

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 Kampen

Geachte [REDACTED],

Naar aanleiding van uw adviesverzoek van 13 mei 2019 (per email) ter ondersteuning van het te nemen instemmingsbesluit betreffende het winningsplan aardwarmte Kampen van 28 februari 2019 door Aardwarmtecluster I KKP 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 Kampen op de volgende onderwerpen:

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

Beschrijving winning

Het aardwarmtesysteem Kampen, bestaande uit een productieput (KKP-GT-01) en een injectieput (KKP-GT-02) is sinds 2012 in productie. Het systeem ligt in het gebied dat is gedefinieerd als de winningsvergunning Kampen (ca. 5,2 km²). Deze vergunning is bij beschikking, met kenmerk DGETM/EM/13190490, op 9 oktober 2014 verleend aan Aardwarmtecluster I KKP B.V.. Het doublet is gericht op de watervoerende zandsteenlagen van de Slochteren Formatie, die zich bevindt op een diepte van ca. 1850 m. De stroming van warm water naar de productieput en injectie van afgekoeld water vindt plaats door en in de poreuze gesteentematrix van

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

T +31 88 866 42 56

Datum

16 oktober 2019

Onze referentie

AGE 19-10.058

Contactpersoon

[REDACTED]

E-mail

[REDACTED]@tno.nl

Bijlage(n)

3

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
16 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.058

Blad
2/32

deze formatie. Het systeem opereert sindsdien met een maximaal debiet van circa 150 m³/uur en een temperatuurval van maximaal 47°C (bron: productiedata van aanvang tot begin 2019). De temperatuur van het geproduceerde water is circa 75°C. De gewonnen warmte wordt gebruikt door glastuinbouwbedrijven. Het debiet waarmee momenteel wordt geproduceerd is ongeveer 130 m³/uur en de jaarlijkse opbrengst van energie is ca. 0,17 PJ.

De vergunninghouder neemt in het winningsplan drie toekomstige uitbreidingen van het aardwarmtesysteem mee:

- 1) een tweede productieput in 2021,
- 2) extra uitkoeling tot 20 °C vanaf 2024, en
- 3) een extra doublet in 2027.

In tegenstelling tot de vergunninghouder evalueert TNO-AGE, naast de toekomstige situatie, ook de huidige situatie met productie/injectie via twee putten. Bij de beoordeling van het winningsplan m.b.t. de toekomstige situatie gaat TNO-AGE alleen uit van de eerste twee uitbreidingen omdat onvoldoende informatie over het tweede doublet is gegeven om een adequate evaluatie uit te kunnen voeren. De vergunninghouder heeft dit tweede doublet ook niet in de SHRA meegenomen. Daarnaast is hiervoor mogelijk een separaat winningsplan vereist.

- Huidige situatie: productie/injectie via 2 putten bij 30 °C injectietemperatuur.
- Toekomstige situatie: productie/injectie via 3 putten bij 20 °C injectietemperatuur.

Met de tweede productieput denkt de vergunninghouder een debiet van gemiddeld 260 m³/uur te gaan produceren bij 8600 vollaasturen, een verdubbeling van het huidige debiet. Samen met de extra uitkoeling wordt de verwachte jaarlijks te produceren hoeveelheid energie daarmee ca. 0,35 PJ.

1. Planmatig gebruik van de ondergrond

Vergunninghouder vraagt instemming met het winningsplan, waarin het huidige gemiddelde jaardebiet van 130 m³/uur in 2021 tot 260 m³/uur wordt verhoogd tot aan het einde van de winningsvergunning in 2044. Uit de reeds beschikbare productiedata blijkt dat de injectiedruk op reservoirdiepte, die nodig is om een gemiddeld debiet van 130 m³/uur te injecteren, circa 30 bar is. De totale hoeveelheid water die tot het einde van de winningsvergunning geproduceerd zal worden bedraagt ca. 35,3 miljoen m³, uitgaande van een debiet van 130 m³/uur. In geval van de toekomstige situatie, met een debiet van 260 m³/uur vanaf 2021, bedraagt de totale hoeveelheid geproduceerd water ca. 60,9 miljoen m³. Verder laten de reeds beschikbare productiegegevens zien dat bij de winning circa 0,27 m³ gas per m³ water zal worden geproduceerd. Vergunninghouder stelt dat dit gas wordt afgevangen en gebruikt in stookinstallaties.

TNO-AGE heeft de invoerparameters en de daaruit voortvloeiende injectiedrukken en afkoelingscontouren geëvalueerd en vervolgens eigenstandig nagerekend met de softwarepakketten DoubletCalc1D en -2D.

Datum
16 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.058

Blad
3/32

Bijlage 2 toont de druk- en temperatuurdistributie in de ondergrond aan het einde van de winningsvergunning in 2044 voor zowel de huidige als de toekomstige situatie.

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.

Dit geldt echter niet voor de toekomstige systeemconfiguratie, aangezien de vergunninghouder niet eenduidig aangeeft welke injectiedruk nodig is om het voorgestelde debiet van 260 m³/uur te realiseren. TNO-AGE acht de onzekerheden in de extrapolatie van het huidige debiet van 130 m³/uur naar 260 m³/uur momenteel te groot om de verwachte injectiedruk eenduidig te bepalen. De door de vergunninghouder opgegeven maximale THP injectiedruk van 75 bar geldt voor een minimale injectietemperatuur van 35 °C [5], niet voor de toekomstige injectietemperatuur van 20 °C. Bij een injectietemperatuur van 20 °C zorgt de hogere dichtheid van het water voor een hogere druk in de put op reservoirdiepte, waardoor er minder ruimte is in de op te leggen injectiedruk. Daarnaast resulteert een verandering van de injectietemperatuur in extra spanningsveranderingen in het reservoir, die mogelijk invloed hebben op de maximale injectiedruk ter voorkoming van breukreactivatie.

Doorbraak van de koudwaterbel vindt in de tweede productieput modelmatig al plaats in het jaar 2041. Hierna kan de productie waarschijnlijk nog een aantal jaar worden voortgezet, maar in het winningsplan wordt niet aangegeven wat de economische ondergrens is van de temperatuur van het geproduceerde water.

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

TNO-AGE is van mening dat de winning van aardwarmte via de huidige systeemconfiguratie, zoals voorgesteld in het winningsplan, in overeenstemming is met de principes van planmatig gebruik van de ondergrond in de genoemde geologische setting.

Dit geldt niet voor de toekomstige systeemconfiguratie, aangezien de vergunninghouder niet eenduidig aangeeft welke injectiedruk nodig is om het voorgestelde debiet van 260 m³/uur te realiseren.

2. Bodemdaling

TNO-AGE heeft de bodemdalingsprognose van de vergunninghouder geëvalueerd en eigenstandig nagerekend. Uitgaande van de huidige situatie komt TNO-AGE uit op een maximale bodemdaling, op de locatie van de injectieput op reservoirdiepte, van ca. 2 mm aan het einde van de huidige winningsvergunning in 2044. Dit is enkel het gevolg van de krimp van het reservoir door afkoeling van het gesteente. In geval van de toekomstige situatie berekent TNO-AGE een maximale bodemdaling van ca. 4 mm. Dit komt overeen met het resultaat van de vergunninghouder omdat beiden DoubletCalc2D en nagenoeg dezelfde productieprognose gebruiken voor de berekeningen.

Datum
16 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.058

Blad
4/32

De mate van bodemdaling neemt af met toenemende afstand van de injectieput (Figuur 9 en 12 Bijlage 2). De dichtstbijzijnde natuur/beschermingsgebieden liggen op een afstand van ca. 3 km, waardoor de modelmatige bodemdaling hier verwaarloosbaar is.

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 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 Kampen. Vergunninghouder heeft conform de leidraad^{1,2} een seismische hazard-risicoanalyse (SHRA) uitgevoerd voor het geothermisch systeem Kampen, maar enkel voor de toekomstige situatie. Vergunninghouder komt uit op een laag potentieel voor het induceren van seismiciteit.

TNO-AGE heeft deze analyse geëvalueerd en eigenstandig nagerekend en heeft daarnaast ook voor de huidige situatie een SHRA uitgevoerd conform de leidraad^{1,2}. Voor de huidige situatie komt TNO-AGE uit op een genormaliseerde seismisch potentieel score van 0,21 en voor de toekomstige situatie op een score van 0,37. De score voor de toekomstige situatie is hoger dan die van de vergunninghouder (0,32) en resulteert in een gemiddeld potentieel voor het induceren van seismiciteit. Het resultaat van TNO-AGE wijkt af van de uitkomst van de vergunninghouder doordat TNO-AGE een hogere score geeft aan de categorieën breukoriëntatie in huidig spanningsveld” (10 i.p.v. 3) en lagere score voor de categorie “connectie met basement” (0 i.p.v. 3). De injectiedruk op reservoirdiepte, die nodig is om het geprognoseerde debiet te realiseren, is echter nog onzeker. Daarnaast kan ook drukcommunicatie tussen de nieuwe productieput en huidige injectieput pas worden aangetoond na het boren van deze productieput. Hierdoor wijzigt de score mogelijk na het boren van de nieuwe productieput.

Voor het geothermisch systeem Kampen in de huidige situatie komt TNO-AGE uit op een laag potentieel voor het induceren van seismiciteit. Voor de toekomstige situatie is het resultaat een gemiddeld potentieel.

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
16 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.058

Blad
5/32

Conclusie en aanbevelingen

Resumerend ziet TNO-AGE geen geotechnische belemmeringen om in te stemmen met het ingediende winningsplan voor het aardwarmtesysteem Kampen door Aardwarmtecluster I KKP B.V. indien de huidige operationele configuratie zoals afgeleid uit dit winningsplan tot einde productie gehandhaafd blijft.

TNO-AGE adviseert EZK om de vergunninghouder, na realisatie van de tweede productieput, toe te staan de nieuwe systeemconfiguratie gedurende een beperkte periode te testen, met inachtneming van de op dat moment geldende maximale injectiedruk. Op basis daarvan kan de vergunninghouder afleiden en aanleveren of het in dit winningsplan geprognoseerde debiet gehaald kan worden, wat de daarvoor benodigde injectiedruk is en of deze binnen de maximaal toegestane injectiedruk valt. Het is tevens wenselijk dat de vergunninghouder op dat moment ook een update van de SHRA aanlevert, aangezien het resultaat mogelijk wijzigt ten opzichte van de huidige inschatting.

Daarnaast adviseert TNO-AGE EZK om de vergunninghouder te verzoeken, alvorens verdere uitkoeling tot 20 °C te starten, een nadere onderbouwing aan te leveren van de maximale injectiedruk die geldt bij een injectietemperatuur van 20 °C.

Ik verwacht u hiermee van dienst te zijn geweest.

Met vriendelijke groet,



A small rectangular grey box used to redact the name of the official.

Hoofd Adviesgroep Economische Zaken en Klimaat

Datum
16 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.058

Blad
6/32

Bijlage 1: geotechnische evaluatie winningsplan geothermie Kampen

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 betreffende het winningsplan voor het geothermiesysteem Kampen. In deze rapportage worden de resultaten en bevindingen van de door TNO-AGE uitgevoerde evaluatie beschreven.

1. Configuratie aardwarmtesysteem

Het aardwarmtesysteem Kampen, bestaande uit een productieput (KKP-GT-01) en een injectieput (KKP-GT-02) is sinds 2012 in productie. Het systeem is gericht op de watervoerende zandsteenlagen van de Slochteren Formatie. Een schematisch overzicht van het systeem wordt gepresenteerd in Figuur 3 [1] en van de putten in Figuur 6 en 7 [1]. De gewonnen warmte wordt gebruikt door glastuinbouwbedrijven.

2. Toekomstige uitbreidingen

De vergunninghouder is voornemens om in 2020 het aardwarmtesysteem uit te breiden met een additionele productieput. Ter onderbouwing hiervan heeft de vergunninghouder een concept putontwerp als bijlage toegevoegd aan het winningsplan [2]. De bijdrage van deze extra productieput heeft de vergunninghouder opgenomen in de productieprognose (Tabel 10 in [1]) door de verwachte energieopbrengst vanaf 2021 te verdubbelen van de huidige 150000-170000 GJ naar 350000 GJ per jaar.

In de lange termijn productieprognose (Tabel 12 en Figuur 16 in [1]) verhoogt de vergunninghouder de hoeveelheid geproduceerde energie vanaf 2024 van 350000 naar 400000 GJ per jaar, terwijl de hoeveelheid mee geproduceerd gas gelijk blijft. Dit is gerelateerd aan de geplande toevoeging van een warmtepomp aan het systeem, die het geproduceerde water verder uitkoelt tot 20°C. Daarna wordt opnieuw een verhoging van de productie van energie (400000 naar 600000 GJ per jaar) en gas (660000 naar 950000 m³/jaar) gerapporteerd vanaf 2027, welke is gerelateerd aan de mogelijke uitbreiding van het systeem met een tweede doublet. In totaal beschrijft de vergunninghouder dus drie toekomstige uitbreidingen in het winningsplan:

- 1) een tweede productieput in 2021,
- 2) extra uitkoeling tot 20 °C vanaf 2024, en
- 3) een extra doublet in 2027.

TNO-AGE neemt de additionele productieput en verdere uitkoeling tot 20°C (toekomstige situatie) mee in de modelberekeningen en de evaluatie van de SHRA. De uitbreiding van het systeem met een extra doublet wordt niet meegenomen in de evaluatie van het huidige winningsplan. In het winningsplan is onvoldoende informatie over dit tweede doublet gegeven om een adequate evaluatie uit te

kunnen voeren. De vergunninghouder heeft deze ook niet meegenomen in de SHRA. Daarnaast bestaat de mogelijkheid dat het een individueel systeem wordt, waarvoor een separaat winningsplan nodig is.

- Huidige situatie: productie/injectie via 2 putten bij 30 °C injectietemperatuur.
- Toekomstige situatie: productie/injectie via 3 putten bij 20 °C injectietemperatuur.

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 reservoirmodellerings. Indien tot andere inzichten is gekomen wordt dat in dit hoofdstuk beschreven.

3.1 Putgegevens

De door de aanvrager in paragraaf 3.4 [1] gerapporteerde putgegevens, m.b.t. locaties en architectuur, komen overeen met die in de End Of Well Reports (EOWR) van beide putten. TNO-AGE heeft deze gegevens overgenomen voor de modelberekeningen.

In 2017 zijn in de productieput de ESP en productietubing vervangen, en is een inhibitorlijn geïnstalleerd om de putintegriteit te verbeteren. In juni 2018 is vervolgens 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.

3.2 Reservoirgegevens

In paragraaf 3.6 van [1] worden de reservoir eigenschappen beschreven. Tabel 4 [1] geeft de reservoir parameterwaarden zoals die op basis van putgegevens is bepaald voor KKP-GT-01 en -02. Daarnaast wordt voor de nieuwe put KKP-GT-03 een prognose opgevoerd. Tabel 5 [1] geeft de gemiddelde aquifer parameterwaarden, met spreiding, voor het project gebied en voor de reservoir modellerings. Deze zijn door TNO-AGE geëvalueerd, en zo nodig aangepast o.b.v. eigen analyses, alvorens ze gebruikt zijn voor de reservoirmodellerings. De putgegevens, zoals door TNO-AGE gebruikt voor de reservoirmodellerings, zijn gegeven in Tabel 1.

Diepte en bruto dikte

De vergunninghouder presenteert in het winningsplan een top reservoir dieptekaart (Figuur 10 [1]) en bruto diktekaart (Figuur 11 [1]) uit 2017, die zijn aangepast o.b.v. de reservoirdiepte en -dikte zoals aangetroffen in de twee putten van het doublet. In 2013 heeft TNO-AGE een stratigrafische interpretatie uitgevoerd in het kader van de behandeling van de claim op het Garantiefonds voor dit project. Dit resulteerde in een top reservoir diepte en bruto dikte die in beide putten van het doublet licht afwijken van de waarden gegeven in Tabel 4 van [1].

Netto/bruto verhouding

De vergunninghouder geeft in Tabel 4 [1] een netto-bruto waarde van 65% voor beide putten. TNO-AGE heeft de netto/bruto verhouding zelf bepaald o.b.v. de

Datum
16 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.058

Blad
8/32

logmetingen in beide putten en komt op licht afwijkende waarden (zie Tabel 1). De netto/bruto waarden in Tabel 1 zijn door TNO-AGE gebruikt voor de modelberekeningen.

Porositeit

De door de vergunninghouder bepaalde porositeitwaarden (Tabel 4 in [1]), o.b.v. petrofysische analyses, wijken af van de door TNO-AGE bepaalde porositeitwaarden (Tabel 1). Opvallend is dat de door de vergunninghouder bepaalde porositeit van put KKP-GT-01 significant hoger is dan van put KKP-GT-02, terwijl zowel de puttesten als productiedata (productiviteitsindex vs injectiviteitsindex genormaliseerd naar viscositeit) lijken te wijzen op betere reservoir eigenschappen bij KKP-GT-02.

Voor de modelberekeningen is TNO-AGE uitgegaan van de porositeitwaarden zoals gegeven in Tabel 1. Net zoals de vergunninghouder stelt TNO-AGE de reservoir eigenschappen van de toekomstige producer KKP-GT-03 gelijk aan die van de huidige producer.

Permeabiliteit

In Tabel 4 [1] wordt een permeabiliteit gegeven o.b.v. petrofysische en puttest analyses. De petrofysische permeabiliteit gerapporteerd door de vergunninghouder stamt uit 2011. Opmerkelijk is dat een petrofysische permeabiliteit van 240 mD gegeven wordt voor de put KKP-GT-03, terwijl deze nog niet geboord is. Bovendien is deze permeabiliteit hoger dan die van put KKP-GT-01, terwijl dezelfde porositeit wordt verwacht. De waarden voor KKP-GT-01 en -02 zijn significant lager dan de permeabiliteit recentelijk bepaald door TNO-AGE (Tabel 1) o.b.v. een petrofysische analyse. Dit is met name te wijten aan een verschil in porositeit en het gebruik van een andere porositeit-permeabiliteit relatie. De resultaten van TNO-AGE (Tabel 1) lijken nu beter aan te sluiten bij de resultaten van de puttesten.

De permeabiliteitwaarden o.b.v. de puttesten in Tabel 4 [1] zijn niet goed berekend door de vergunninghouder. Het resultaat van een puttest is de transmissiviteit, die omgerekend kan worden naar een permeabiliteit door te delen door de netto dikte. De vergunninghouder heeft de transmissiviteit gedeeld door de bruto dikte, wat resulteert in een te lage permeabiliteitwaarde. Bij een juiste omrekening is de permeabiliteit o.b.v. de puttestresultaten van de vergunninghouder 270 en 320 mD voor respectievelijk KKP-GT-01 en KKP-GT-02. Die herrekenende waarden passen beter bij de spreiding gegeven in Tabel 5 [1] en de puttest resultaten van TNO-AGE. TNO-AGE heeft de puttesten van beide putten van het doublet geanalyseerd en presenteert de resulterende permeabiliteitwaarden in Tabel 1. TNO-AGE beschouwt de puttest permeabiliteit als meest representatief voor het reservoir en gebruikt deze voor de reservoirmodellering.

Saliniteit formatiewater

De vergunninghouder geeft in Tabel 6 [1] een formatiewater samenstelling met een concentratie (TDS - Total Dissolved Solids) van 230000 mg/l. De dichtheid van het water is 1,13 g/l, maar er is niet aangegeven bij welke temperatuur deze is bepaald. Er wordt ook geen gegeven van de gerapporteerde samenstelling. Indien dit de uitkomst is van periodieke watermetingen uitgevoerd in het kader van het

Datum
16 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.058

Blad
9/32

monitoringsbeleid van het project, beschouwt TNO-AGE dit als een betrouwbare bron van informatie. Nu blijft dit echter onzeker.

TNO-AGE beschikt over een rapport waarin de watersamenstelling metingen van drie monsters worden gegeven, twee monsters van KKP-GT-01 en één monster van KKP-GT-02. Deze drie metingen tonen een TDS van ca. 208000 mg/l (+/- 2000 mg/l) en een dichtheid van 1,14 g/l bij 24°C. Deze concentratie is ca. 10% minder dan wat de vergunninghouder in het winningsplan (Tabel 6 in [1]) rapporteert. De concentratie in NaCl equivalent, overeenkomstig met een TDS van 208000 mg/l, is ca. 175000 ppm. Omdat DoubletCalc de concentratie in NaCl equivalent gebruikt is deze laatste waarde gebruikt voor de modelberekeningen. TNO-AGE vindt het opmerkelijk dat de vergunninghouder ook een NaCl concentratie van 175000 ppm (TDS $\pm$ 208000 mg/l) gebruikt als invoer voor het DoubletCalc2D model (Bijlage 3 van [1]), terwijl in Tabel 6 [1] een TDS concentratie van 230000 mg/l wordt gegeven.

Temperatuur

In paragraaf 3.5 stelt de vergunninghouder dat de geothermische gradiënt 3,1 °C per 100 m is en dat de temperatuur daarom tussen de 65,5 en 70,1 °C is aan de top van de Slochteren Fm. Deze temperatuur komt echter niet overeen met de (mid-)reservoirtemperatuur van ca. 74 °C die de vergunninghouder geeft in Tabel 4 [1]. De maandelijks gerapporteerde productietemperatuur is ook ca. 74°C, maar aangezien deze aan de oppervlakte wordt gemeten heeft er al enige afkoeling plaatsgevonden van het reservoir naar de oppervlakte. De geothermische gradiënt die hoort bij een temperatuur van ca. 74 °C aan de oppervlakte is volgens DoubletCalc1D 3,47 °C per 100 m. TNO-AGE gebruikt een temperatuur van 75 °C voor de reservoirmodellering in DoubletCalc2D en een geothermische gradiënt van 3,47 °C per 100 m voor de modellering in DoubletCalc1D.

Aquiferdruk

De door de vergunninghouder opgegeven reservoirdruk op top-reservoirdiepte is 196 bar. De berekende hydrostatische druk op deze diepte is 192 bar. De vergunninghouder meldt dat er een overdruk van 4 bar aanwezig is in het reservoir. In een rapportage [3] die de vergunninghouder heeft aangeleverd ter onderbouwing van het verzoek om verhoging van de maximale injectiedruk wordt uitgegaan van een reservoirdruk van 203 bar. Dit zou betekenen dat het reservoir een overdruk van 11 bar heeft t.o.v. de hydrostatische druk. Deze waarde van 203 bar is door de vergunninghouder ook in een eerdere versie van het winningsplan gebruikt. De bepaling van de reservoirdruk op deze locatie is nog met een bepaalde onzekerheid omgeven omdat er geen drukmeting op reservoirniveau is uitgevoerd. Alle tot op heden bij TNO-AGE bekende reservoirdrukken zijn extrapolaties van drukmetingen hoog in het boorgat (b.v. nabij de ESP). TNO-AGE gaat vooralsnog uit van de reservoirdruk van 196 bar zoals vermeld in het winningsplan [1].

Datum
16 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.058

Blad
10/32

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
	KKP-GT-01	KKP-GT-02	KKP-GT-01	KKP-GT-02	
Diepte top reservoir (mTVD)	1855	1846	1859	1850	Diepte en bruto dikte TNO-AGE o.b.v. stratigrafische interpretatie in kader RNES claim.
Bruto dikte (m)	92	76	91,3	73,8	
Netto dikte (m)	59,8	49,4	63	49,7	Waarden TNO-AGE o.b.v. eigen herinterpretatie 2019.
Netto-bruto (%)	65	65	69	67,4	
Porositeit (%)	18,3	16,8	17,3	19,2	Hogere porositeit TNO-AGE door andere aanname matrixdichtheid.
Permeabiliteit petrofysica (mD)	170	120	270	350	Permeabiliteit TNO-AGE o.b.v. eigen herinterpretatie 2019.
Transmissiviteit puttest (Dm)	16,1	15,8	17,5	17,3	Transmissiviteit TNO-AGE o.b.v. eigen herinterpretatie 2019.
Permeabiliteit puttest (mD)	175 (270)	207 (320)	280	345	Permeabiliteit vergunninghouder niet goed afgeleid van puttest transmissiviteit.
Skin puttest (-)	0,22	1,85	7	6,7	

3.3 Productiegegevens en productieprognose

De gegevens die de vergunninghouder in Tabel 9 [1] geeft karakteriseren de productie van het geothermisch systeem, inclusief de uitbreiding met een tweede productieput, onder beoogde standaard operationele condities. De getallen genoemd in Tabel 9 [1] komen overeen met de productieprognose in de overige figuren en tabellen in deze paragraaf.

In Tabel 10 en Figuur 13 [1] wordt de historische productie van het systeem gegeven. TNO-AGE heeft deze vergeleken met de door de vergunninghouder wettelijk aangeleverde productiedata. Hieruit blijkt dat de productie in 2012 niet door de vergunninghouder is aangeleverd bij TNO-AGE. Voor de totale productie in de overige jaren is het verschil tussen dat wat gerapporteerd wordt in [1] en wat is aangeleverd bij TNO zeer minimaal (<0,1%).

Het debiet van 260 m³/uur in Tabel 9 [1] betreft het gemiddelde jaardebiet. Uit de aangeleverde toekomstige productiedata (Tabel 11 en Figuur 15 in [1]) 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 maandelijkse debiet (m³/uur) berekend o.b.v. de maandelijkse hoeveelheid geproduceerd water (m³) en één twaalfde van het aantal jaarlijkse vollasturen zoals door de vergunninghouder beschreven in Tabel 11 [1] resulteert, voor de toekomstige triplet configuratie (2021), in een maximaal debiet van ca. 320 m³/uur en een minimaal debiet van ca. 135 m³/uur. Dit is een verdubbeling ten opzichte van de gerealiseerde variabele maand-debieten in het huidige doublet: max. 150 resp. min. 70 m³/uur zoals blijkt uit de historische productie.

Om te bezien of de opgelegde injectiedruk benodigd voor het gewenste debiet in de nieuwe triplet configuratie binnen de maximaal toegestane injectiedruk valt is het

Datum
16 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.058

Blad
11/32

aan te raden dat, als de nieuwe situatie gerealiseerd is na het boren van de tweede productieput, de vergunninghouder de nieuwe systeemconfiguratie gedurende een beperkte periode test, met inachtneming van de op dat moment geldende maximale injectiedruk.

De vergunninghouder hanteert in het winningsplan een maximale injectiedruk (THP) van 75 bar (Tabel 9 in [1]) zoals onderbouwd in een rapportage door IF Technology [4] en vastgelegd in het WABO besluit [5]. Deze maximale injectiedruk geldt bij een injectietemperatuur van 35°C.

De vergunninghouder is van plan om vanaf 2024 het geproduceerde water verder af te koelen tot 20°C middels een warmtepomp. De vergunninghouder gaat niet in op de vraag of deze toekomstige injectietemperatuurverlaging binnen de huidige WABO vergunning mogelijk is en geeft hiervoor geen nadere onderbouwing. TNO-AGE verwacht dat de lagere temperatuur van het geïnjecteerde water de maximale injectiedruk (THP) zal beïnvloeden. TNO-AGE acht dit niet relevant voor de huidige doubletconfiguratie, aangezien de maximaal opgelegde injectiedruk ruim onder de 75 bar en zelfs ruim onder de maximale injectiedruk (THP) van 43 bar volgens het huidig geldende SodM protocol [6] ligt. Echter, voor de toekomstige nieuwe systeemconfiguratie en debieten acht TNO-AGE het wenselijk dat, alvorens de verdere uitkoeling tot 20 °C te starten, de vergunninghouder een nadere onderbouwing aanlevert van de maximale injectiedruk die opportuun is bij een injectietemperatuur van 20 °C.

In Tabel 9 [1] geeft de vergunninghouder aan 0,015 l/m³ inhibitorvloeistof in te brengen. Dit komt overeen met de hoeveelheid ingebrachte inhibitor zoals gerapporteerd in Tabel 10 [1].

Gedurende het productieproces vindt bijvangst van opgelost aardgas plaats. De vergunninghouder vermeldt in het winningsplan [1] dat deze bijvangst ca. 0,3 m³ gas per m³ water is. Hetgeen in lijn is met de gerapporteerde productiedata waaruit blijkt dat de verhouding tussen geproduceerd gas en water 0,27 m³/m³ is. Vergunninghouder stelt dat dit gas wordt afgevangen en gebruikt in stookinstallaties.

4. Modelleren aardwarmteproductie

De vergunninghouder presenteert in Figuur 19 en 20 van [1] het resultaat van een reservoir modellering van het geothermisch systeem Kampen o.b.v. DoubletCalc2D. De modellering is enkel uitgevoerd voor het toekomstige systeem, met een tweede productieput, en voor een periode van 30 jaar. De vergunninghouder gebruikt daarom een gemiddeld debiet van 260 m³/uur.

TNO-AGE heeft een DoubletCalc1D en DoubletCalc2D berekening uitgevoerd van zowel het huidig gerealiseerde systeem (doublet) als het toekomstig geplande systeem met een extra productieput (triplet) en extra uitkoeling. De invoerwaarden zijn deels overgenomen van de in het winningsplan [1] gerapporteerde put- en reservoirgegevens. 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 de modelberekeningen zijn vergeleken met de reeds beschikbare productiedata.

4.1 DoubletCalc 1D

Huidige systeemconfiguratie (doublet)

Als eerste heeft TNO-AGE een DoubletCalc1D scenario opgesteld dat het huidige gerealiseerde systeem representeert. De uitvoer van dit scenario is gegeven in Figuur 4. 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 van ca. 130 m³/uur wordt berekend. De resultaten in termen van vermogen en druk sluiten goed aan bij de aangeleverde productiedata en ook de ingevoerde skins komen goed overeen met de skins die volgen uit een analyse door TNO-AGE van de productiedata.

Toekomstige systeemconfiguratie (triplet met extra uitkoeling)

TNO-AGE heeft ook voor het toekomstige systeem, met een tweede productieput, een DoubletCalc1D scenario berekend (Figuur 5) om een inschatting te kunnen maken van het verwachte vermogen bij een gemiddeld debiet van ca. 260 m³/uur en een indicatie van de injectiedruk op reservoirdiepte. Daartoe is het totale pompdrukverschil verhoogd naar 163 bar. Echter, omdat DoubletCalc1D uitgaat van een doubletconfiguratie dient de tweede productieput in de vorm van een additionele negatieve skin te worden meegenomen. De skin van de productieput is zo gekozen dat, bij het verhoogde pompdrukverschil en dus een verdubbeling van het debiet, de productiedruk op reservoirdiepte ongeveer gelijk blijft aan de productiedruk in de doubletconfiguratie. 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 dit scenario is 12,4 MW en de injectiedruk op reservoirdiepte komt uit op ca. 60 bar. Dit is wel in lijn der verwachting, aangezien het ongeveer een verdubbeling is van het huidige gerealiseerde vermogen en de huidig opgelegde injectiedruk op reservoirdiepte.

In 2024 is de vergunninghouder voornemens om het geïnjecteerde water verder uit te koelen tot 20°C. Dit heeft gevolgen voor het vermogen en de injectiedruk. Een benadering van het scenario waarbij tot 20°C wordt uitgeoeld is gegeven in Figuur 6. Hierbij wil TNO-AGE dezelfde kanttekening plaatsen m.b.t. de onzekerheid van de uitkomsten als bij het triplet scenario bij uitkoeling tot 30°C (Figuur 5). Het verwachte resulterende vermogen bedraagt ca. 15,1 MW en de injectiedruk die daarvoor nodig zou zijn is ca. 71 bar.

4.2 DoubletCalc2D

Bij het opstellen van een DoubletCalc2D model is TNO-AGE uitgegaan van twee scenario's; een voor de huidige (doublet) en een voor de toekomstige systeemconfiguratie (triplet met extra uitkoeling). Dit in tegenstelling tot de

vergunninghouder, die enkel voor de toekomstige systeemconfiguratie een model heeft opgesteld.

De vergunninghouder heeft constante waarden gebruikt voor de invoer van het model (Bijlage 3 van [1]). De keuze voor deze invoerwaarden is grotendeels gelijk aan die gegeven in Tabel 5 [1] op de porositeit na. De gegeven waarden betreffen niet de gemiddelden gegeven in Tabel 4 [1] gegeven reservoir eigenschappen. De bruto dikte en permeabiliteit komen overeen met de waarden die door de vergunninghouder worden verwacht in de toekomstige put KKP-GT-03, maar zijn hoger dan het gemiddelde van de reeds geboorde putten.

TNO-AGE gebruikt grids als invoer voor DoubletCalc2D, welke zijn gemaakt door interpolatie van de putwaarden zoals gegeven in Tabel 1.

In Figuur 19 en 20 in [1] presenteert de vergunninghouder het resultaat van zijn reservoirmodel na 30 jaar productie. Echter, de productie is reeds 2 jaar voor toekenning van de winningsvergunning gestart. De totale productietijd van productiestart tot het einde van de winningsvergunningstermijn, en dus het winningsplan, is daarom 32 jaar i.p.v. 30 jaar. TNO-AGE presenteert in de figuren in Bijlage 2 het resultaat na 32 jaar productie en dus aan het werkelijke eind van de huidige winningsvergunningstermijn.

TNO-AGE neemt aan dat de breuken in het gebied, zoals geïnterpreteerd in Figure 3.6 in [7], afsluitend zijn en neemt deze mee in het DoubletCalc2D scenario. De vergunninghouder heeft geen breuken meegenomen in het model. De aanname dat deze breuken afsluitend zijn is o.b.v. de puttest interpretatie aangeleverd door de vergunninghouder (Bijlage 1 van [7]), waarin wordt beschreven dat in de puttest van KKP-GT-01 een barrière te zien is die mogelijk wijst op een afsluitende breuk. Dit is mogelijk de breuk net ten noorden van deze put. De vergunninghouder beargumenteert in [7] dat de breuk ten zuiden van KKP-GT-01 (grijze stippellijn in Figuur 7 in Bijlage 2) onjuist geïnterpreteerd is en waarschijnlijk niet aanwezig. TNO-AGE heeft de seismiek in dit gebied bekeken en kan zich vinden in de argumentatie van de vergunninghouder. Deze breuk is daarom ook door TNO-AGE niet meegenomen in de modellering.

Huidige systeemconfiguratie (doublet)

TNO-AGE heeft een DoubletCalc2D scenario opgesteld voor de huidige systeemconfiguratie, waarin de historische productie alsmede een productieprognose o.b.v. een gemiddeld debiet van 130 m³/uur is aangenomen. 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 gedurende de resterende vergunningsduur (tot 7 november 2044) nog wordt geproduceerd, uitgaande van een gemiddelde debiet van 130 m³/uur, is ca. 35,3 miljoen m³. Vanaf 1 januari 2019 betekent dit een jaarlijks geproduceerd watervolume van ca. 1,14 miljoen m³.

Datum
16 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.058

Blad
14/32

In Bijlage 2 wordt het resulterende beïnvloedingsgebied m.b.t. temperatuur (Figuur 7) en druk (Figuur 8) gepresenteerd aan het eind van de duur van de winningsvergunning in 2044. Daaruit is op te maken dat op dat moment de koudwaterbel de productieput nog niet bereikt heeft. Het modelresultaat toont aan dat het 73 jaar duurt totdat er 1°C afkoeling op de vergunningsgrens optreedt en ruim meer dan 80 jaar totdat doorbraak van koud water in de productieput plaatsvindt. Dit resultaat komt niet geheel overeen met het de uitkomsten van het DoubletCalc2D model t.b.v. het advies [8] voor de winningsvergunningaanvraag (na 55 jaar afkoeling van 1°C op de vergunningsgrens). Dit komt doordat het gemiddelde debiet in het winningsplan lager is dan opgegeven bij de winningsvergunningaanvraag en omdat een hogere porositeit (resultaat van herevaluatie TNO-AGE) is gebruikt voor de huidige modellering.

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 [9] en dient in het algemeen nader te worden onderzocht. TNO-AGE wil wel opmerken dat de modelresultaten (Figuur 7 in Bijlage 2) aantonen dat tegen het einde van de huidige duur van de winningsvergunning (30 jaar) de koudwaterbel de dichtstbijzijnde breuken bereikt. De mate van afkoeling op deze breuken is op dat moment naar verwachting minder dan 5°C.

De beïnvloeding van de reservoirdruk door het productieproces is weergegeven in Figuur 8 in Bijlage 2. Hieruit valt op te maken dat het verschil ten opzichte van de statische reservoirdruk buiten de huidige vergunningsgrens beperkt is tot maximaal ca. 3 bar. Het effect van de injectieput op de dichtstbijzijnde breuken lijkt ook beperkt te zijn tot ca. 3 bar t.o.v. de statische reservoirdruk. De drukinvloed van de productieput op de dichtstbijzijnde breuk is aanzienlijk groter door de kortere afstand tot de breuk. In zijn algemeenheid lijkt een hoger drukverschil opgelegd door de productieput breuken stabiel te maken.

Toekomstige systeemconfiguratie (triplet met extra uitkoeling)

In het model voor de toekomstige systeemconfiguratie is de historische productie meegenomen, alsmede de productiestart van de tweede producer in 2021 en een verdere uitkoeling tot 20°C vanaf 2024.

Omdat DoubletCalc2D ervan uitgaat dat een systeem het hele jaar draait (dus 8760 operationele uren) is voor de afgelopen jaren het gemiddelde debiet berekend door de hoeveelheid geproduceerd water te delen door 8760 uur. Voor de resterende productietijd is de door de vergunninghouder opgegeven totaal te produceren hoeveelheid water per jaar gedeeld door 8760 uur om tot een gemiddeld debiet van ca. 250 m³/uur te komen. Deze omrekening naar 8760 operationele uren heeft de vergunninghouder niet gedaan voor het doorrekenen van het model. De vergunninghouder gebruikt een debiet van 260 m³/uur, dat hoort bij 8600 operationele uren. Daarmee wordt de totaal te produceren hoeveelheid water en de uitbreiding van de koudwaterbel licht overschat.

De skin waarden kunnen niet worden bepaald o.b.v. gerealiseerde productiedata omdat de skin o.a. afhankelijk is van het debiet en de hoge debieten zoals geprognostiseerd voor de toekomst nog niet eerder gerealiseerd zijn. Vooral nog

Datum
16 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.058

Blad
15/32

neemt TNO-AGE aan dat de skins voor de gerealiseerde putten overeenkomen met de skin waarden die voor het model van de huidige situatie zijn gebruikt. Voor de nieuw te realiseren put is een skin van 0 gebruikt.

De hoeveelheid water die tot 1 januari 2019 is geproduceerd en gedurende de resterende vergunningsduur (tot 7 november 2044) nog wordt geproduceerd, uitgaande van een gemiddeld debiet van 251 m³/uur, is ca. 60,9 miljoen m³.

In Bijlage 2 wordt het resulterende beïnvloedingsgebied m.b.t. temperatuur (Figuur 10) en druk (Figuur 11) gepresenteerd aan het eind van de duur van de winningsvergunning in 2044. Daaruit is op te maken dat een afkoeling van 1°C op de vergunningsgrens 46 jaar na de productiestart wordt verwacht, dus in 2058. Verder toont het modelresultaat dat in 2044 de koudwaterbel de eerste productieput nog niet heeft bereikt, maar wel de toekomstige tweede productieput. Het moment van 1°C afkoeling in deze toekomstige put wordt verwacht in 2041, 29 jaar na de productiestart in 2012. Dit valt binnen de termijn van de winningsvergunning en het winningsplan, die in 2044 aflopen. Dit is echter niet echt relevant voor de continuering van de productie omdat grensoverschrijding pas in 2058 wordt verwacht en de vergunninghouder waarschijnlijk nog wel voor een bepaalde periode na 2041 kan produceren uit deze tweede productieput vanwege de economische minimale productietemperatuur die mogelijk een stuk lager ligt.

De modelresultaten van TNO-AGE (Figuur 10 in Bijlage 2) tonen aan dat tegen het einde van de huidige duur van de winningsvergunning (30 jaar) de koudwaterbel de dichtstbijzijnde breuken bereikt. De mate van afkoeling bij deze breuken is op dat moment naar verwachting ca. 5°C.

De beïnvloeding van het productieproces op de reservoirdruk is weergegeven in Figuur 11 in Bijlage 2. Hieruit valt op te maken dat het verschil ten opzichte van de statische reservoirdruk buiten de huidige vergunningsgrens beperkt is tot maximaal ca. 3 tot 4 bar. Daarnaast valt uit Figuur 11 op te maken dat de tweede productieput, die dicht bij de vergunningsgrens wordt geplaatst, geen significant hogere drukoverschrijding van de vergunningsgrens veroorzaakt. Het effect van de injectieput op de dichtstbijzijnde breuken lijkt ook beperkt te zijn tot ca. 4 bar t.o.v. de statische reservoirdruk. De invloed van de productieput op de dichtstbijzijnde breuk is aanzienlijk groter door de kortere afstand. In zijn algemeenheid lijkt een hoger drukverschil opgelegd door de productieput breuken stabiel te maken.

5. Bodemdaling

De vergunninghouder stelt in Hoofdstuk 5 in [1] dat er in de praktijk geen bodemdaling zal plaatsvinden door geothermische activiteiten omdat het systeem in massabalans-modus opereert. Hierbij wordt evenveel water geproduceerd als geïnjecteerd en blijft daardoor de reservoirdruk dus gelijk. Dit wordt volgens de vergunninghouder bevestigd door stijghoogtemetingen in de putten van het doublet, die geen verandering lijken te ondervinden gedurende de productietijd.

Er zijn echter ook andere effecten die invloed kunnen hebben op de reservoirdruk en het mogelijk optreden van compactie, waaronder het thermo-elastische effect.

Datum
16 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.058

Blad
16/32

Dat wil zeggen, compactie door afkoeling van het reservoir. Het effect hiervan zal daarom het grootst zijn in de nabijheid van de injectieput. De vergunninghouder heeft het resultaat van het DoubletCalc2D model aangeleverd waarin te zien is dat een bodemdaling van ca. 4 mm kan worden verwacht na 30 jaar productie. Hierbij is uitgegaan van 30 jaar productie met een debiet van 260 m³/uur.

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 aan het eind van de huidige winningsvergunning en het winningsplan en volgens het DoubletCalc2D model van TNO-AGE is gegeven in Figuur 9 (huidige situatie) en Figuur 12 (toekomstige situatie) in Bijlage 2. In de huidige situatie is de verwachte maximale bodemdaling ca. 2mm en in de toekomstige situatie ca. 4 mm. Het resultaat voor de toekomstige situatie komt goed overeen met het modelresultaat van de vergunninghouder. Dit is zoals verwacht omdat beiden DoubletCalc2D en een nagenoeg vergelijkbaar productieprofiel gebruiken voor de berekeningen.

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

De vergunninghouder beschrijft in paragraaf 4.4 in [1] dat er binnen de winningsvergunning Kampen geen interferentie plaatsvindt met andere mijnbouwactiviteiten en onderbouwt dit met een kaart van het omliggende gebied in Figuur 18 [1].

TNO-AGE kan zich vinden in deze conclusie van de vergunninghouder. Er zijn inderdaad geen mijnbouwactiviteiten in of nabij het winningsvergunningsgebied die interfereren met de geothermische activiteiten van het Kampen systeem.

Er is ook geen overlap van het winningsvergunningsgebied met beschermde gebieden als grondwaterbeschermingszones of waterwingebieden, zoals de vergunninghouder toont in Figuur 22 [1]. Het dichtstbijzijnde natuurgebied bevindt zich ca. 3 km van de projectlocatie. In de figuren in Bijlage 2 is te zien dat de gemodelleerde bodemdalingop die afstand nihil tot verwaarloosbaar is.

7. Seismische Hazard en Risico Analyse (SHRA)

Ten behoeve van het Winningsplan voor het geothermiesysteem Kampen [1] heeft de vergunninghouder een quickscan Seismische Hazard en Risico Analyse (SHRA) uit laten voeren door IF Technology BV. Het uitgangspunt voor deze analyse was de tijdelijke leidraad zoals opgesteld door Qcon en IF [9] en de door DAGO gepubliceerde toevoeging hierop [10]. De resultaten van deze quickscan zijn beschreven in [7].

Datum
16 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.058

Blad
17/32

De door de vergunninghouder aangeleverde SHRA is door TNO-AGE geëvalueerd. De resultaten van deze evaluatie worden in dit hoofdstuk beschreven. Waar de vergunninghouder maar één versie van de Quicksan scoretabel presenteert (voor de toekomstige situatie met een tweede productieput en extra uitkoeling), geeft TNO-AGE twee scenario's; één voor de huidige situatie (Tabel 5) en één voor de toekomstige situatie (Tabel 6). Dit omdat de toekomstige uitbreiding van het systeem leidt tot een hogere score.

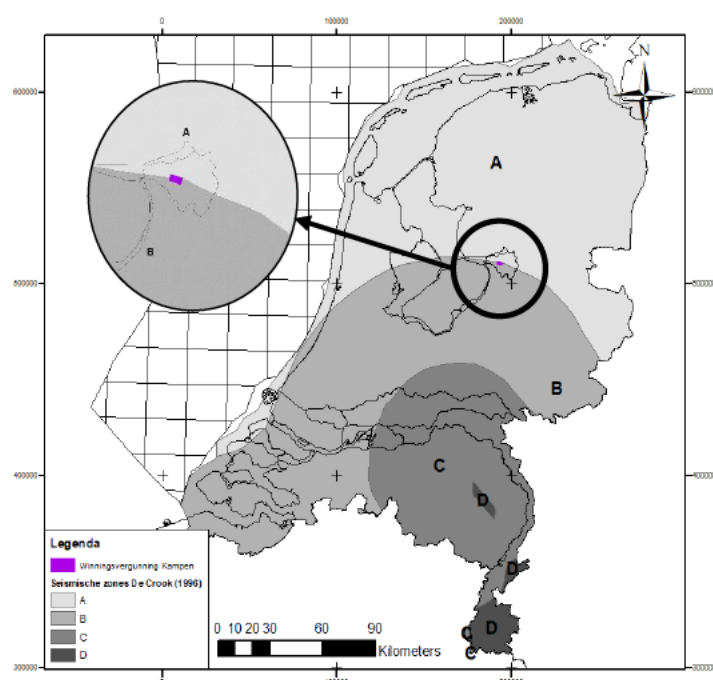
7.1 Eerste drie vragen beslisboom

De antwoorden van zowel de vergunninghouder als TNO-AGE op de eerste drie vragen van de beslisboom in de SHRA methodiek van Qcon en IF [9] worden gegeven in Tabel 2, alsmede een korte argumentatie.

Tabel 2: Beantwoording eerste drie vragen van beslisboom Qcon en IF SHRA methodiek [9].

Eerste drie vragen beslisboom	Antwoord		Argumentatie en opmerkingen TNO-AGE
	Vergunninghouder	TNO-AGE	
Is de afstand van het project tot een majeure breukzone <100 m of is het stromingsconcept gebaseerd op productie uit bestaande breuken?	nee	nee	Play type is "Hot sedimentary aquifer" en richt zich op matrix gedomineerde stroming. Figure 3.6 [7] toont dat project niet binnen 100m van majeure breukzone ligt.
Ligt het project in de tektonisch actieve Roerdalslenk?	nee	nee	Projectlocatie ligt op grens zone A en B volgens De Crook (1996), zie Figuur 1.
Wordt het project beïnvloed door het Groningen gasveld?	nee	nee	Project ligt meer dan 100 km verwijderd van Groningen gasveld.

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 Kampen t.o.v. seismische zones De Crook (1996).

Datum
16 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.058

Blad
18/32

Quickscan tabel

De bepaling van de score voor de 9 categorieën in de Quickscan tabel van de SHRA methodiek van Qcon en IF [9], door zowel de vergunninghouder als TNO-AGE, wordt gegeven in Tabel 3, alsmede een korte argumentatie. In paragraaf 7.3 wordt een meer uitgebreide onderbouwing gegeven voor de categorie “injectiedruk”.

Tabel 3: Overzicht van scores toegekend, door zowel vergunninghouder als TNO-AGE, aan de 9 categorieën van de Quickscan tabel in de SHRA methodiek van Qcon en IF [9].

Categoriën Quickscan tabel	Antwoord		Argumentatie en opmerkingen TNO-AGE
	Vergunninghouder	TNO-AGE	
Connectie met kristallijne basement? • Afstand tussen reservoir en kristallijn basement	2,5 km	>>3 km	Vergunninghouder verwijst naar put NAG-01 → 2,5 dieper dan top reservoir. Maar put LTG-01 (18 km van project) 3,2 km dieper dan top reservoir. Hoogstwaarschijnlijk dik pakket tussen basis LTG-01 en basement: Devoon, Siluur, Ordovicium en Cambrium. In Duitsland is Devoon 5 km dik en in België is Siluur-Cambrium ca. 13 km dik. In put O18-01 is Dinantien, Devoon en deels Siluur aangeboord met dikte 1,5 km.
Drukcommunicatie tussen productie- en injectieput? • Laterale afstand • Verticale afstand		Lateraal: 1600 m Verticaal: 10 m	Conform methode Qcon en IF [9] bestaat scorecategorie voor deze situatie niet (zie Figuur 2). Aanvulling scoretabel leidt tot score 3. Geen interferentietest uitgevoerd, maar individuele puttesten tonen geen barrière tussen productie- en injectieput. Productiedata bevestigen drukcommunicatie tussen putten en dus score 0.
Debiet? (m ³ /uur)	260	(160) 320	Vergunninghouder gebruikt gemiddeld jaardebiet voor score. Figuur 17 en Tabel 11 [1] tonen variabel maand-debiet. Maximaal toekomstig maanddebiet is ca. 320 m ³ /uur. In huidige doubletconfiguratie is maximaal debiet ca. 160 m ³ /uur obv productiedata
Injectiedruk? (MPa)	7,5	(3,2) 7,5	Vergunninghouder gaat uit van maximale THP injectiedruk zoals in WABO besluit [5]. Injectiedruk vergunninghouder niet gekoppeld aan maximaal debiet. Bepaling injectiedruk voor toekomstig maximaal debiet van 320 m ³ /uur erg onzeker door extrapolatie van bepalende parameters zoals skin. DoubletCalc1D resultaat toont injectiedruk op reservoirdiepte van 7,1 MPa. TNO-AGE gaat voorsnug uit van injectiedruk >7 MPa (additionele onderbouwing in paragraaf 7.3). Injectiedruk voor maximaal debiet van 160 m ³ /uur bij huidige doubletconfiguratie is ca. 3,2 MPa. Bepaald o.b.v. productiedata.
Afstand tot natuurlijke bevingen? (km)	10	10	Meest nabije natuurlijke beving bij Apeldoorn, op ca. 42 km afstand.
Afstand tot geïnduceerde bevingen? (km)	10	10	Meest nabije geïnduceerde beving ca. 36 km ten noorden.
Afstand tot natuurlijke breuken? (km)	0,5 – 1,5	0,6	Afstand bepaald o.b.v. breukinterpretatie door aanvrager (Figuur 3).
Oriëntatie van breuk t.o.v. huidig spanningsveld?		17°	Vergunninghouder zegt “shearing possible” (score 7), maar minimaal benodigd drukverschil is 27 bar, daarom toch score 3. Wordt niet goed onderbouwd. TNO-AGE: hoek tussen dichtstbijzijnde breuk en huidig spanningsveld (17°) (Figuur 3) → “favourable for shearing”
Netto geïnjecteerd volume? (x1000 m ³)	0 tot nihil	0 tot nihil	Systeem opereert in massabalans modus. Wordt evenveel formatiewater geïnjecteerd als geproduceerd. Injectie van inhibitor (0,15 l/m ³) is verwaarloosbaar.

Datum
16 oktober 2019

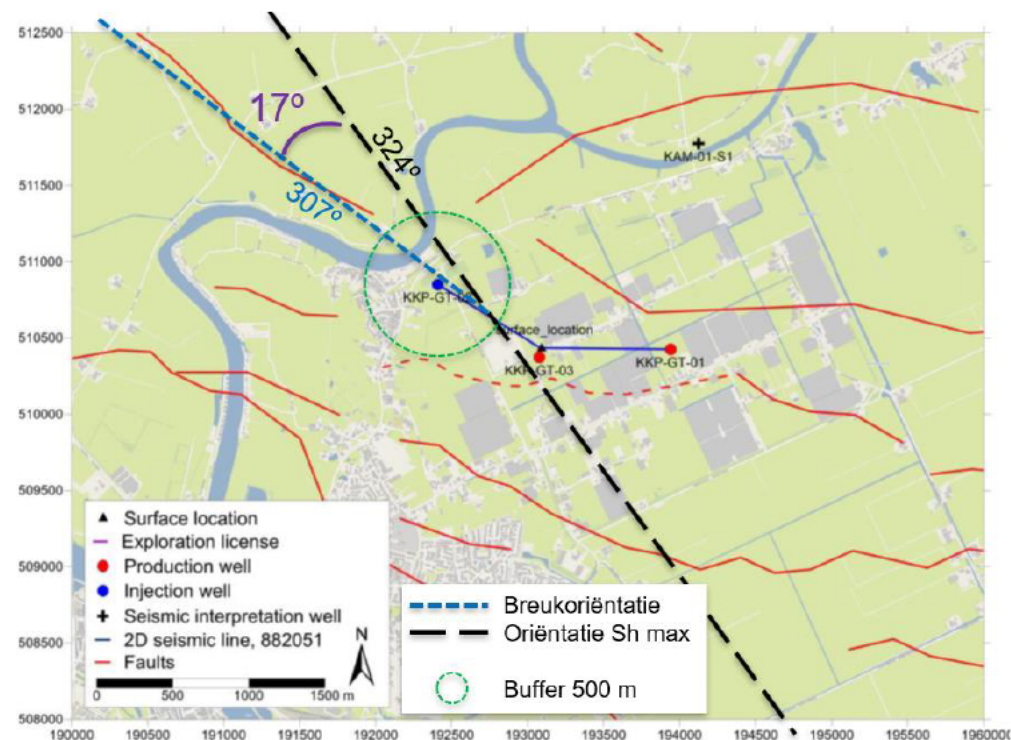
Onze referentie
AGE 10.10.058

Tabel 4: Antwoord op vraag in beslisboom in SRA methodiek van Qcon en IF [9].

Vraag in beslisboom m.b.t. opgetreden seismiteit.	Antwoord		Argumentatie en opmerkingen TNO-AGE
	Vergunninghouder	TNO-AGE	
Hebben bevingen (natuurlijk of geïnduceerd) plaatsgevonden in het geothermisch projectgebied?	nee	nee	Binnen het beïnvloedingsgebied van het geothermisch project hebben geen bevingen plaatsgevonden. Dichtstbijzijnde beving is geïnduceerde beving ca. 36 km ten noorden.

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

Figuur 2: Score-indeling voor de categorie “drukcommunicatie tussen de productie- en injectieput” volgens de SRA methodiek van Qcon en IF [9], omgezet in een tabel. De geel gemarkeerde cellen geven situaties die niet worden beschreven in de methodiek van Qcon en IF [9].



Figuur 3: Kaart met daarin de breukinterpretatie van de vergunninghouder, een bufferzone van 500m om de injectieput en de oriëntatie van de dichtstbijzijnde breuk i.r.t. de oriëntatie van de maximale spanningsrichting (Sh max).

Datum
16 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.058

Blad
20/32

7.2 *Additionele onderbouwing categorie injectiedruk*

TNO-AGE is het eens met de vergunninghouder dat het effect van de geplande uitbreiding van het systeem mee moet worden genomen in de SHRA en bepaalt de score voor de injectiedruk zowel voor de huidige als de toekomstige situatie.

Huidige situatie

De vergunninghouder geeft aan momenteel een gemiddeld debiet te hanteren van ca. 130 m³/uur. Uit bovenstaande paragraaf m.b.t. het debiet blijkt echter dat in de wintermaanden een maximaal debiet van 160 m³/uur gehanteerd wordt. Op basis van de door de vergunninghouder aangeleverde productiedata is een injectiedruk op reservoirdiepte van 32,4 bar berekend, horend bij een debiet van 160 m³/uur. Dit leidt tot een score van 3 in de Quickscan tabel.

Toekomstige situatie

In de toekomstige situatie wordt het door de vergunninghouder beoogde gemiddelde debiet verdubbeld. De injectiedruk op reservoirdiepte die nodig is om een dergelijk hoog debiet te genereren is niet simpelweg te bepalen door ook de injectiedruk te verdubbelen, omdat bij hogere debieten de relatie tussen debiet en injectiedruk hoogstwaarschijnlijk niet lineair is. Dit is o.a. gerelateerd aan het toenemende effect 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. 100-150 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.

TNO-AGE concludeert dat de injectiedruk op reservoirdiepte, horend bij het significant hogere toekomstige debiet, moeilijk te bepalen is door een erg onzekere extrapolatie van een aantal bepalende parameters. Ook de vergunninghouder heeft de maximale injectiedruk niet gerelateerd aan het maximale debiet, maar gaat uit van de maximale THP van 75 bar zoals bepaald in het rapport [4] ter onderbouwing van de maximale injectiedruk vastgelegd in het WABO besluit [5]. Deze maximale injectiedruk geldt bij een injectietemperatuur van 35°C, maar de vergunninghouder is voornemens om vanaf 2024 het geproduceerde water verder uit te koelen tot 20°C. Bij een injectietemperatuur van 20 °C zorgt de hogere dichtheid van het water voor een hogere druk in de put op reservoirdiepte, waardoor er minder ruimte is in de op te leggen injectiedruk. Daarnaast resulteert een verandering van de injectietemperatuur in spanningsveranderingen in het reservoir, die mogelijk invloed hebben op de maximale injectiedruk ter voorkoming van breukreactivatie.

TNO-AGE acht dit niet relevant voor de huidige doubletconfiguratie, aangezien de maximaal opgelegde injectiedruk ruim onder de 75 bar (THP) en zelfs ruim onder de maximale injectiedruk van 43 bar (THP) volgens het huidig geldende SodM protocol [6] ligt. Echter, gezien de toekomstige verdubbeling van het debiet is dit mogelijk wel relevant voor de uitbreiding van het systeem. De uitvoer van het DoubletCalc1D scenario (Figuur 6) toont namelijk een benodigde injectiedruk op reservoirdiepte van 71 bar bij een debiet van 260 m³/uur. De bijbehorende THP injectiedruk is 77 bar. Dit scenario kent nog wel een aantal onzekerheden zoals de skinwaarde bij het toekomstig debiet en de verdiscontering van een tweede (nog niet gerealiseerde) productieput in de vorm van een negatieve skin. Vanwege de

onzekerheid omtrent de maximaal benodigde injectiedruk van het toekomstige systeem kent TNO-AGE vooralsnog een score van 10 toe aan deze categorie in de Quickscan scoretabel.

7.3 *Resultaat Quickscan scoretabel*

Resultaat vergunninghouder

De vergunninghouder heeft de Quickscan scoretabel ingevuld, rekening houdend met de toekomstige realisatie van een tweede productieput, en komt daarbij tot een genormaliseerde score van 0,32. 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. Dit is gedaan voor zowel de huidige situatie (Tabel 5) als voor de toekomstige situatie (Tabel 6) met een tweede productieput. Daarnaast geeft TNO-AGE voor de huidige situatie, naast de score strikt volgens de Qcon en IF methodiek [9], 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 [9], is 0,24. De door TNO-AGE bepaalde alternatieve score is 0,21. Beide scores zijn lager dan de grenswaarde van 0,33 en indiceren dus een laag potentieel voor het induceren van seismiciteit.

De genormaliseerde score voor de toekomstige situatie is volgens TNO-AGE 0,37. Het verschil met de huidige situatie wordt verklaard door het hogere debiet, de hogere injectiedruk en de niet-bewezen drukcommunicatie tussen de toekomstige productieput en de huidige putten. Deze score is iets hoger dan de grenswaarde van 0,33, waardoor dit project in de toekomst mogelijk een gemiddeld potentieel heeft op het induceren van seismiciteit.

TNO-AGE adviseert EZK om de vergunninghouder een update van de Quickscan tabel aan te laten leveren op het moment dat de tweede productieput geboord is. Volgens de huidige planning van de vergunninghouder is dit in 2021. Op dat moment kan met meer zekerheid bepaald worden wat het totale haalbare debiet is van het triplet, welke injectiedruk nodig is om dat debiet te injecteren en of deze binnen de maximale injectiedruk valt. Daarnaast kan d.m.v. interferentietesten worden aangetoond of er drukcommunicatie is tussen de toekomstige put en de huidige putten. Afhankelijk van deze resultaten kan de uit de Quickscan resulterende score wijzigen.

Datum
16 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.058

Blad
22/32

Tabel 5: Resultaat Quicksan scoretabel voor de huidige situatie met twee putten. De vergunninghouder heeft voor deze situatie geen score gegeven. *TNO-AGE geeft een alternatieve score omdat voor de categorie "drukcommunicatie tussen productie- en injectieput" wordt afgeweken van de Qcon en IF methodiek [9], 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	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
TNO-AGE	0	3	3	3	0	0	3	10	0	22	0.24
TNO-AGE alternatief*	0	0	3	3	0	0	3	10	0	19	0.21

Tabel 6: Resultaat Quicksan scoretabel voor de toekomstige situatie met drie putten.

Score	Connectie met basement	Drukcommunicatie tussen productie- en injectieput	Injectiedruk	Debiet	Afstand tot natuurlijke aardbevingen	Afstand tot geïnduceerde aardbevingen	Afstand tot breuken	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
Vergunninghouder	3	3	10	7	0	0	3	3	0	29	0.32
TNO-AGE	0	3	10	7	0	0	3	10	0	33	0.37

Datum
16 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.058

Blad
23/32

8. Conclusies

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

- De vergunninghouder stelt drie toekomstige uitbreidingen voor: 1) een tweede productieput in 2021, 2) extra uitkoeling tot 20 °C vanaf 2024, en 3) een extra doublet in 2027. TNO-AGE gaat bij de beoordeling van het winningsplan alleen uit van de eerste twee uitbreidingen omdat de derde nog niet concreet gerapporteerd is en mogelijk een separaat winningsplan vereist.
- TNO-AGE heeft voor de modelberekeningen onderscheid gemaakt tussen de huidige situatie (doublet) en toekomstige situatie (triplet met extra uitkoeling). De uitkomsten van de DoubletCalc2D modellering door TNO-AGE kunnen als volgt worden samengevat:

Huidige situatie:

- Vanaf de productiestart tot het einde van de huidige winningsvergunning en winningsplan wordt naar verwachting ca. 35,3 miljoen m³ water geproduceerd.
- Afkoeling van 1 °C op de vergunningsgrens treedt naar verwachting pas op na 73 jaar, en dus buiten de huidige vergunningsduur.
- Doorbraak van de koudwaterbel in de productieput duurt >80 jaar vanaf de productiestart.
- Afkoeling bij dichtstbijzijnde breuken is beperkt tot <5 °C.
- Drukveranderingen buiten de vergunningsgrens en bij de dichtstbijzijnde breuken zijn beperkt tot ca. 3 bar.
- De verwachte bodemdaling aan het eind van de vergunningsduur is ca. 2 mm, en dus zeer beperkt.

Toekomstige situatie:

- Vanaf de productiestart tot het einde van de huidige winningsvergunning en winningsplan wordt naar verwachting ca. 60,9 miljoen m³ water geproduceerd.
- Afkoeling 1 °C op de vergunningsgrens treedt naar verwachting op na 46 jaar, en dus buiten de huidige vergunningsduur.
- Doorbraak van de koudwaterbel in de tweede productieput treedt naar verwachting al op na 29 jaar sinds de productiestart, dus in 2041. Doorbraak in eerste productieput duurt waarschijnlijk >80 jaar.
- Afkoeling bij dichtstbijzijnde breuken is beperkt tot ca. 5 °C.
- Drukveranderingen buiten de vergunningsgrens zijn beperkt tot 3 – 4 bar en bij de dichtstbijzijnde breuken tot ca. 4 bar.
- De verwachte bodemdaling aan het eind van de vergunningsduur is ca. 4 mm, en dus zeer beperkt.

- De injectiedruk op reservoirdiepte, die nodig is voor het toekomstig geplande debiet van 260 m³/uur, kan momenteel niet met zekerheid bepaald worden door een significante onzekerheid in de extrapolatie van een aantal bepalende factoren zoals de skin. De vergunninghouder gebruikt de maximale THP van 75 bar zoals vastgelegd in het WABO besluit, maar deze geldt voor een injectietemperatuur van 35 °C, terwijl de vergunninghouder in de toekomst met 20 °C wil gaan injecteren. Deze injectiedruk lijkt ook niet gekoppeld te zijn aan het voorgestelde debiet van 260 m³/uur. Vergunninghouder onderbouwt niet welke benodigde injectiedruk wordt verwacht om dit debiet te realiseren. Voor de score in de SHRA Quickscan tabel gaat TNO-AGE vooralsnog uit van de door de aanvrager opgegeven maximale injectiedruk van 75 bar, wat leidt tot een score van 10.
- Er zijn geen mijnbouwactiviteiten in de nabijheid van de geothermische installatie, daarom wordt ook geen ondergrondse interferentie verwacht. De modelresultaten tonen aan dat de effecten van de geothermische installatie op de dichtstbijzijnde natuur-/beschermingsgebieden (minimale afstand ca. 3 km) waarschijnlijk nihil tot verwaarloosbaar zijn.
- TNO-AGE heeft voor zowel de huidige als de toekomstige situatie een SHRA evaluatie uitgevoerd, met het volgende resultaat:

Huidige situatie:

- Score: 0,24 → laag potentieel voor induceren van seismiciteit. Deze score is strikt volgens de methodiek van Qcon en IF [9] bepaald. 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 7 jaar die drukcommunicatie aan lijken te tonen. Dit leidt tot een alternatieve score van 0,21. De vergunninghouder heeft overigens geen SHRA evaluatie uitgevoerd voor de huidige situatie.

Toekomstige situatie:

- Score: 0,37 → gemiddeld potentieel voor induceren van seismiciteit. Deze score wijkt af van de uitkomst van de vergunninghouder (0,32) doordat TNO-AGE een hogere score geeft aan de categorie “breukoriëntatie in huidig spanningsveld” (10 i.p.v. 3) en een lagere score voor de categorie “connectie met basement” (0 i.p.v. 3). Echter, zoals eerder aangegeven is de injectiedruk op reservoirdiepte, die nodig is om het geprognoseerde debiet te realiseren, nog onzeker. Daarnaast kan ook drukcommunicatie tussen de nieuwe productieput en huidige injectieput pas worden aangetoond na het boren van deze productieput.

Datum
16 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.058

Blad
25/32

9. Aanbevelingen

Gezien de conclusies m.b.t. de toekomstige injectiedruk op reservoirdiepte en de SHRA score voor het toekomstige systeem adviseert TNO-AGE EZK om vergunninghouder, na realisatie van de tweede productieput, toe te staan de nieuwe systeemconfiguratie gedurende een beperkte periode te testen, met inachtneming van de op dat moment geldende maximale injectiedruk. Op basis daarvan kan de vergunninghouder afleiden en aanleveren of het in het winningsplan geprognoseerde debiet gehaald kan worden, wat daarvoor benodigde injectiedruk is en of deze binnen de maximaal toegestane injectiedruk valt.

TNO-AGE adviseert EZK ook om de vergunninghouder te verzoeken om na realisatie van de tweede productieput een update van de Quicksan scoretabel aan te leveren. Dit omdat de scores voor de categorieën “debiet”, “injectiedruk” en “drukcommunicatie tussen productie- en injectieput” dan met meer zekerheid kunnen worden bepaald. Op basis van de resulterende score kan op dat moment bepaald worden of de vergunninghouder een locatie-specifieke Seismische Hazard Analyse moet uitvoeren voor het toekomstige systeem. Daarnaast adviseert TNO-AGE EZK om de vergunninghouder te verzoeken, alvorens verdere uitkoeling tot 20 °C te starten, een nadere onderbouwing aan te leveren van de maximale injectiedruk die geldt bij een injectietemperatuur van 20 °C.

Referenties

- [1] Aardwarmtecluster 1 KKP BV, juli 2019. Winningsplan Aardwarmte Kampen V3.0.
- [2] Aardwarmtecluster 1 KKP BV, 19 februari 2019. Concept Design KKP-GT-03.
- [3] IF Technology, 15 augustus 2014. Tweede aanvulling injectiedruk na overleg met SodM en schriftelijke opmerkingen SodM. Rapport nr. 58351/NB/20140815.
- [4] IF Technology, 2015. Notitie maximaal toelaatbare injectiedruk d.d. 23-6-2015. Rapport nr. 20150623/NB/58351.
- [5] EZK, 3 mei 2016. Instemming omgevingsvergunning voor de inrichting Aardwarmtecluster I KKP B.V..
- [6] SodM, 2013. Protocol bepaling maximale injectiedrukken bij aardwarmtewinning, Versie 2.
- [7] IF Technology B.V., 19 juni 2019. Quicksan for Potential of Inducing Seismicity, Geothermie Koekoekspolder. Rapport nr. 20190621/67122/NB.
- [8] TNO-AGE, 4 september 2014. Advies aanvraag winningsvergunning aardwarmte Kampen II. Referentie: AGE 14-10.053.
- [9] Qcon GmbH & IF Technology B.V., 5 oktober 2016. Defining the Framework for Seismic Hazard Assessment in Geothermal Projects V0.1.
- [10] DAGO, 2018. “SHRA Richtlijn richtinggevende suggesties”.
- [11] 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.
- [12] 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.

Datum
16 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.058

Blad
26/32

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 huidige situatie (doublet) en de toekomstige situatie (triplet met extra uitkoeling).

DoubletCalc1D uitvoer – huidige situatie

Geotechnics (Input)

Property	min	median	max
aquifer permeability (mD)	280.0	312.0	345.0
aquifer net to gross (-)	0.62	0.65	0.68
aquifer gross thickness (m)	74.0	83.0	91.0
aquifer top at producer (m TVD)	1673.0	1859.0	2045.0
aquifer top at injector (m TVD)	1665.0	1850.0	2035.0
aquifer water salinity (ppm)	165000.0	175000.0	185000.0

Property	value
number of simulation runs (-)	1000.0
aquifer kh/kv ratio (-)	5.0
surface temperature (°C)	10.0
geothermal gradient (°C/m)	0.0347
[mid aquifer temperature producer (°C)]	0.0
initial aquifer pressure at producer (bar)	196.0
[initial aquifer pressure at injector (bar)]	196.0
exit temperature heat exchanger (°C)	30.0
distance wells at aquifer level (m)	1578.0
pump system efficiency (-)	0.565
production pump depth (m)	413.0
pump pressure difference (bar)	63.0
outer diameter producer (inch)	6.0
skin producer (-)	-3.5
skin due to penetration angle p (-)	-0.25
pipe segment sections p (m AH)	413.0,442.0,1038.0,2144.0
pipe segment depth p (m TVD)	413.0,442.0,1002.0,1859.0
pipe inner diameter p (inch)	5.79,8.76,6.28,4.05
pipe roughness p (milli-inch)	1.3,1.3,1.3,1.3
outer diameter injector (inch)	6.13
skin injector (-)	-2.2
skin due to penetration angle i (-)	-0.25
pipe segment sections i (m AH)	107.0,1051.0,2010.0,2111.0
pipe segment depth i (m TVD)	107.0,1010.0,1773.0,1850.0
pipe inner diameter i (inch)	5.92,8.68,6.28,4.05
pipe roughness i (milli-inch)	1.3,1.3,1.3,1.3

Geotechnics (Output)

Monte Carlo cases (stochastic inputs)	P90	P50	P10
aquifer kH net (Dm)	15.46	16.69	18.21
mass flow (kg/s)	33.67	39.7	46.01
pump volume flow (m³/h)	109.5	129.4	150.5
required pump power (kW)	339.2	400.8	466.0
geothermal power (MW)	4.83	6.01	7.5
COP (kW/kW)	13.9	15.1	16.3

aquifer pressure at producer (bar)	196.0	196.0	196.0
aquifer pressure at injector (bar)	196.0	196.0	196.0
pressure difference at producer (bar)	11.69	13.62	15.62
pressure difference at injector (bar)	25.28	29.82	34.82
aquifer temperature at producer * (°C)	72.41	75.95	79.53
temperature at heat exchanger (°C)	70.5	73.96	77.56

base case (median value inputs)	value
aquifer kH net (Dm)	16.75
mass flow (kg/s)	39.16
pump volume flow (m³/h)	127.6
required pump power (kW)	395.3
geothermal power (MW)	5.95
COP (kW/kW)	15.1

aquifer pressure at producer (bar)	196.0
aquifer pressure at injector (bar)	196.0
pressure difference at producer (bar)	13.41
pressure difference at injector (bar)	29.4
aquifer temperature at producer * (°C)	75.95
temperature at heat exchanger (°C)	73.99
pressure at heat exchanger (bar)	24.62

* @ mid aquifer depth

Figuur 4: DoubletCalc1D uitvoer van het TNO-AGE scenario voor de huidige systeemconfiguratie (doublet).

Datum
16 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.058

Blad
27/32

DoubletCalc1D uitvoer – toekomstige situatie zonder extra uitkoeling

Geotechnics (Input)

Property	min	median	max
aquifer permeability (mD)	280.0	312.0	345.0
aquifer net to gross (-)	0.62	0.65	0.68
aquifer gross thickness (m)	74.0	83.0	91.0
aquifer top at producer (m TVD)	1673.0	1859.0	2045.0
aquifer top at injector (m TVD)	1665.0	1850.0	2035.0
aquifer water salinity (ppm)	165000.0	175000.0	185000.0

Property	value
number of simulation runs (-)	1000.0
aquifer kh/kv ratio (-)	5.0
surface temperature (°C)	10.0
geothermal gradient (°C/m)	0.0347
[mid aquifer temperature producer (°C)]	0.0
initial aquifer pressure at producer (bar)	196.0
[initial aquifer pressure at injector (bar)]	196.0
exit temperature heat exchanger (°C)	30.0
distance wells at aquifer level (m)	1578.0
pump system efficiency (-)	0.565
production pump depth (m)	413.0
pump pressure difference (bar)	163.0
outer diameter producer (inch)	6.0
skin producer (-)	-6.7
skin due to penetration angle p (-)	-0.25
pipe segment sections p (m AH)	413.0,442.0,1038.0,2144.0
pipe segment depth p (m TVD)	413.0,442.0,1002.0,1859.0
pipe inner diameter p (inch)	5.79,8.76,6.28,4.05
pipe roughness p (milli-inch)	1.3,1.3,1.3,1.3
outer diameter injector (inch)	6.13
skin injector (-)	-2.2
skin due to penetration angle i (-)	-0.25
pipe segment sections i (m AH)	107.0,1051.0,2010.0,2111.0
pipe segment depth i (m TVD)	107.0,1010.0,1773.0,1850.0
pipe inner diameter i (inch)	5.92,8.68,6.28,4.05
pipe roughness i (milli-inch)	1.3,1.3,1.3,1.3

Geotechnics (Output)

Monte Carlo cases (stochastic inputs)	P90	P50	P10
aquifer kH net (Dm)	15.4	16.74	18.18
mass flow (kg/s)	75.56	80.25	84.99
pump volume flow (m³/h)	245.9	261.5	277.1
required pump power (kW)	1970.2	2095.8	2220.6
geothermal power (MW)	11.07	12.39	14.03
COP (kW/kW)	5.5	5.9	6.4

aquifer pressure at producer (bar)	196.0	196.0	196.0
aquifer pressure at injector (bar)	196.0	196.0	196.0
pressure difference at producer (bar)	12.36	13.3	14.32
pressure difference at injector (bar)	56.22	60.62	65.86
aquifer temperature at producer * (°C)	72.35	75.95	79.51
temperature at heat exchanger (°C)	71.45	74.98	78.49

base case (median value inputs)	value
aquifer kH net (Dm)	16.75
mass flow (kg/s)	79.78
pump volume flow (m³/h)	260.0
required pump power (kW)	2083.4
geothermal power (MW)	12.4
COP (kW/kW)	5.9

aquifer pressure at producer (bar)	196.0
aquifer pressure at injector (bar)	196.0
pressure difference at producer (bar)	13.2
pressure difference at injector (bar)	60.26
aquifer temperature at producer * (°C)	75.95
temperature at heat exchanger (°C)	74.98
pressure at heat exchanger (bar)	66.48

* @ mid aquifer depth

Figuur 5: DoubletCalc1D uitvoer van het TNO-AGE scenario voor de toekomstige systeemconfiguratie (triplet) bij een uitkoeling tot 30°C.

Datum
16 oktober 2019

Onze referentie
AGE 19-10.058

Blad
28/32

DoubletCalc1D uitvoer – toekomstige situatie met extra uitkoeling

Geotechnics (Input)

Property	min	median	max
aquifer permeability (mD)	280.0	312.0	345.0
aquifer net to gross (-)	0.62	0.65	0.68
aquifer gross thickness (m)	74.0	83.0	91.0
aquifer top at producer (m TVD)	1673.0	1859.0	2045.0
aquifer top at injector (m TVD)	1665.0	1850.0	2035.0
aquifer water salinity (ppm)	165000.0	175000.0	185000.0

Property	value
number of simulation runs (-)	1000.0
aquifer kh/kv ratio (-)	5.0
surface temperature (°C)	10.0
geothermal gradient (°C/m)	0.0347
[mid aquifer temperature producer (°C)]	0.0
initial aquifer pressure at producer (bar)	196.0
[initial aquifer pressure at injector (bar)]	196.0
exit temperature heat exchanger (°C)	20.0
distance wells at aquifer level (m)	1578.0
pump system efficiency (-)	0.565
production pump depth (m)	413.0
pump pressure difference (bar)	173.0
outer diameter producer (inch)	6.0
skin producer (-)	-6.7
skin due to penetration angle p (-)	-0.25
pipe segment sections p (m AH)	413.0,442.0,1038.0,2144.0
pipe segment depth p (m TVD)	413.0,442.0,1002.0,1859.0
pipe inner diameter p (inch)	5.79,8.76,6.28,4.05
pipe roughness p (milli-inch)	1.3,1.3,1.3,1.3
outer diameter injector (inch)	6.13
skin injector (-)	-2.2
skin due to penetration angle i (-)	-0.25
pipe segment sections i (m AH)	107.0,1051.0,2010.0,2111.0
pipe segment depth i (m TVD)	107.0,1010.0,1773.0,1850.0
pipe inner diameter i (inch)	5.92,8.68,6.28,4.05
pipe roughness i (milli-inch)	1.3,1.3,1.3,1.3

Geotechnics (Output)

Monte Carlo cases (stochastic inputs)	P90	P50	P10
aquifer kH net (Dm)	15.42	16.74	18.1
mass flow (kg/s)	75.76	80.19	84.76
pump volume flow (m³/h)	246.4	261.4	276.6
required pump power (kW)	2096.1	2223.5	2352.5
geothermal power (MW)	13.79	15.11	16.93
COP (kW/kW)	6.4	6.9	7.3

aquifer pressure at producer (bar)	196.0	196.0	196.0
aquifer pressure at injector (bar)	196.0	196.0	196.0
pressure difference at producer (bar)	12.37	13.28	14.28
pressure difference at injector (bar)	66.44	71.55	77.33
aquifer temperature at producer * (°C)	72.42	75.94	79.55
temperature at heat exchanger (°C)	71.54	74.98	78.5

base case (median value inputs)	value
aquifer kH net (Dm)	16.75
mass flow (kg/s)	79.67
pump volume flow (m³/h)	259.6
required pump power (kW)	2208.1
geothermal power (MW)	15.13
COP (kW/kW)	6.9

aquifer pressure at producer (bar)	196.0
aquifer pressure at injector (bar)	196.0
pressure difference at producer (bar)	13.18
pressure difference at injector (bar)	71.03
aquifer temperature at producer * (°C)	75.95
temperature at heat exchanger (°C)	74.98
pressure at heat exchanger (bar)	76.68

* @ mid aquifer depth

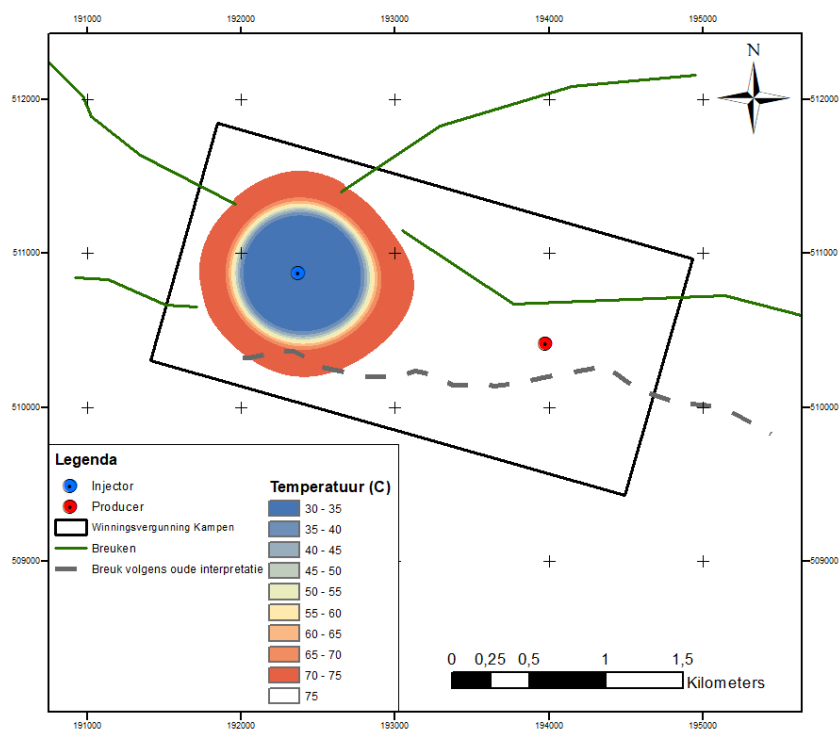
Figuur 6: DoubletCalc1D uitvoer van het TNO-AGE scenario voor de toekomstige systeemconfiguratie (triplet) bij een uitkoeling tot 20°C.

Datum
16 oktober 2019

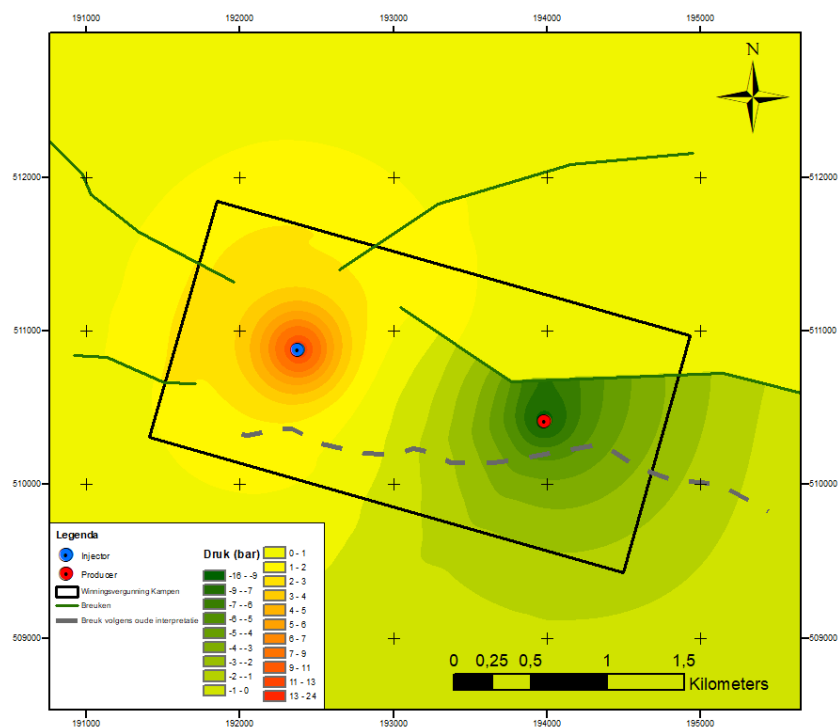
Onze referentie
AGE 19-10.058

Blad
29/32

DoubletCalc2D uitvoer – huidige situatie



Figuur 7: DoubletCalc2D uitvoer van het TNO-AGE scenario voor de huidige situatie. De kaart toont de temperatuursverandering op reservoirdiepte aan het eind van de huidige winningsvergunningsduur, dus na 32 jaar productie.



Figuur 8: DoubletCalc2D uitvoer van het TNO-AGE scenario voor de huidige situatie. De kaart toont de drukverandering op reservoirdiepte aan het eind van de huidige winningsvergunningsduur, dus na 32 jaar productie.

Datum

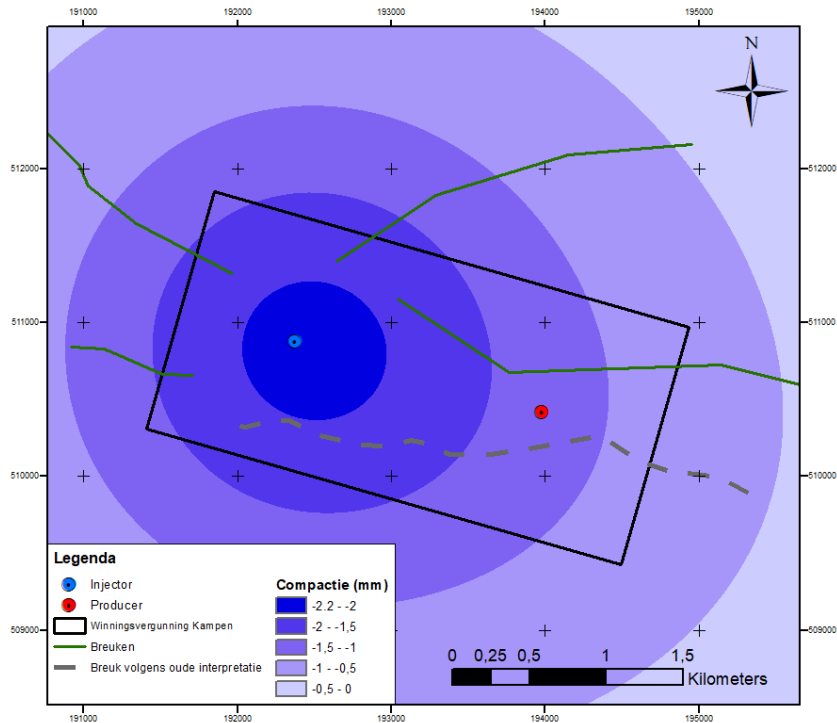
16 oktober 2019

Onze referentie

AGE 19-10.058

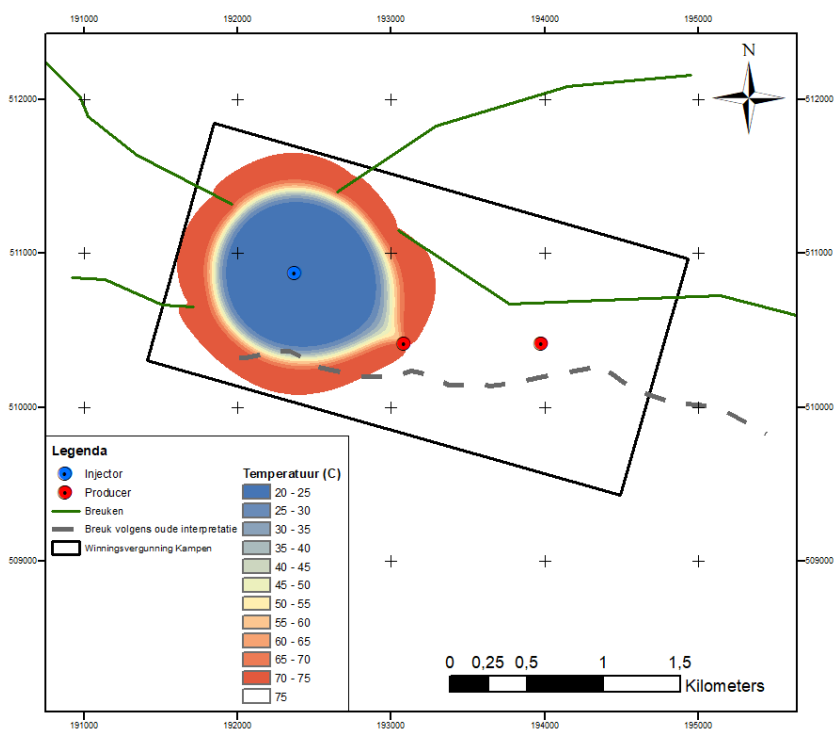
Blad

30/32



Figuur 9: DoubletCalc2D uitvoer van het TNO-AGE scenario voor de huidige situatie. De kaart toont de mate van bodemdaling aan het eind van de huidige winningsvergunningsduur, dus na 32 jaar productie.

DoubletCalc2D uitvoer – toekomstige situatie



Figuur 10: DoubletCalc2D uitvoer van het TNO-AGE scenario voor de toekomstige situatie. De kaart toont de temperatuursverandering op reservoirdiepte aan het eind van de huidige winningsvergunningsduur, dus na 32 jaar productie.

Datum

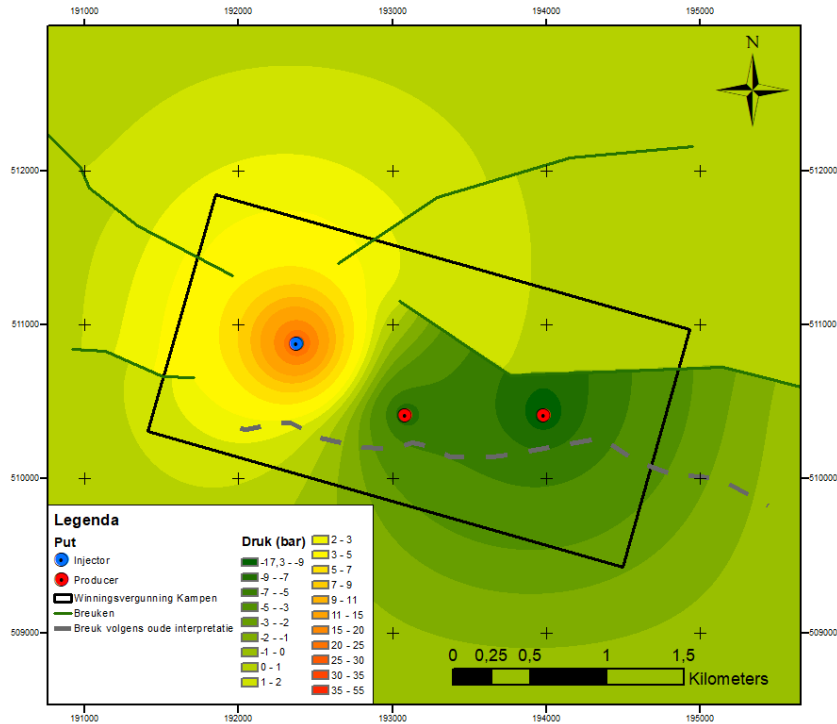
16 oktober 2019

Onze referentie

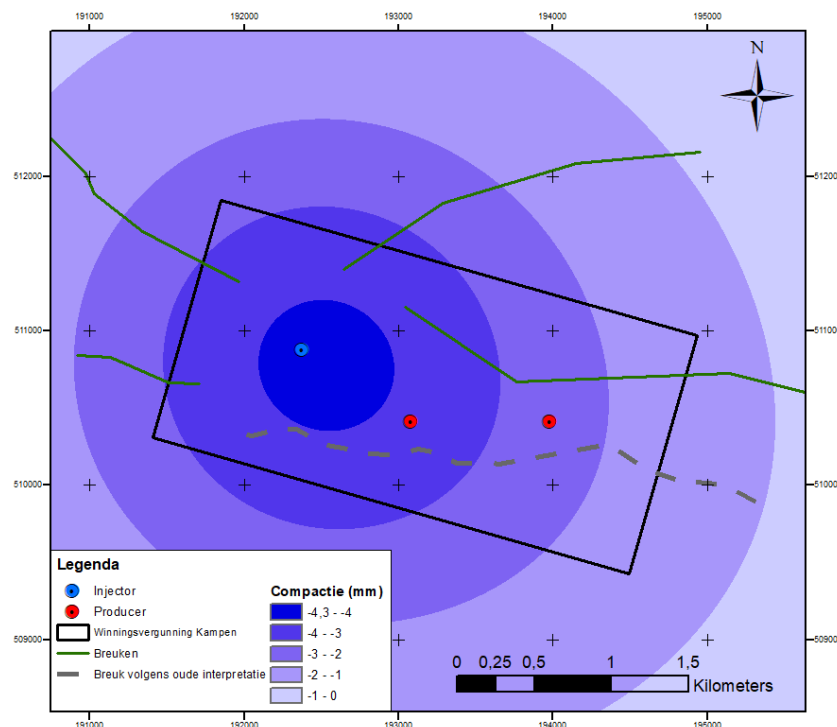
AGE 19-10.058

Blad

31/32



Figuur 11: DoubletCalc2D uitvoer van het TNO-AGE scenario voor de toekomstige situatie. De kaart toont de drukverandering op reservoirdiepte aan het eind van de huidige winningsvergunningsduur, dus na 32 jaar productie.



Figuur 12: DoubletCalc2D uitvoer van het TNO-AGE scenario voor de toekomstige situatie. De kaart toont de mate van bodemdaling aan het eind van de huidige winningsvergunningsduur, dus na 32 jaar productie.

Datum

16 oktober 2019

Onze referentie

AGE 19-10.058

Blad

32/32

Bijlage 3: erratalijst

- De vergunninghouder rapporteert in Tabel 10 [1] de hoeveelheid ingebrachte inhibitorvloeistof sinds 2014. Dit laatste is opmerkelijk, gezien de beschrijving van de productieput in paragraaf 3.4 [1]. Daar wordt namelijk gemeld dat in 2017 een inhibitor string is geïnstalleerd in de productieput. Uit de aan TNO aangeleverde productiedata blijkt dat de vergunninghouder reeds sinds 2014 inhibitor heeft geïnjecteerd in de injectieput, maar dat sinds 2017 ook inhibitor in de productieput wordt geïnjecteerd.
- De TDS concentratie van het formatiewater die wordt gegeven in Tabel 6 [1] is 230000 mg/l, maar als input voor het DoubletCalc2D scenario gebruikt de vergunninghouder een concentratie van 175000 ppm (TDS = ± 208000 mg/l). Dit is niet consistent.