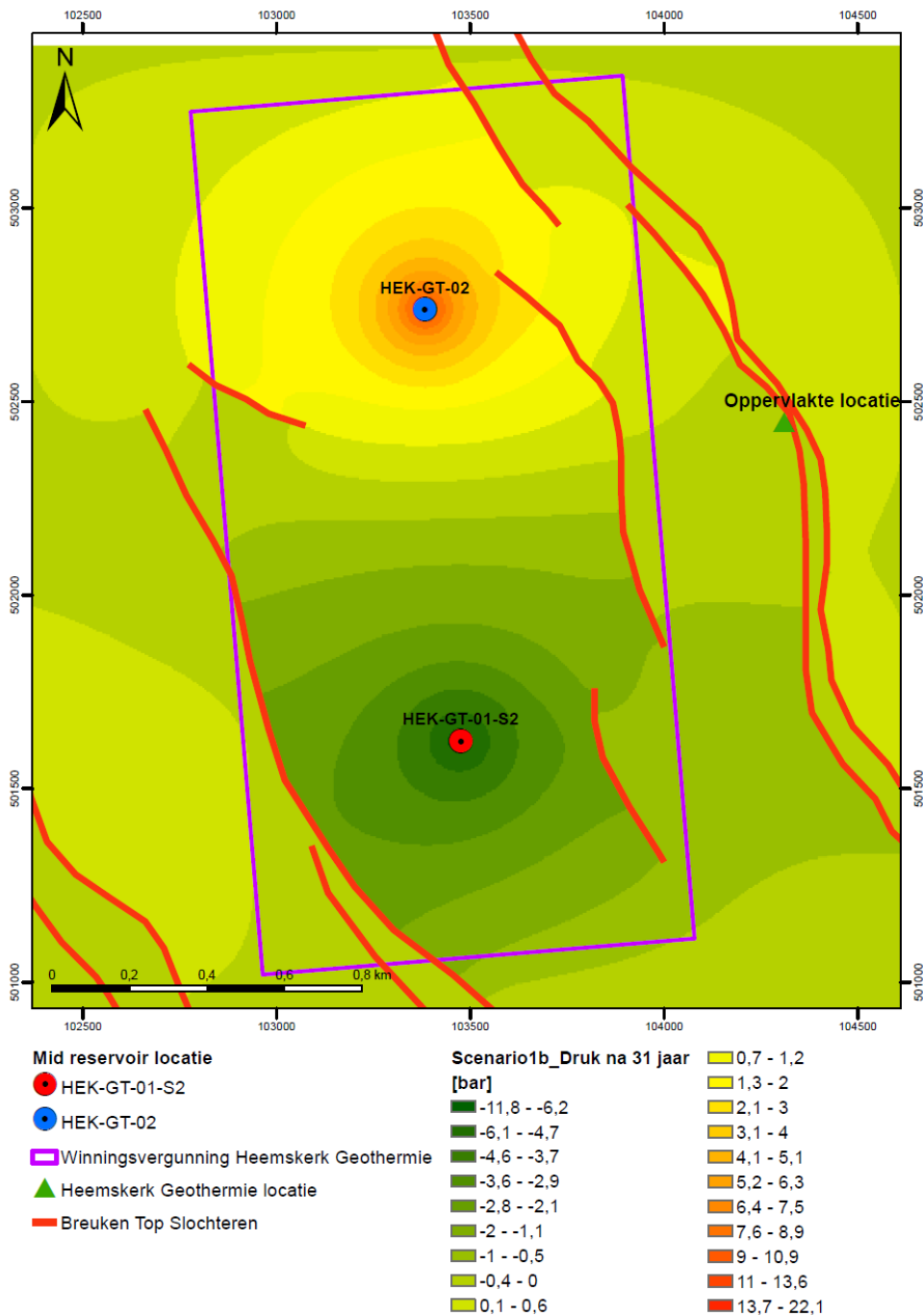
14 oktober 2019

Onze referentie

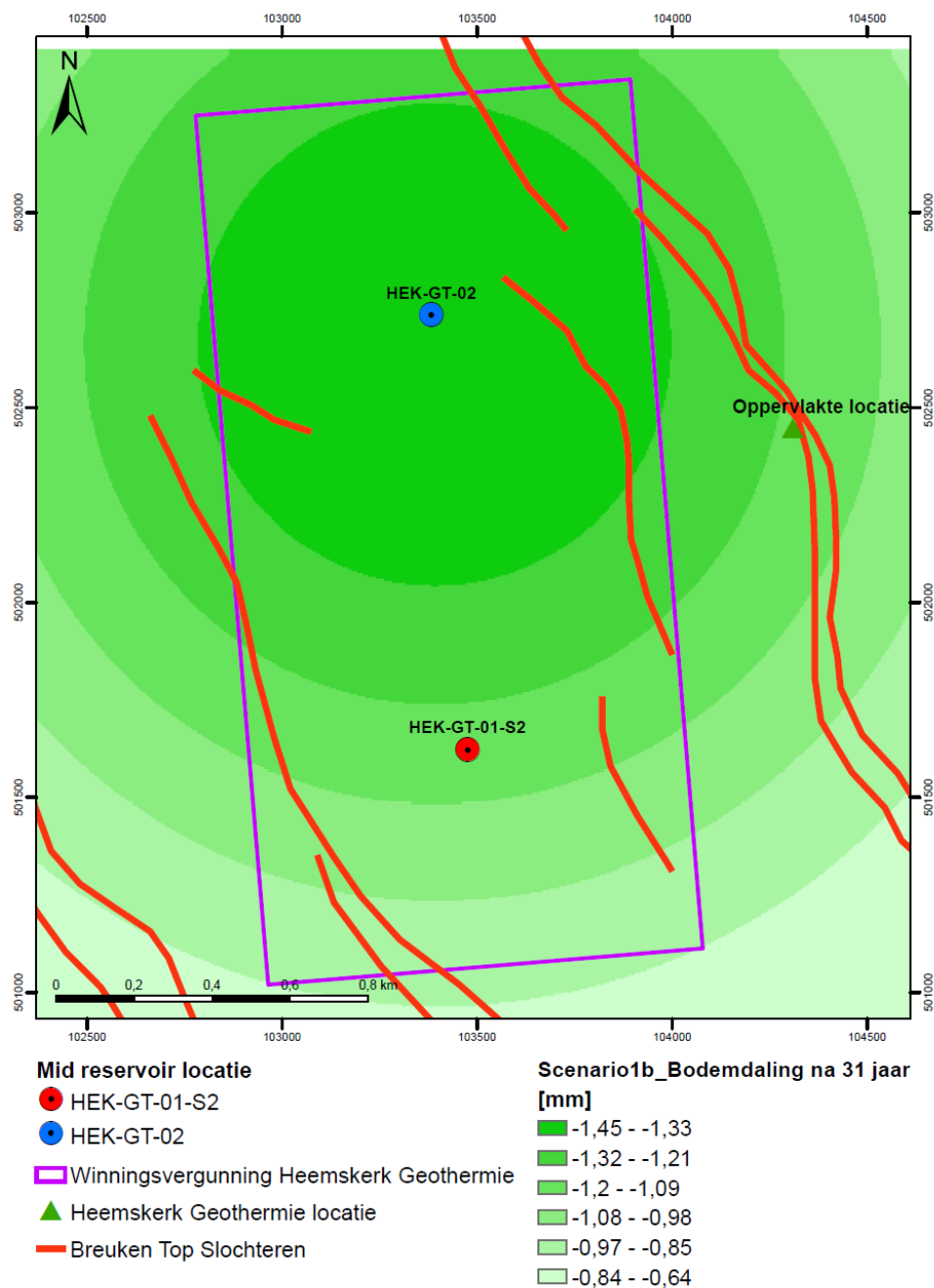
AGE 19-10.056

Blad

39/49



Figuur 14: DoubletCalc2D uitvoer van het TNO-AGE scenario op basis van scenario 1 van de vergunninghouder, met de invloed van de aanwezige breuken. De kaart toont de drukverandering op reservoirdiepte aan het eind van de huidige winningsvergunningsduur, dus na 31 jaar productie.



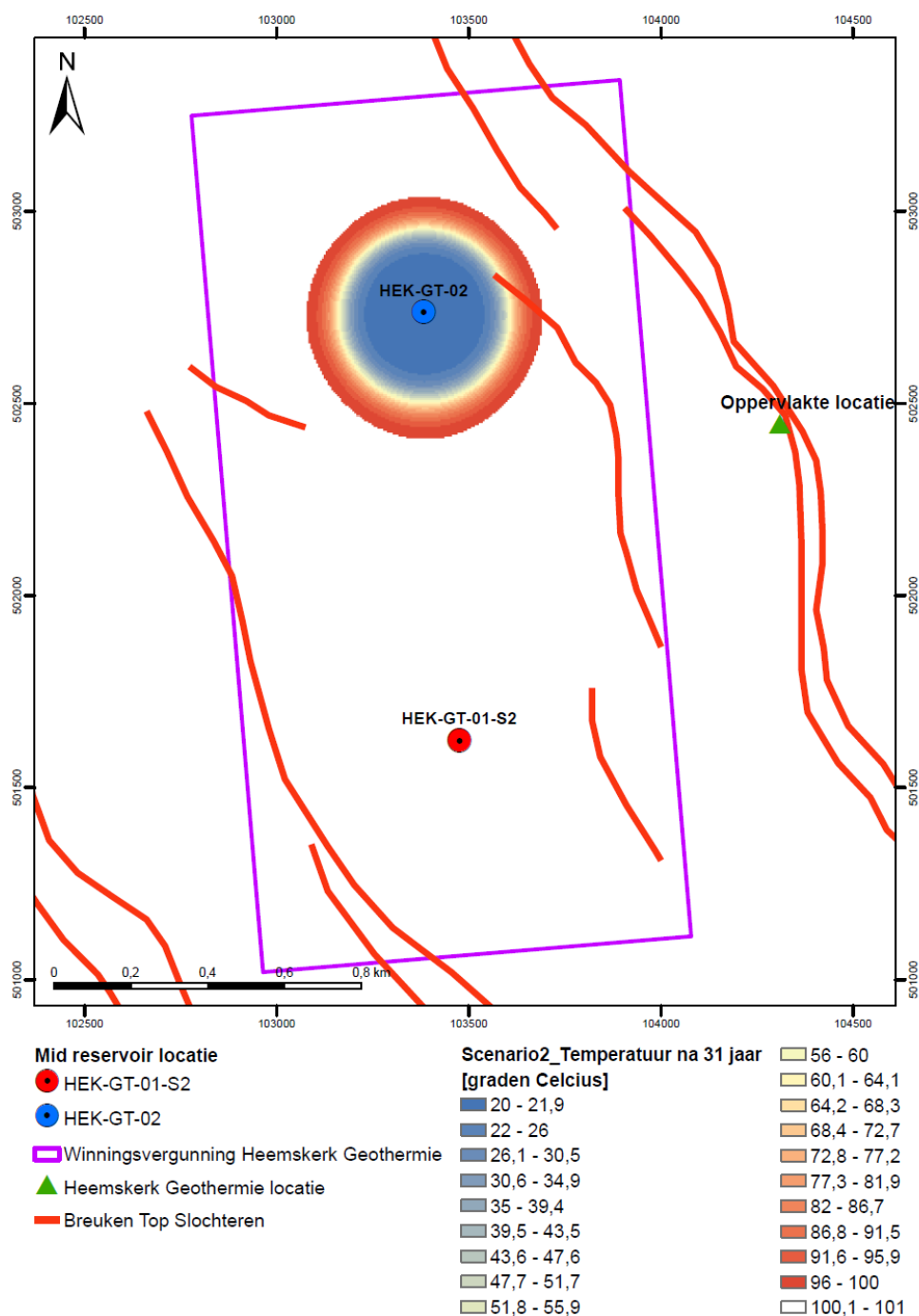
Figuur 15: DoubletCalc2D uitvoer van het TNO-AGE scenario op basis van scenario 1 van de vergunninghouder, met de invloed van de aanwezige breuken. De kaart toont de mate van bodemdaling aan het eind van de huidige winningsvergunningsduur, dus na 31 jaar productie.

Datum
14 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.056

Blad
41/49

DoubletCalc2D uitvoer – Scenario 2 zonder de invloed van breuken

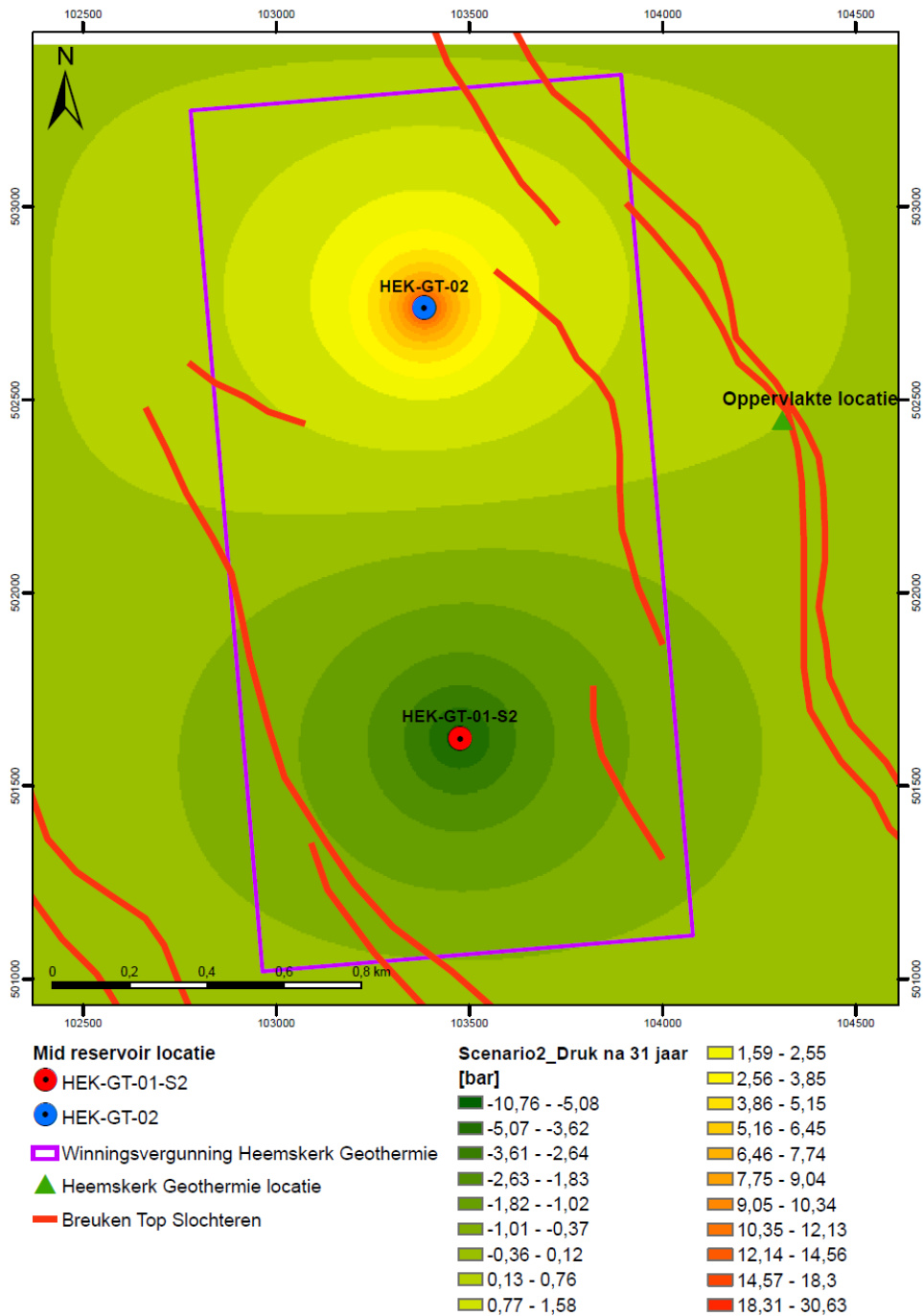


Figuur 16: DoubletCalc2D uitvoer van het TNO-AGE scenario op basis van scenario 2 van de vergunninghouder, zonder de invloed van de aanwezige breuken. De kaart toont de reservoirtemperatuur aan het einde van de huidige winningsvergunningsduur, dus na 31 jaar productie.

Datum
14 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.056

Blad
42/49

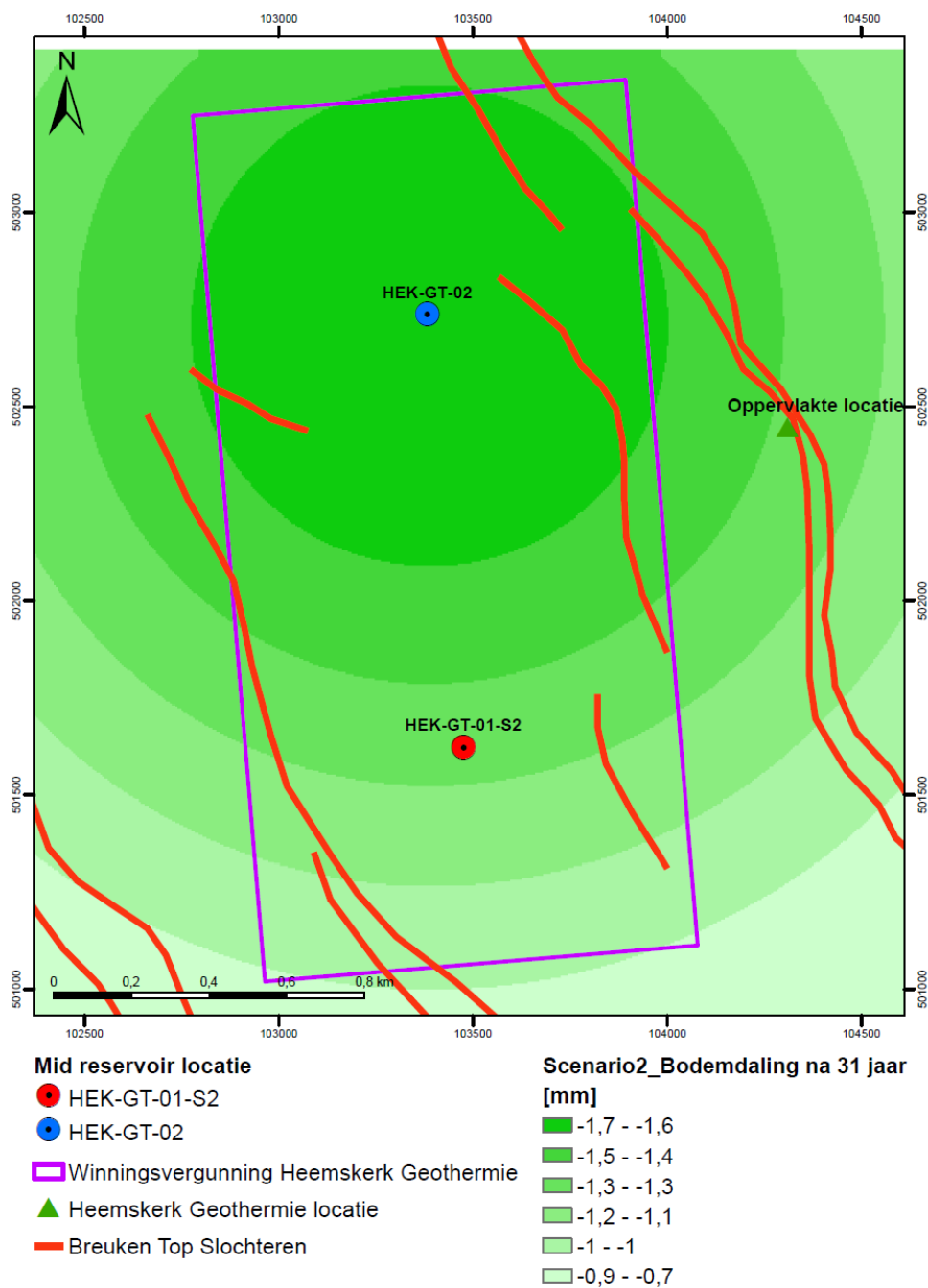


Figuur 17: DoubletCalc2D uitvoer van het TNO-AGE scenario op basis van scenario 2 van de vergunninghouder, zonder de invloed van de aanwezige breuken. De kaart toont de drukverandering op reservoirdiepte aan het eind van de huidige winningsvergunningsduur, dus na 31 jaar productie.

Datum
14 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.056

Blad
43/49



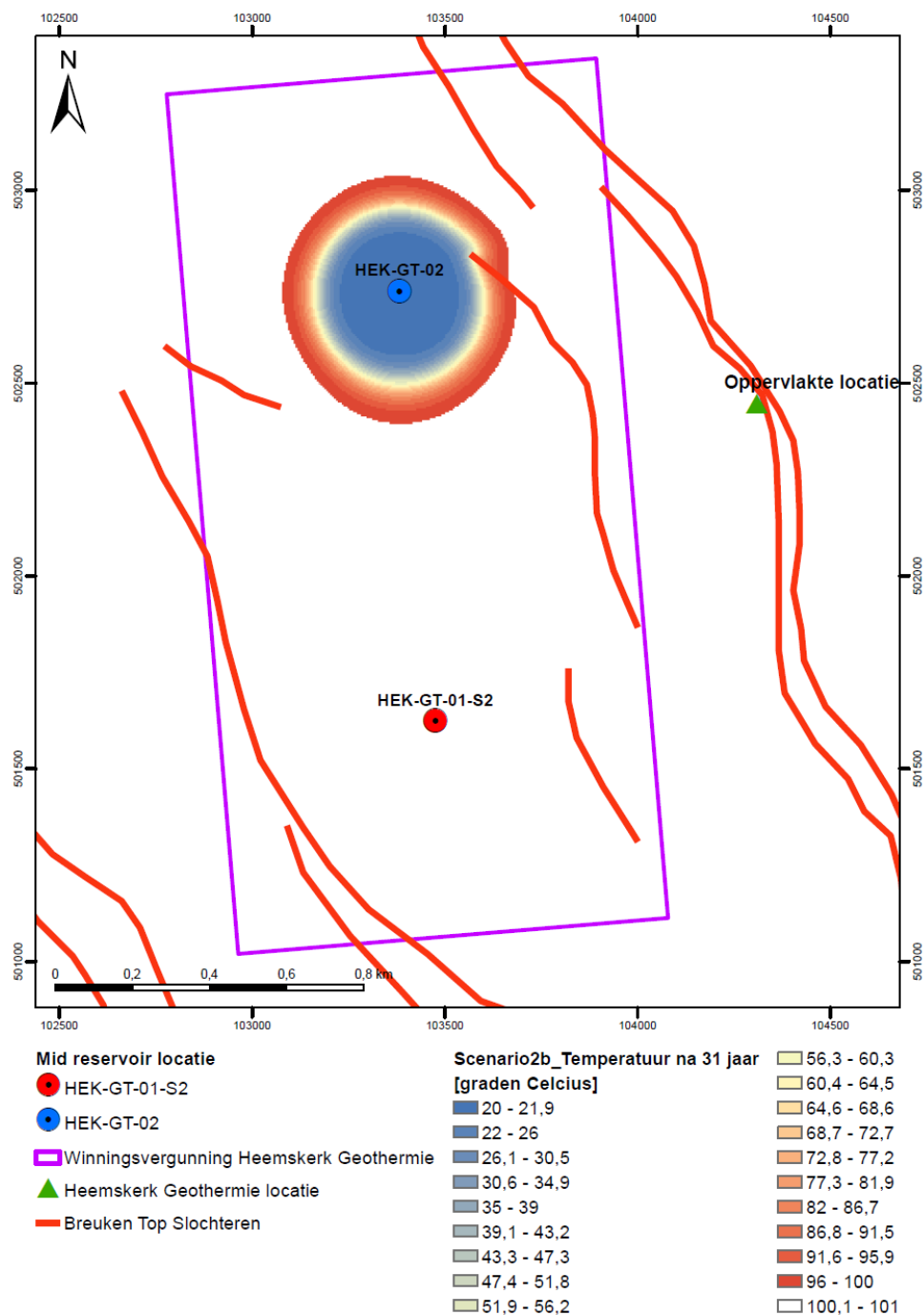
Figuur 18: DoubletCalc2D uitvoer van het TNO-AGE scenario op basis van scenario 2 van de vergunninghouder, zonder de invloed van de aanwezige breuken. De kaart toont de mate van bodemdaling aan het eind van de huidige winningsvergunningsduur, dus na 31 jaar productie.

Datum
14 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.056

Blad
44/49

DoubletCalc2D uitvoer – Scenario 2 met de invloed van breuken

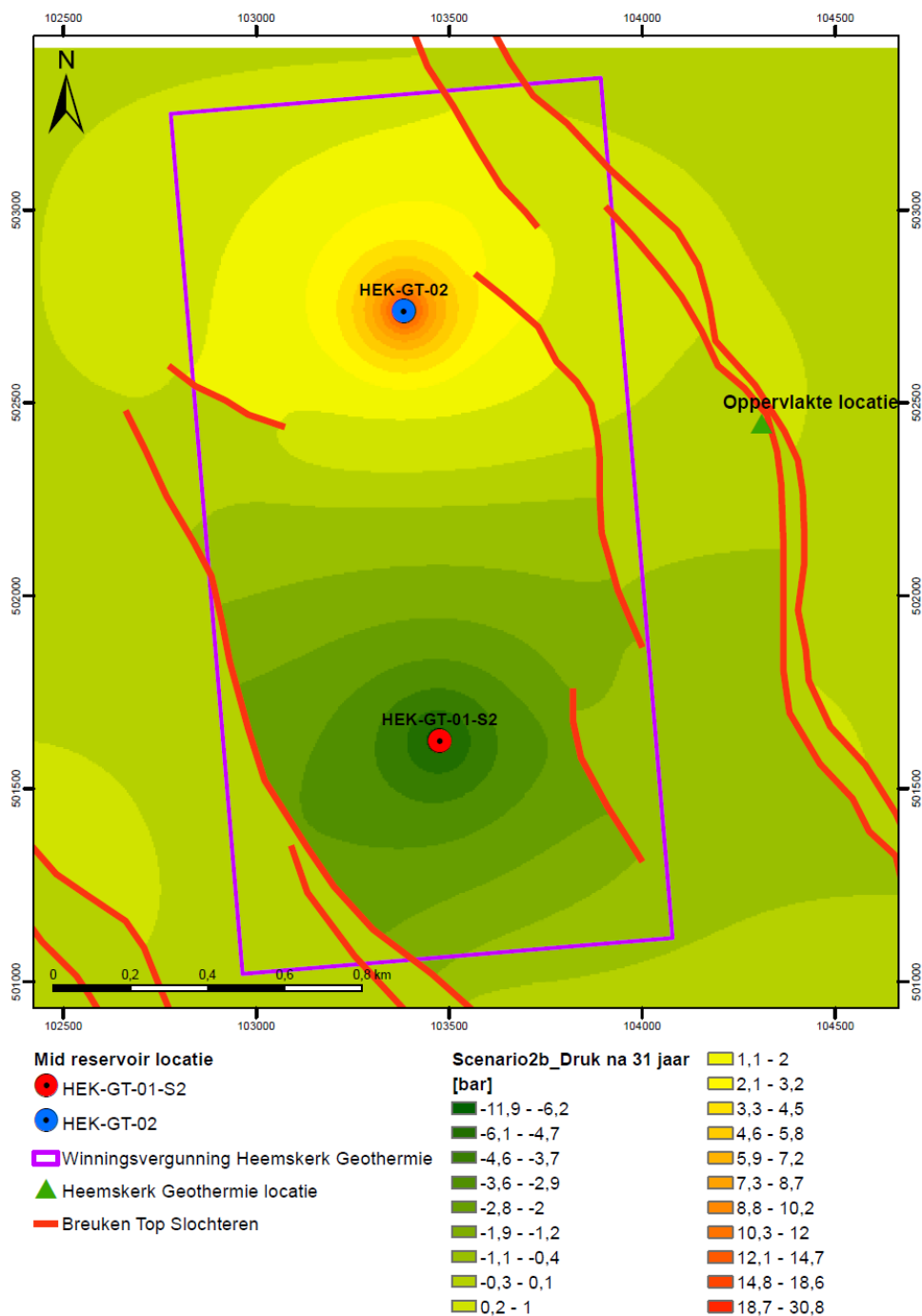


Figuur 19: DoubletCalc2D uitvoer van het TNO-AGE scenario op basis van scenario 2 van de vergunninghouder, met de invloed van de aanwezige breuken. De kaart toont de reservoirtemperatuur aan het einde van de huidige winningsvergunningsduur, dus na 31 jaar productie.

Datum
14 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.056

Blad
45/49

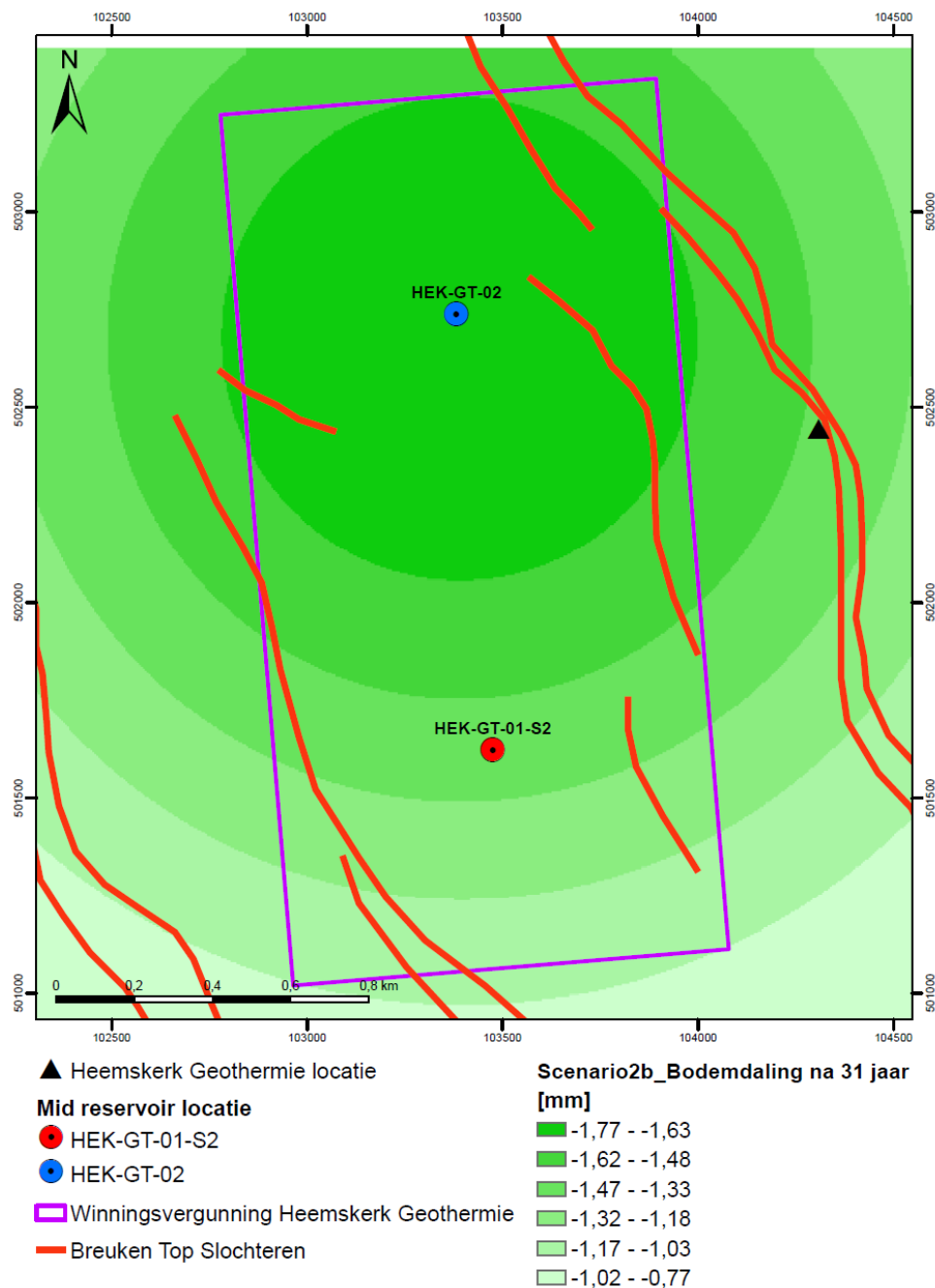


Figuur 20: DoubletCalc2D uitvoer van het TNO-AGE scenario op basis van scenario 2 van de vergunninghouder, met de invloed van de aanwezige breuken. De kaart toont de drukverandering op reservoirdiepte aan het eind van de huidige winningsvergunningsduur, na 31 jaar productie.

Datum
14 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.056

Blad
46/49



TNO innovation for life

Figuur 21: DoubletCalc2D uitvoer van het TNO-AGE scenario op basis van scenario 2 van de vergunninghouder, met de invloed van de aanwezige breuken. De kaart toont de mate van bodemdaling aan het eind van de huidige winningsvergunningsduur, dus na 31 jaar productie.

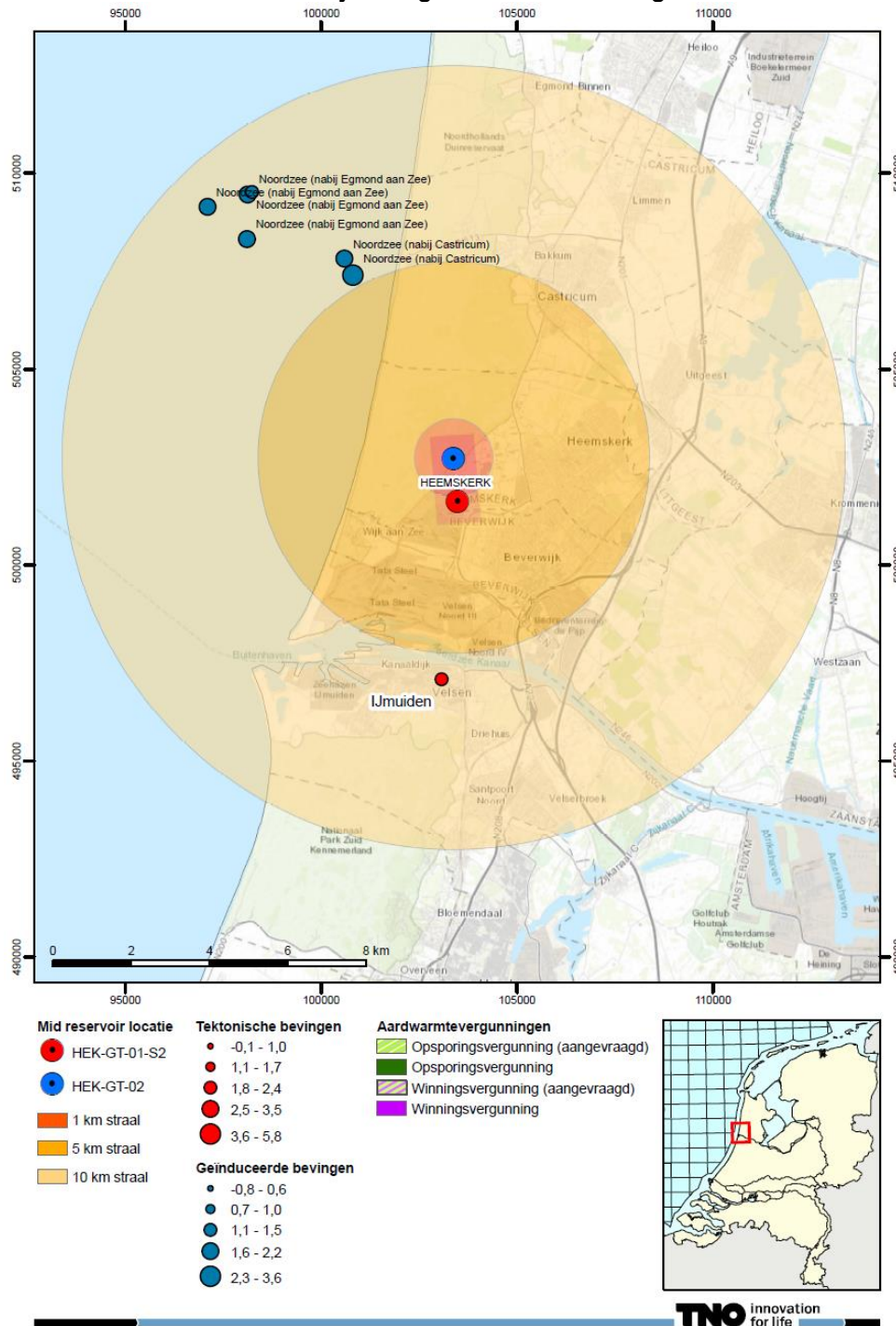
Datum
14 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.056

Blad
47/49

Bijlage 3: SHRA evaluatie kaarten

Afstand tot bekende natuurlijke en geïnduceerde bevingen.



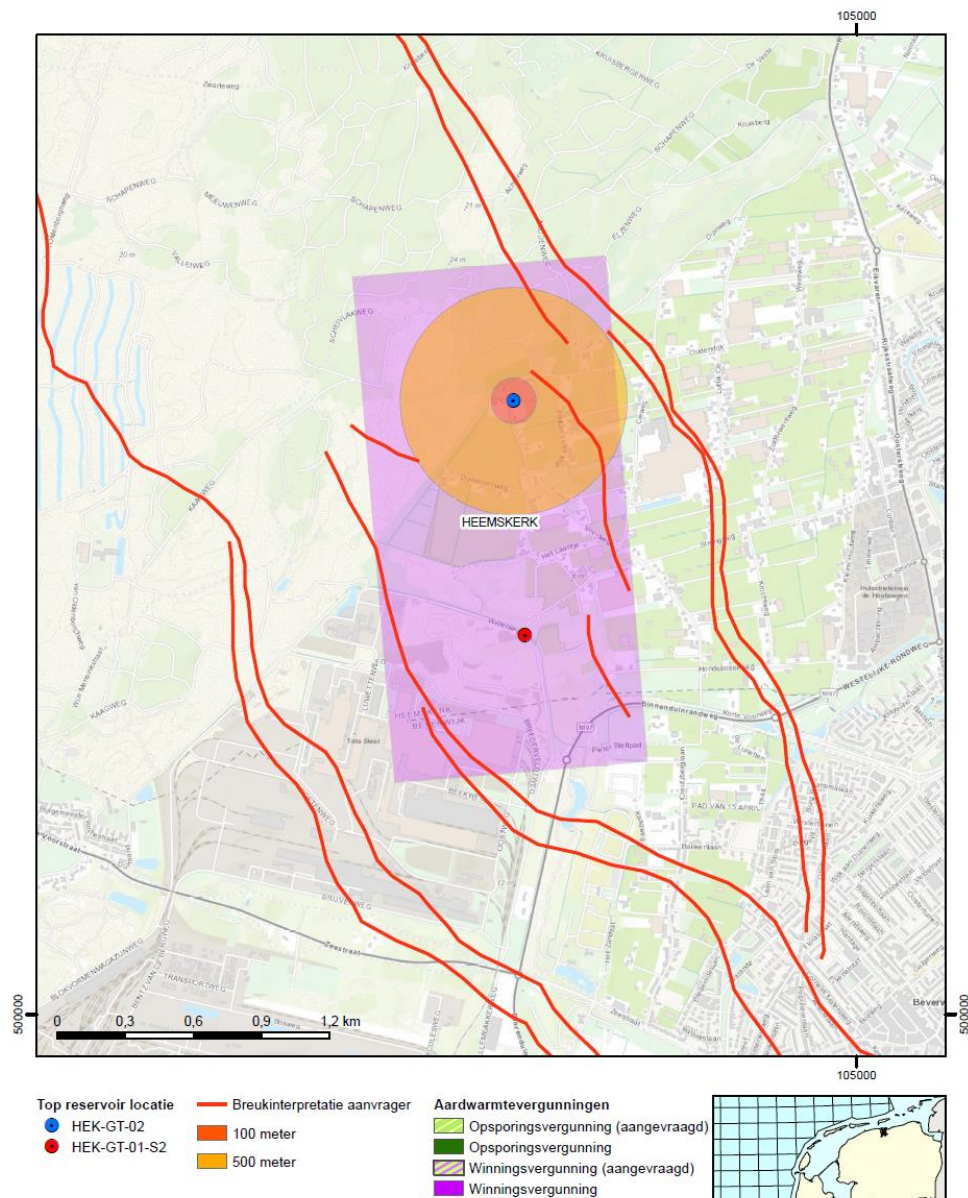
Figuur 22: Overzicht van natuurlijke en geïnduceerde bevingen in de nabijheid van het geothermiesysteem Heemskerk. De weergegeven bevingen komen uit de aardbevingscatalogus van het KNMI (<https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/dataset/aardbevingscatalogus> – 03-06-2019).

Datum
14 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.056

Blad
48/49

Afstand tot breuken



Figuur 23: Afstand van de injectieput, top reservoir, tot de geïnterpreteerde breuken in de ondergrond.

Datum
14 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.056

Blad
49/49

Bijlage 4: Erratalijst

- Vergunninghouder meldt in het Winningsplan dat de maandelijkse productiegegevens verstrekt worden aan TNO-AGE. De vergunninghouder levert echter in het Winningsplan [1] geen historische productie aan, terwijl dit wel van de vergunninghouder verwacht wordt volgens het winningsplan format.
- Vergunninghouder gaat in het Winningsplan [1] uit van een productieperiode van 35 jaar, terwijl de winningsvergunning is afgegeven voor een periode van 30 jaar.