

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 Vierpolders

Geachte [REDACTED],

Naar aanleiding van uw adviesverzoek van 13 mei 2019 (per email) ter ondersteuning van het te nemen instemmingsbesluit betreffende het winningsplan aardwarmte Vierpolders van 4 april 2019 door Hydreco GeoMEC B.V. en GeoMEC-4P Realisatie & Exploitatie 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 "Aardwarmte Vierpolder" op de volgende onderwerpen:

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

Beschrijving winning

Het aardwarmtesysteem Vierpolders bestaat uit een productieput (BRI-GT-01) en een injectieput (BRI-GT-02), beiden geboord in 2015. Het systeem ligt in het gebied dat is gedefinieerd als de winningsvergunning Vierpolders (ca. 5,7 km²). Deze vergunning is bij beschikking, met kenmerk DGET-EO/17086146, op 21 juni 2017

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

T +31 88 866 42 56

Datum

20 januari 2020

Onze referentie

AGE 20-10.007

Contactpersoon**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
20 januari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.007

Blad
2/29

verleend aan Hydreco GeoMEC B.V. en GeoMEC-4P Realisatie & Exploitatie B.V.. Het doublet is gericht op de watervoerende zandsteenlagen van de Hoofd Bontzandsteen Subgroep, die zich bevindt op een diepte van ca. 2100 m. Hieruit wordt warmte gewonnen met een temperatuur van 83 °C, dat vervolgens weer wordt geïnjecteerd met een temperatuur van gemiddeld 30 °C. De stroming van warm water naar de productieput en injectie van afgekoeld water vindt plaats door en in de poreuze gesteentematrix van dit reservoir. De productie van dit doublet is gestart in januari 2016. De winningsvergunning verloopt in oktober 2052 en daarmee is de totale duur van de warmteproductie ruim 36 jaar. Het systeem opereert sinds januari 2016. Het debiet waarmee in 2018 werd geproduceerd was gemiddeld 222 m³/uur, de temperatuurval was ca. 50 °C en de opbrengst van energie in dat jaar was ca. 0,31 PJ (bron: Mijnwettelijk aangeleverde productiedata). De gewonnen warmte wordt gebruikt door de glastuinbouw.

1. Planmatig gebruik van de ondergrond

Vergunninghouder vraagt in het winningsplan [1] een gemiddeld debiet van 250 m³/uur, met een spreiding van 150 tot 350 m³/uur, aan voor een periode tot eind 2051. De laatste 9 maanden van de duur van de winningsvergunning wordt niet door vergunninghouder in de productieprognose meegenomen. Vergunninghouder verwacht per jaar 0,37 PJ aan energie te kunnen produceren.

Gedurende het productieproces vindt bijvangst van opgelost aardgas plaats. De vergunninghouder vermeldt in het winningsplan [1] dat deze bijvangst ca. 0,95 Nm³ gas per m³ water is. Dit komt goed overeen met de historische productiedata.

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 oktober 2052.

Op basis van de modelmatige analyse van TNO-AGE blijkt dat het beoogde gemiddelde debiet van 253 m³/uur niet haalbaar is omdat de daarvoor benodigde injectiedruk op reservoirdiepte van ca. 68 bar hoger is dan de maximale injectiedruk op reservoirdiepte (66 bar) volgens het huidige injectieprotocol van SodM [11]. Het maximale debiet van 350 m³/uur is daarmee ook niet haalbaar, daarvoor is een verschildruk op reservoirdiepte van 95 bar nodig is.

De reden dat het beoogde gemiddelde debiet niet haalbaar is volgens de modelresultaten van TNO-AGE is omdat uit de historische productiedata blijkt dat in de loop van het productieleven van het Vierpolders systeem de injectiedruk die nodig is om een bepaald debiet te kunnen behalen steeds hoger wordt. Dit vertaalt zich in een toenemende skin in de injectieput; in mei 2019 is deze vastgesteld op 6,7. Deze skinwaarde is door TNO-AGE gebruikt voor de modelberekeningen, het is echter mogelijk dat deze nog verder toeneemt in de toekomst, waardoor het te realiseren debiet lager wordt. Het is ook mogelijk dat de vergunninghouder de skin van de put verlaagt door bijvoorbeeld een schoonmaakactie uit te voeren. In dat geval is het zeer waarschijnlijk dat het beoogde debiet wel haalbaar is.

Datum
20 januari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.007

Blad
3/29

Modelmatig vindt er geen doorbraak koudwaterbel in de productieput binnen de duur van de winningsvergunning. Tevens vindt er modelmatig ook geen grensoverschrijding van de koudwaterbel plaats binnen de duur van de winningsvergunning. De hoeveelheid water die tot 1 januari 2019 is geproduceerd (en geïnjecteerd) en gedurende de resterende duur van de winningsvergunning (tot 1 oktober 2052) nog wordt geproduceerd, uitgaande van de prognose van de vergunninghouder, is 70,9 miljoen m³.

TNO-AGE is van mening dat de winning van aardwarmte via de huidige systeemconfiguratie en met het gemiddelde debiet, zoals voorgesteld in het winningsplan, in beginsel in overeenstemming is met de principes van planmatig gebruik van de ondergrond in de genoemde geologische setting. Echter, door de huidige skin in de injectieput is het door de vergunninghouder voorgestelde gemiddelde debiet van 253 m³/uur, en daarmee ook het maximale debiet van 350 m³/uur, niet haalbaar binnen de begrenzing van de injectiedruk volgens het huidige injectieprotocol.

Binnen de temperatuur- en druk-invloedsfeer van het doublet zijn momenteel geen mijnbouwactiviteiten, daarom wordt er nu geen nadelige ondergrondse interferentie verwacht.

2. Bodemdaling

TNO-AGE heeft de bodemdalingsprognose van de vergunninghouder geëvalueerd en eigenstandig nagerekend. Vergunninghouder verwacht een bodemdaling van 3,4 mm na 35 jaar productie.

De door TNO-AGE berekende bodemdaling is enkel ten gevolge van de krimp van het reservoir door afkoeling van het gesteente. De maximaal verwachte bodemdaling in oktober 2052 is 4,4 mm. Dit komt goed overeen met wat de vergunninghouder verwacht. De mate van bodemdaling neemt af met toenemende afstand van de injectieput (Figuur 4, Bijlage 2). Op basis van de modelresultaten wordt geen bodemdaling verwacht bij de dichtstbijzijnde natuur/beschermingsgebieden.

TNO-AGE concludeert dat de modelmatig berekende maximale bodemdaling ten gevolge van de winning van aardwarmte ca. 4 mm is bij het verlopen van de winningsvergunning.

3. Bodemtrilling

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

Datum
20 januari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.007

Blad
4/29

Vergunninghouder heeft conform de leidraad^{1,2} een seismische hazard-risicoanalyse (SHRA) uitgevoerd voor het geothermisch systeem Vierpolders. Vergunninghouder komt uit op een genormaliseerde seismisch potentieel score van 0,26 en stelt dat het geothermische systeem classificeert in de laagste seismische risicocategorie.

TNO-AGE heeft deze analyse geëvalueerd, eigenstandig nagerekend en heeft het geothermische systeem Vierpolders onafhankelijk onderzocht conform de leidraad^{1,2}. De daaruit resulterende genormaliseerde score van 0,30 is hoger dan de uitkomst van de vergunninghouder (0,26) doordat TNO-AGE hogere scores geeft aan de categorieën “breukoriëntatie in huidig spanningsveld” (10 i.p.v. 3) en “drukcommunicatie tussen productie- en injectieput” (3 i.p.v. 0), en een lagere score aan de categorie “debiet” (7 i.p.v. 10). Deze score leidt tot een laag potentieel voor het induceren van seismiciteit.

Net zoals de vergunninghouder komt TNO-AGE uit op een laag potentieel voor het induceren van seismiciteit.

Conclusie en aanbevelingen

Resumerend ziet TNO-AGE geen geotechnische belemmeringen om in te stemmen met het ingediende winningsplan voor het aardwarmtesysteem Vierpolders. TNO-AGE geeft wel ter overweging om in het besluit de injectieverschildruk op reservoirdiepte te limiteren op 66 bar, zoals bepaald o.b.v. het huidige SodM injectieprotocol [11].

TNO-AGE ziet geen geotechnische belemmeringen m.b.t. de berekening van de verwachte bodemdaling van ca. 4 mm aan het eind van de winningsvergunningstermijn.

De evaluatie van SHRA analyse door TNO-AGE, conform de leidraad^{1,2}, resulteert in laag potentieel voor het induceren van seismiciteit voor het geothermische systeem Vierpolders.

TNO-AGE acht de winning van aardwarmte via de huidige systeemconfiguratie en met het gemiddelde debiet, zoals voorgesteld in het winningsplan, in beginsel in overeenstemming met de principes van planmatig gebruik van de ondergrond in de genoemde geologische setting. Echter, door de huidige skin in de injectieput is het door de vergunninghouder voorgestelde gemiddelde debiet van 253 m³/uur, en daarmee ook het maximale debiet van 350 m³/uur, momenteel niet haalbaar binnen de begrenzing van de injectiedruk volgens het huidige protocol van SodM. De

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.

injectiedruk, die nodig is om het gemiddelde debiet van 253 m³/uur te produceren, neemt toe met de tijd. Dit wordt veroorzaakt door een toename van de skin. TNO-AGE stelt daarom voor om de injectiedruk op reservoirdiepte te maximeren op de injectiedruk die volgt uit het huidige SodM protocol (66 bar).

Datum

20 januari 2020

Onze referentie

AGE 20-10.007

Blad

5/29

Ik verwacht u hiermee van dienst te zijn geweest.

Met vriendelijke groet,



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

Hoofd Adviesgroep Economische Zaken en Klimaat

Bijlage 1: geotechnische evaluatie winningsplan geothermie Vierpolders

Bijlage 2: resultaten DoubletCalc modelberekeningen

Bijlage 3: erratalijst

Bijlage 1: geotechnische evaluatie winningsplan geothermie Vierpolders

Ter ondersteuning van het door het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) te nemen instemmingsbesluit betreffende het winningsplan voor het geothermiesysteem Vierpolders, heeft TNO-AGE een geotechnische evaluatie uitgevoerd van het aangeleverde winningsplan [1]. In deze rapportage worden de resultaten en bevindingen van de door TNO-AGE uitgevoerde evaluatie beschreven.

1. Configuratie aardwarmtesysteem

Het aardwarmtesysteem Vierpolders bestaat uit een productieput (BRI-GT-01) en een injectieput (BRI-GT-02), beiden geboord in 2015. Het systeem ligt in het gebied dat is gedefinieerd als de winningsvergunning voor aardwarmte Vierpolders (ca. 5,7 km²). Het systeem is gericht op de watervoerende lagen van Trias ouderdom: de Hardegse Formatie, Detfurth Formatie en Volpriehausen Formatie, gecombineerd bekend als de Hoofd Bontzandsteen Subgroep. Hieruit wordt warmte gewonnen met een temperatuur van 83 °C, dat vervolgens weer wordt geïnjecteerd met een temperatuur van gemiddeld 30 °C. De stroming van warm water naar de productieput en injectie van afgekoeld water vindt plaats door en in de poreuze gesteentematrix van dit reservoir. De productie van dit doublet is gestart in januari 2016. De winningsvergunning verloopt in oktober 2052 en daarmee is de totale duur van de warmteproductie ruim 36 jaar. Het systeem opereert sinds januari 2016. Het debiet waarmee in 2018 werd geproduceerd was gemiddeld 222 m³/uur, de temperatuurval was ca. 50 °C en de opbrengst van energie in dat jaar was ca. 0,31 PJ (bron: Mijnwettelijk aangeleverde productiedata). De gewonnen warmte wordt gebruikt door glastuinbouwbedrijven. Een schematisch overzicht van het systeem en de putten wordt gepresenteerd in [1].

2. Toekomstige uitbreidingen

Op korte termijn, 0 tot 3 jaar, stelt vergunninghouder in [1] dat er geen nieuwe boringen uitgevoerd zullen gaan worden. In de lange termijn productieprognose (tabel 10 in [1]) blijft de hoeveelheid geproduceerde energie vanaf 2020 constant, oftewel de productieprognose in het winningsplan gaat niet uit van toekomstige uitbreidingen.

3. Evaluatie put-, reservoir- en productiegegevens

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

Datum
20 januari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.007

Blad
7/29

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 2016 is in de productieput een inhibitorlijn geplaatst. 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 hieronder alternatieve waarden gepresenteerd. Voor de reservoir modellering door TNO-AGE zijn de putgegevens gebruikt zoals gegeven in Tabel 1 (kolom TNO-AGE) van dit document.

Diepte en bruto dikte

Op basis van de stratigrafische interpretatie van BRI-GT-01 en BRI-GT-02 zijn de top reservoir diepte en bruto dikte van beide putten bepaald. Voor BRI-GT-01 is er tussen vergunninghouder en TNO-AGE een verschil in interpretatie van de top en basis van het aquifer van de Hoofd Bontzandsteen Subgroep. Dit verschil is in de eerdere evaluatie van de aanvraag winningsvergunning [3] ook naar voren gekomen. TNO-AGE plaatst de top aquifer ondieper dan vergunninghouder: respectievelijk op 2136 mTVD versus 2165 mTVD. TNO-AGE is van mening dat de eigen interpretatie beter aansluit bij de interpretaties van omliggende putten en de door vergunninghouder aangeleverde litholog [4]. Daarnaast plaatst TNO-AGE de basis Hoofd Bontzandsteen Subgroep 15m dieper dan vergunninghouder, waardoor de bruto dikte van het aquifer in BRI-GT-01 voor TNO-AGE op 233 m komt in vergelijking met de 204 m van vergunninghouder. Wat BRI-GT-02 betreft plaatst TNO-AGE zowel top als basis aquifer 10m ondieper dan vergunninghouder. De bruto dikte blijft hierdoor nagenoeg gelijk: 177 m.

Netto/bruto verhouding

De vergunninghouder geeft in paragraaf 3.1 [1] een netto-bruto waarde van circa 90% voor beide putten. TNO-AGE heeft de netto/bruto verhouding bepaald o.b.v. de logmetingen in beide putten en komt op 80%.

Porositeit

De door de vergunninghouder bepaalde porositeit van 18% (paragraaf 3.1 in [1]) is door TNO-AGE in de evaluatie van de winningsvergunning [3] als valide geacht, en wordt door TNO-AGE overgenomen van vergunninghouder.

Permeabiliteit en skin

In paragraaf 3.1 [1] wordt door de vergunninghouder een permeabiliteit van 120 mD en bijbehorende skin van 2,8 gegeven voor BRI-GT-01 en een permeabiliteit van 170 mD en skin van -0,4 voor BRI-GT-02. Deze waarden zijn afkomstig van puttest analyses [5] en [6] uitgevoerd door Panterra Geoconsultants B.V. (hierna: PanTerra). TNO-AGE wil hier de opmerking plaatsen dat Panterra in [6] stelt dat de skin van BRI-GT-02 afhankelijk is van het debiet en dat de skin van -0,4 hoort bij een debiet van 0 m³/uur. De gemiddelde skin die PanTerra uit de puttest van BRI-

GT-02 heeft gedestilleerd is 1,3. Deze skin van 1,3 zou dus door vergunninghouder gebruikt moeten zijn i.p.v. de skin van -0,4.

TNO-AGE heeft voor de evaluatie van de winningsvergunning [3] eigen analyses van de puttesten uitgevoerd. De resulterende waarden voor permeabiliteit en skin zijn vergelijkbaar met die van vergunninghouder (zie tabel 1).

Uitgaande van de uit de puttest resulterende permeabiliteitwaarden is uit de historische productiedata van het doublet van Vierpolders op te maken dat de skin van de injectieput (BRI-GT-02) door de jaren heen toeneemt. Na het boorproces is deze door TNO-AGE vastgesteld op 1,5, maar in mei 2019 lijkt de skin toegenomen te zijn tot 6,3. De skin van de productieput (BRI-GT-01) is afgenomen van 3,3 naar 0,3, mogelijk gerelateerd aan het schoonspoelen van de put tijdens de productiefase. TNO-AGE heeft voor de berekeningen in deze evaluatie gebruik gemaakt van de recent vastgestelde skinwaarden (zie ook tabel 1). Een toenemende skin in de injectieput kan op termijn gevolgen hebben voor het maximaal haalbare debiet van het doublet omdat ook de injectiedruk, die nodig is om dat debiet te halen, steeds hoger wordt. De maximale injectiedruk wordt momenteel bepaald door het injectieprotocol van SodM [11].

Formatiewater karakteristiek

De vergunninghouder geeft in tabel 7 van [1] alleen de kationen van de watersamenstelling, de anionen ontbreken. Door vergunninghouder wordt in paragraaf 3.2 [2] geen zoutgehalte van het formatiewater gegeven. In appendix 11.2 [1] wordt deze echter wel gegeven: 120.000 ppm.

TNO-AGE heeft in het verleden een document [7] van vergunninghouder ontvangen waarin een wateranalyse is beschreven. De hierin gegeven kation waarden komen niet overeen met de waarden in tabel 7 in [1]. Van tabel 7 in [1] wordt door vergunninghouder geen bronvermelding gegeven. TNO-AGE heeft de saliniteit van het formatiewater bepaald op basis van de gegevens in figuur 12 in [7]. Hieruit komt een TDS (Total Dissolved Solids) van ca. 116.000 ppm NaCl equivalent met een gemiddelde dichtheid van 1090 kg/m³ bij 25 °C. Dit komt overeen met het door vergunninghouder gegeven zoutgehalte van 120.000 ppm.

Temperatuur

In paragraaf 3.1 [1] stelt de vergunninghouder dat de temperatuur op mid-reservoirdiepte 83 °C is in BRI-GT-01 en 80 °C in BRI-GT-02. De opgegeven temperatuur van BRI-GT-01 komt overeen met de maandelijks gerapporteerde productietemperatuur gemeten bij de warmtewisselaar. Dit is niet noodzakelijkerwijs de temperatuur op mid-reservoirdiepte omdat een beperkte mate van afkoeling optreedt in de productieput. De puttest van BRI-GT-01 heeft een maximale temperatuur van 84 °C op reservoirniveau gemeten. TNO-AGE gebruikt de temperatuur zoals deze uit de productiedatabase komt voor de reservoirmodellering in DoubletCalc2D. Voor de DoubletCalc1D is de aquifertemperatuur afgeleid van de temperatuur van 83°C bij de warmtewisselaar. Uitgaande van een oppervlaktetemperatuur van 10 °C vertaalt zich dit in een geothermische gradiënt van 33,4 °C/km.

Datum
20 januari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.007

Blad
9/29

Reservoirdruk

De door de vergunninghouder opgegeven reservoirdruk op top-reservoirdiepte (2165 mTVD) bij de productieput BRI-GT-01 is 229 bar (Tabel 5 [1]). De berekende hydrostatische druk op deze diepte is 221 bar. De puttest analyse [5] van BRI-GT-01 rapporteert een reservoirdruk van 223,5 bar op 2200 mTVD. Deze reservoirdruk ligt meer in lijn met de berekende hydrostatische druk van 221 bar dan de gerapporteerde reservoirdruk van 229 bar. Door vergunninghouder wordt niet aangegeven op welke data de reservoirdruk van 229 bar gebaseerd is. TNO-AGE gaat voor de modellering in DoubletCalc1D uit van een hydrostatische reservoirdruk omdat deze goed overeenkomt met de reservoirdruk uit de puttest.

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

Reservoireigenschap	Vergunninghouder		TNO-AGE		Opmerkingen
	BRI-GT-01	BRI-GT-02	BRI-GT-01	BRI-GT-02	
Diepte top reservoir (mTVD)	2165	2024	2136	2020	Diepte en bruto dikte TNO-AGE gebaseerd op log interpretatie.
Bruto dikte (m)	204	176	233	177	
Netto dikte (m)	184	158	186	142	Waarden TNO-AGE gebaseerd op logdata.
Netto-bruto (%)	90	90	80	80	
Porositeit (%)	18%	18%	18%	18%	TNO-AGE porositeit gelijk aan de Winningsvergunning evaluatie.
Permeabiliteit (mD)	120	170	117	194	Gelijk aan TNO-AGE winningsvergunning evaluatie.
Skin (-)	2,8	-0,4 (1,3)	3,3	1,5	Van origine gelijk aan de TNO-AGE Winningsvergunning evaluatie. Skin is echter in loop van tijd veranderd
Skin (-) mei 2019	-	-	0,3	6,7	
Saliniteit (ppm)	120.000	120.000	116.000	-	Vergunninghouder saliniteit als TDS. TNO-AGE saliniteit als NaCl eq. TDS.
Temperatuur	83 °C	80 °C	83 °C	-	-

3.3 Productiegegevens

De gegevens die de vergunninghouder in tabel 10 van [1] geeft, karakteriseren de productie van het geothermisch systeem onder beoogde standaard operationele condities. Deze tabel bevat ook de historische productie van de jaren 2016, 2017 en 2018. TNO-AGE heeft deze gegevens vergeleken met de historische productiegegevens die maandelijks aan TNO-AGE worden aangeleverd en is van mening dat de door de vergunninghouder beschreven gegevens in tabel 10 van [1], met uitzondering van het jaar 2016, vergelijkbaar zijn met de maandelijks aangeleverde productie cijfers.

In tabel 9 van [1] geeft vergunninghouder een geprognostiseerd debiet tussen de 150 en 350 m³/uur. Uit tabel 10 in [1] is op te maken dat vergunninghouder jaarlijks een gemiddeld debiet verwacht van ongeveer 250 m³/uur.

Uit de productiedatabase van TNO-AGE kan opgemaakt worden 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 302 m³/uur. De historische productiedata valt binnen de door vergunninghouder opgegeven verwachte spreiding van 150 tot 350 m³/uur.

Datum
20 januari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.007

Blad
10/29

Vergunninghouder hanteert in het winningsplan (tabel 9 in [1]) een gemiddelde en een maximale druk van de injector aan de injectieputkant van de injectiepomp van respectievelijk 38 en 66 bar. Vergunninghouder geeft geen gemiddelde en maximale operationele injectiedruk op reservoirdiepte. DoubletCalc1D berekent dat de reservoirdruk op top-perforatie (2020 mTVD) bij de injectieput 206 bar is. Dit is in dezelfde grootte orde als bepaald uit de puttest (zie ook paragraaf *Reservoirdruk*). Op basis hiervan is de maximale verschildruk bij de injectieput op reservoirdiepte 74,5 bar (maximale operationele injectiedruk op reservoirdiepte minus de reservoirdruk). De reservoirdruk die hiervoor gebruikt is, is een berekening en geen directe meting op reservoirdiepte en derhalve onzeker.

Vergunninghouder geeft een bandbreedte op van 25 t/m 35 °C voor de temperatuur van het geïnjecteerde water. Door vergunninghouder wordt niet vermeld of deze spreiding seizoensgebonden is. TNO-AGE gaat voor de modelberekeningen uit van het gemiddelde van deze spreiding, 30 °C. Echter voor de SHRA en de injectiedrukbeoordeling wordt uitgegaan van het meest conservatieve scenario, 25 °C. Dit omdat bij een lagere injectietemperatuur een hogere injectiedruk nodig is om een bepaald debiet te injecteren.

Uit de historische productiedata is op te maken dat gemiddeld over de gehele productietijd water met een temperatuur van 31 °C is geïnjecteerd.

In tabel 9 [1] geeft de vergunninghouder aan 0,01 l/m³ inhibitorvloeistof in te brengen. Uit de productiedata blijkt dat gemiddeld 0,01 l/m³ inhibitorvloeistof gebruikt wordt, dit komt overeen met de door vergunninghouder opgegeven prognose. Uit de productiedata komt ook naar voren dat in beide putten de inhibitorvloeistof wordt toegebracht.

Gedurende het productieproces vindt bijvangst van opgelost aardgas plaats. De vergunninghouder vermeldt in het winningsplan [1] dat deze bijvangst ca. 0,95 Nm³ gas per m³ water is. Dit komt goed overeen met de historische productiedata.

4. Modelleren aardwarmteproductie

De vergunninghouder presenteert in paragraaf 4.1.2 en Figuren 12 en 13 van [1] het resultaat van een reservoirmodelleren van het geothermisch systeem Vierpolders m.b.v. DoubletCalc2D. De invoer van het door vergunninghouder opgezette model is gegeven in paragraaf 11.2 in [1]. De modelleren is uitgevoerd met een debiet van 300 m³/uur, en voor een periode van 35 jaar.

TNO-AGE heeft een DoubletCalc1D en DoubletCalc2D berekening uitgevoerd van het huidige gerealiseerde systeem. 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 modelleren. De uitkomsten van deze modelberekeningen zijn vergeleken met de reeds beschikbare productiedata.

4.1 DoubletCalc1D

Als eerste heeft TNO-AGE een DoubletCalc1D scenario opgesteld dat het gerealiseerde systeem representeert. De uitvoer van dit scenario is gegeven in Figuur 1 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]. Om de druk en reservoirparameters te matchen met het debiet, zijn de skinwaarden in het DoubletCalc1D model geoptimaliseerd door TNO-AGE. Het pompdrukverschil is zo gekozen dat een gemiddeld debiet van ongeveer 250 m³/uur wordt berekend. Het verwachte geothermisch vermogen resulterend uit dit scenario is ca. 13 MW. De resultaten in termen van gemiddeld maandvermogen en druk sluiten redelijk 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.

4.2 DoubletCalc2D

Vergunninghouder geeft in tabel 9 in [1] een spreiding in geprognostiseerd debiet: 150 t/m 350 m³/uur; gemiddeld 250 m³/uur. Uitgaande van de productieprognose gegeven in tabel 10 in [1], vollasturen 7885 uur en hoeveelheid geproduceerd water 2.000.000 m³, kan een gemiddeld debiet van 253 m³/uur worden bepaald. DoubletCalc2D gaat echter uit van een jaar met maximaal aantal draaiuren: 8760 uren. Gezien vergunninghouder niet opereert met het maximaal aantal draaiuren dient er een compensatie van het debiet gedaan te worden. 253 m³/uur met 7885 draaiuren wordt dan omgezet naar 228 m³/uur bij 8760 draaiuren.

DC2D scenario vergunninghouder

De vergunninghouder heeft voor het huidige systeem een modelberekening gedaan voor 35 jaar (paragraaf 11.2 van [1]). De vergunninghouder heeft in dit model geen rekening gehouden met de historische productiedata en de aanwezigheid van breuken. Daarnaast is de vergunninghouder uitgegaan van constante reservoirparameters (tabel 5 in [1]), een west-oost georiënteerd doublet en een constant debiet van 300 m³/uur. Gezien het gemiddelde debiet van 253 m³/uur, dat door vergunninghouder in tabellen 9 en 10 in [1] wordt gegeven, is het TNO-AGE niet bekend waarop vergunninghouder de gebruikte 300 m³/uur heeft gebaseerd. Verder heeft vergunninghouder een injectietemperatuur van 32 °C gehanteerd, ook hiervan is het TNO-AGE niet bekend waarop vergunninghouder deze waarde baseert.

De resultaten van dit model staan in Figuur 12 van [1] (kaart met drukverdeling na 35 jaar) en Figuur 13 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 grensoverschrijding is van koud water. In Figuur 13 in [1] wordt door vergunninghouder echter geen contour van het winningsvergunningsgebied weergegeven.

Datum
20 januari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.007

Blad
12/29

DC2D scenario's TNO-AGE

Het DoubletCalc2D model dat TNO-AGE heeft opgesteld gaat uit van de geologische waarden gegeven in Tabel 1. TNO-AGE gebruikt grids als invoer voor DoubletCalc2D, welke zijn gemaakt door interpolatie van de putwaarden zoals gegeven in Tabel 1. Het model bevat het winningsvergunningsgebied en de twee randbreuken zoals weergegeven in Figuur 8 in [1]. TNO-AGE heeft deze breuken herkend op de seismiek en worden tevens door de individuele puttesten gezien. Gezien het verzet van de breuken, zoals weergegeven in Figuur 19 in [1], en de waarschijnlijke zand-klei juxtapositie acht TNO-AGE het aannemelijk dat de breuken afsluitend zijn. Deze worden als zodanig behandeld in het DoubletCalc2D model. Een (extra) onzekerheid in het DoubletCalc2D model van TNO-AGE is de waarde van de skin. Zoals toegelicht in paragraaf 3.2 is in de historische productiedata een toenemende skin in de injectieput waar te nemen. Dit betekent dat bij een gelijkblijvend debiet de injectiedruk toeneemt. Aangezien DC2D alleen met een constante skin waarde rekent, heeft TNO-AGE er voor gekozen om de laatst geobserveerde skin van mei 2019 (Tabel 1) te gebruiken.

Ter verificatie heeft TNO-AGE de historische maandproductie van het Vierpolders systeem gesimuleerd met het reservoirmodel. Hierbij wordt per maand, van januari 2016 t/m mei 2019, het specifieke debiet, de geproduceerde en geïnjecteerde temperatuur meegenomen. De resulterende gemodelleerde drukken per maand per put komen goed overeen met wat maandelijks door de vergunninghouder wordt gerapporteerd.

In de uiteindelijke DoubletCalc2D berekening gaat TNO-AGE uit van de historische productiedata en vervolgens de productieprognose (tabel 10 in [1]) die door vergunninghouder is aangeleverd. Voor het jaar 2019 wordt geen historische productiedata gebruikt, maar de door vergunninghouder opgegeven prognose: 1.800.000 m³ geproduceerd water bij 8561 draaiuren resulteert in een debiet van 210 m³/uur. Gecompenseerd voor een volledig jaar is dit een debiet van 206 m³/uur. De winningsvergunning heeft een duur tot 1 oktober 2052. TNO-AGE heeft dit laatste jaar ook een debietcompensatie toegepast door 75% (9 van de 12 maanden) van het reeds gecompenseerde debiet van 228 m³/uur te nemen: 171 m³/uur.

De hoeveelheid water die tot 1 januari 2019 is geproduceerd (en geïnjecteerd) en gedurende de resterende duur van de winningsvergunning (tot 1 oktober 2052) nog wordt geproduceerd, uitgaande van de prognose van de vergunninghouder, is 70,9 miljoen m³.

Bij een gemiddeld debiet van 253 m³/uur en een skin van 6,7 in de injectieput, is de verschildruk in de injectieput op reservoirdiepte 68 bar. Deze injectieverschildruk is hoger dan de 66 bar die voortkomt uit het SodM injectieprotocol [11]. Indien de toename van de skin in de injectieput zich blijft voortzetten in de toekomst wordt het maximaal op te leggen debiet lager.

Bij het maximale debiet van 350 m³/uur en een skin van 6,7 in de injectieput is de verschildruk in de injectieput op reservoirdiepte 95 bar. Deze verschildruk is een significante overschrijding van de maximale 66 bar die voortkomt uit het SodM injectieprotocol [11]. Uit deze bevindingen kan geconcludeerd worden dat zowel het

Datum
20 januari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.007

Blad
13/29

beoogde gemiddelde debiet als het maximale debiet momenteel niet haalbaar is binnen de maximale injectiedruk volgens het protocol van SodM [11].

In Bijlage 2 worden de resulterende beïnvloedingsgebieden m.b.t. temperatuur (Figuur 2) en druk (Figuur 3) gepresenteerd na een productieperiode van 37 jaar. Daaruit is op te maken dat de koudwaterbel de productieput na 37 jaar nog niet bereikt heeft. Dit resultaat komt overeen met het de uitkomsten van het DoubletCalc2D model t.b.v. het advies [3] voor de winningsvergunningaanvraag.

Breuken kunnen (deels) minder stabiel worden door een verandering van de verhouding tussen de normaal- en schuifspanning als gevolg van thermisch geïnduceerde spanningsafname. Dit zogenaamde thermo-elastische effect op breuken is momenteel ook nog niet meegenomen in de SHRA-methodiek van Qcon en IF [8] en dient in het algemeen nader te worden onderzocht. TNO-AGE wil opmerken dat de modelresultaten (Figuur 2 in Bijlage 2) aantonen dat tegen het einde van de huidige duur van de winningsvergunning (35 jaar; 1 oktober 2052) de koudwaterbel de twee randbreuken nog niet heeft bereikt.

TNO-AGE en vergunninghouder komen, gebruikmakend van verschillende modellen, aannames en invoerparameters, tot dezelfde conclusie dat geen grensoverschrijding van de koudwaterbel wordt verwacht voor het einde van de huidige winningsvergunning in 2052.

De beïnvloeding van het productieproces op de reservoirdruk rond de afsluitende randbreuken is weergegeven in Figuur 3 in Bijlage 2. Ten westen van de productieput BRI-GT-01, bij de randbreuk, is er een verschil van ongeveer 3 bar t.o.v. de hydrostatische reservoirdruk.

5. Bodemdaling

De vergunninghouder heeft het resultaat van het DoubletCalc2D model aangeleverd waarin te zien is dat, theoretisch gezien, een bodemdaling van 3,4 mm kan worden verwacht na 35 jaar productie. Hierbij is uitgegaan van een injectietemperatuur van 32°C.

De theorie onderliggend aan de compactieberekeningen in DoubletCalc2D is vooralsnog adequaat. 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.

Het verwachte bodemdalingsscenario aan het eind van de huidige winningsvergunning, volgens het DoubletCalc2D model van TNO-AGE, is gegeven in Figuur 4 in Bijlage 2. In het scenario met een injectietemperatuur van 30°C is de modelmatig verwachte maximale bodemdaling 4,4 mm. Dit is een verschil van 1 mm in vergelijking met de verwachting van de vergunninghouder. Dit wordt verklaard

Datum
20 januari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.007

Blad
14/29

doordat TNO-AGE een complexer model hanteert in een hogere resolutie dan vergunninghouder en een lagere injectietemperatuur.

Op basis van de modelresultaten van TNO-AGE wordt geen bodemdaling verwacht bij de dichtstbijzijnde natuur/ beschermingsgebieden.

6. Interferentie

In het winningsplan [1] wordt het onderwerp interferentie niet benoemt.

TNO-AGE observeert dat er geen mijnbouwactiviteiten in of nabij het winningsvergunningsgebied zijn die interfereren met de geothermische activiteiten van het Vierpolders systeem.

Er is ook geen overlap van het winningsvergunningsgebied met beschermde gebieden als grondwaterbeschermingszones of waterwingebieden. Vergunninghouder gaat wel in op de locatie van het Natuur Netwerk Nederland (NNN) en Natura 2000 gebieden. Hierbij stelt vergunninghouder dat de WABO-vergunning vaststelt dat het Vierpolders systeem geen effect heeft op beide gebieden. Hierbij is kennelijk uitgegaan van bovengrondse effecten en is bijvoorbeeld bodemdaling niet meegenomen.

7. Seismische Hazard en Risico Analyse (SHRA)

Ten behoeve van het Winningsplan voor het geothermiesysteem Vierpolders [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 [8] en de door DAGO gepubliceerde toevoeging hierop [9]. De resultaten van deze Quickscan zijn beschreven in het winningsplan [1].

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

7.1 Eerste drie vragen beslisboom

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

1. Is de afstand van het project tot een majeure breukzone <100 m of is het stromingsconcept gebaseerd op productie uit bestaande breuken?
2. 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 Vierpolders richt zich op matrix gedomineerde stroming en productie/injectie vindt niet plaats in een breukzone. Daarnaast ligt het systeem

Datum
20 januari 2020

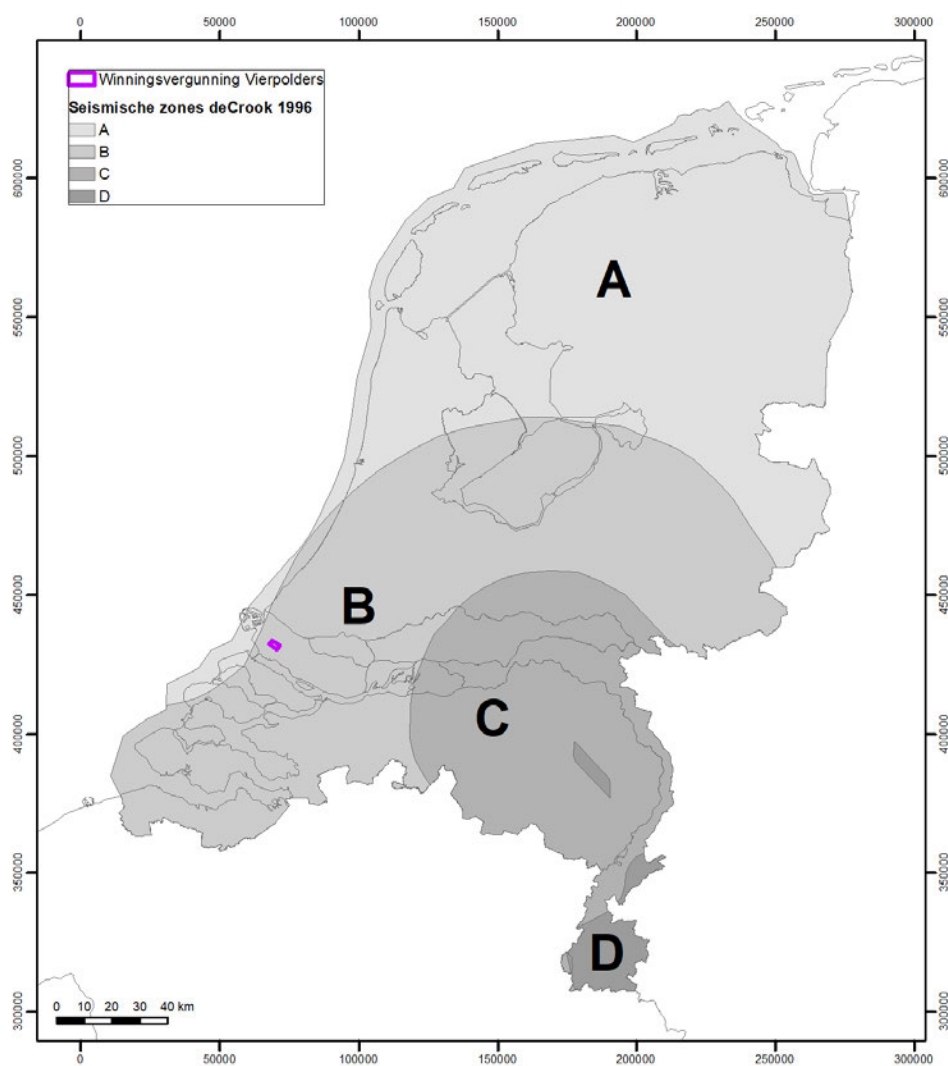
Onze referentie
AGE 20-10.007

Blad
15/29

niet binnen 100 m van een majeure breukzone. Dit blijkt uit Figuur 17 van [1], waarin de door de vergunninghouder geïnterpreteerde breuken worden gepresenteerd, en een controle van de seismiek door TNO-AGE.

Figuur 1 toont de zones A t/m D zoals gedefinieerd door De Crook (1996) [10]. Zones C en D kunnen worden gezien als de tektonisch actieve zone van de Roerdalslenk. Zoals te zien in Figuur 1 bevindt het geothermisch systeem Vierpolders zich in zone B en dus buiten deze tektonisch actieve zones. Tevens 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.*



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

7.2 Quicksan tabel

De bepaling van de score voor de 9 categorieën in de Quicksan tabel van de SHRA methodiek van Qcon en IF [8], door zowel de vergunninghouder als TNO-AGE, wordt hieronder beschreven en toegelicht.

Hydraulische connectie met het kristallijne basement

Beantwoording vergunninghouder

Vergunninghouder schetst twee scenario's:

- Kristallijnen basis bevindt zich onder de afzettingen van Devoon en Siluur ouderdom.
- Kristallijnen basis begint vanaf de top Carboon kalken (Zeeland Formatie).

Vergunninghouder stelt dat de verticale afstand tussen het reservoir (Trias zandstenen) tot de top Zeeland Formatie (tweede en meest conservatieve scenario) al meer dan 3 km is. De vergunninghouder onderbouwt deze stelling met een schematische doorsnede (Figuur 22) in [1]. Deze doorsnede geeft schematisch de diepte van de top van de Zeeland Formatie weer. Daarnaast stelt vergunninghouder dat er geen verbinding is met de kristallijnen basis en dat daarmee een score van 0 moet worden toegewezen.

Bevindingen TNO-AGE

De basis van het reservoir in de productieput ligt op ca. 2,7 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 Vierpolders de top Zeeland Formatie op ongeveer 5 km diepte verwacht. De nabijgelegen putten BHG-01, S02-02 en S05-01 laten zien dat de Zeeland Formatie in deze regio tenminste 1 km dik is.

Het is daarnaast aannemelijk dat onder afzettingen van de Zeeland Formatie (Dinantiën ouderdom) ook afzettingen van de 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 een score 0 gerechtvaardigd.

Drukcommunicatie tussen de productie- en injectieput

Beantwoording vergunninghouder

Vergunninghouder stelt op basis van de interferentietest dat er drukcommunicatie is tussen beide putten. De resulterende score moet daarom 0 zijn.

Bevindingen TNO-AGE

De methodiek van Qcon en IF [8] 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

Datum
20 januari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.007

Blad
17/29

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 2. Aan deze twee ontbrekende situaties is een score 3 toegekend.

De putten van het geothermiesysteem Vierpolders produceren en injecteren in dezelfde formatie, de laterale afstand op reservoirdiepte is 1684 m en de verticale separatie tussen de putten is ongeveer 140 m. Conform de methodiek van Qcon en IF [8] leidt dit tot een score van 3 voor deze categorie in de Quicksan tabel.

Tabel 2: 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 [8].

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 vergunninghouder heeft een interferentietest uitgevoerd tussen de putten van het doublet en geeft op basis daarvan aan dat er connectiviteit tussen de putten is waargenomen. Daarnaast wordt er meer dan 3 jaar geproduceerd uit het Vierpolders doublet. Uit de historische productiedata is op te maken dat de injectiedruk die nodig is om het gewenste debiet te halen door de jaren toeneemt. Dit zou er op kunnen wijzen dat er geen drukcommunicatie is met de productieput. Echter is er in de productieput geen evenredige drukafname zichtbaar (ten gevolge van drukdepletie) die bij de afwezigheid van communicatie te verwachten valt. De historische productiedata van de productieput laat een constante druk zien, voornamelijk in het laatste jaar. Derhalve is TNO-AGE van mening dat de toegenomen benodigde injectiedruk niet gerelateerd is aan de afwezigheid van drukcommunicatie tussen de putten.

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 (> 3 jaar) en vanwege de bevestiging van drukcommunicatie door de interferentietest.

Datum
20 januari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.007

Blad
18/29

Debiet

Beantwoording vergunninghouder

Vergunninghouder geeft een geprognoseerd systeemdebiet tussen de 150 en 350 m³/uur in [1]. Dit debiet valt in de 180 – 360 m³/uur categorie met een bijbehorende score van 7 punten. Vergunninghouder gaat echter uit van een score van 10, omdat het de bovengrens van 360 m³/uur benadert.

Bevindingen TNO-AGE

Zowel het beoogde gemiddelde debiet van ca. 250 m³/uur, als het maximaal voorgestelde debiet van 350 m³/uur vallen binnen dezelfde scorecategorie in de Quicksan tabel, namelijk een score van 7. Het maximale debiet lijkt echter niet haalbaar te zijn gezien de maximale injectiedruk volgens het SodM protocol [11]. Verder tonen de modelresultaten aan dat met de huidige skin in de injectieput ook het gemiddelde debiet niet haalbaar is, maar als de skin wordt verlaagd door bijvoorbeeld een schoonmaakactie is het gemiddelde debiet wel haalbaar.

TNO-AGE kent een score van 7 toe aan deze categorie op basis van het maximum debiet van 350 m³/uur zoals gegeven in het winningsplan [1].

Injectiedruk

Beantwoording vergunninghouder

De vergunninghouder geeft in het winningsplan [1] aan dat het geprognoseerde debiet maximaal 350 m³/uur is met een minimale injectietemperatuur van 25 °C. In de WABO is een maximaal debiet van 360 m³/uur opgenomen.

Vergunninghouder heeft in overleg met SodM (besluit met kenmerk 19074744 INS-261 dd. 2 april 2019) een debietsafhankelijke maximale injectiedruk aan de injectieputmond vastgesteld. Bij een maximaal systeemdebiet (in de WABO) van 360 m³/uur is de maximale injectiedruk aan de putmond 66 bar, oftewel 6,6 MPa. Dit wijkt af van de 59 bar die bepaald wordt met het injectieprotocol [11]. Vergunninghouder heeft echter in overleg met SodM de frictieverliezen in de verbuizing meegenomen (6,7 bar bij 360 m³/uur) [12]. Hieraan koppelt vergunninghouder een score van 7.

Bevindingen TNO-AGE

De vergunninghouder gebruikt voor de toetsing van de methodiek van Qcon en IF [8] de injectiedruk aan de putmond, de methodiek gaat echter uit van de injectiedruk op reservoirdiepte. De druk gemeten aan de putmond is in veel gevallen niet identiek aan het opgelegde drukverschil op reservoirdiepte.

Gebruikmakend van de parameters gegeven in Tabel 1 en de GeoMech tool, komt TNO-AGE op een maximale verschildruk van 66 bar op reservoirdiepte in de injectieput.

In paragraaf 4.2 is met behulp van DoubletCalc2D vastgesteld dat zowel met het gemiddelde debiet van 253 m³/uur als het maximale debiet van 350 m³/uur de maximale verschildruk op reservoirdiepte van 66 bar, zoals is vastgesteld volgens het SODM injectieprotocol [11], wordt overschreden. Dit is met de huidige vastgestelde skin in de injectieput van 6,7.

Zowel het beoogde gemiddelde als het maximale debiet laat een overschrijding zien van de 66 bar verschillendruk op reservoirdiepte zoals vastgesteld m.b.v. het injectieprotocol [11]. Om die reden gaat TNO-AGE uit van een maximale injectiedruk van 66 bar op reservoirdiepte, wat resulteert in een score van 7.

Afstand tot natuurlijke aardbevingen

Beantwoording vergunninghouder

De vergunninghouder stelt dat de afstand van de aardwarmtewinning bij Vierpolders tot natuurlijke aardbevingen meer dan 10 kilometer is. Er wordt gesteld dat de dichtstbijzijnde natuurlijke beving zich tussen Eindhoven en Weert bevindt. Dit is een afstand van ruim 110 km. Als onderbouwing geeft vergunninghouder in Figuur 23 [1] een kaartje met daarop geïnduceerde en tektonische aardbevingen in Nederland. Hierop gebaseerd stelt vergunninghouder dat de score 0 moet zijn.

Bevindingen TNO-AGE

Het kaartje in Figuur 23 [1] bevat geen bronvermelding. TNO-AGE gebruikt de tektonische aardbevingscatalogus van het KNMI, zoals deze te downloaden is van de desbetreffende website. Op basis van de KNMI dataset is de dichtstbijzijnde natuurlijke aardbeving bij Rilland, ongeveer 50 km ten zuiden van Vierpolders, nabij de grens met België.

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

Afstand tot geïnduceerde aardbevingen

Beantwoording vergunninghouder

De vergunninghouder stelt dat de afstand van de aardwarmtewinning bij Vierpolders tot geïnduceerde bevingen meer dan 10 kilometer is. Als onderbouwing geeft vergunninghouder in Figuur 23 in [1] een kaartje met daarop geïnduceerde en tektonische aardbevingen in Nederland. Hierop gebaseerd stelt vergunninghouder dat de score 0 moet zijn.

Bevindingen TNO-AGE

TNO-AGE gebruikt de geïnduceerde aardbevingscatalogus van het KNMI. De afstand wordt op dezelfde manier bepaald als bij natuurlijke bevingen. Hieruit blijkt dat de dichtstbijzijnde geïnduceerde aardbeving (Castricum Noordzee) zich op ruim 80 kilometer bevindt.

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

Afstand tot breuken

Beantwoording vergunninghouder

Vergunninghouder stelt dat de afstand tot bestaande breuken tussen de 0,5 en 1,5 kilometer is en dat daarmee de score 3 moet zijn. Vergunninghouder onderbouwt dit met een top-reservoir kaart met breuken in Figuur 17 [1] en twee seismische lijnen in Figuren 18 en 19 in [1].

Datum
20 januari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.007

Blad
20/29

Bevindingen TNO-AGE

TNO-AGE heeft de aangeleverde breukinterpretatie gecontroleerd met behulp van de 2D seismiek die het winningsgebied bedekt en is van mening dat de breukinterpretatie gegeven door vergunninghouder valide is. Op de seismiek zijn geen evidente breuken waarneembaar die dicht bij het geothermisch systeem zouden staan. De kortst mogelijke afstand tot bestaande breuken is tussen de 0,5 en 1,5 kilometer. De spatiering tussen de 2D seismische lijnen is over het algemeen kleiner dan 500 meter. De kwaliteit van deze 2D seismische lijnen is dermate hoog dat de top en basis van het reservoir en de breuken goed te herkennen zijn.

Op basis van bovenstaande bevindingen is TNO-AGE van mening dat een score van 3 gerechtvaardigd is.

Breukoriëntatie in het huidige spanningsveld

Beantwoording vergunninghouder

De vergunninghouder stelt dat de oriëntatie van de breuken in het gebied bij Vierpolders over het algemeen NW-ZO (330°) is. Vervolgens stelt vergunninghouder op basis van de World Stress Map dat de maximale horizontale stress oriëntatie 310° is. Vergunningshouder stelt op basis van deze oriëntaties dat “Als er louter naar deze oriëntaties gekeken zou worden dan zou de maximale horizontale stress een negatief effect op de breuken kunnen veroorzaken”. Om dit te ontkrachten haalt vergunninghouder een rapport over offshore CO₂ opslag in het West Nederland Bekken aan waarin gesteld wordt dat breukreactivatie in deze regio zeer onwaarschijnlijk is. Daarbij geeft vergunninghouder aan dat tot op heden geen seismiciteit in het West Nederland Bekken is waargenomen, zelfs na decennia van mijnbouwactiviteiten in het gebied. Op basis van deze bevindingen acht vergunninghouder een score van 3 gerechtvaardigd: *shearing unlikely*.

Bevindingen TNO-AGE

Zoals de methodiek van Qcon en IF beschrijft in [8] 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 westen van de injectieput met een breuklengte van meer dan 1 km en een afstand tot de injectieput van ca. 830 m, een oriëntatie heeft van gemiddeld 330° (overeenkomstig met de bepaling van vergunninghouder). Volgens [13] is de oriëntatie van het spanningsveld voor de Hoofd Bontzandsteen Subgroep 319° (± 24°). De hoek van de breukoriëntatie met de oriëntatie van het spanningsveld valt daarmee binnen de 25°. 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

Datum
20 januari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.007

Blad
21/29

deze effecten is nog niet meegenomen in de huidige SHRA methodiek. Het resultaat van het DoubletCalc2D model laat zien dat de koudwaterbel binnen 37 jaar nog niet de dichtstbijzijnde breuk bereikt. Bij deze audit volgt TNO-AGE vooralsnog de leidraad bij de beoordeling van deze categorie wat resulteert in een score van 10.

Volgens TNO-AGE is een score van 10 gerechtvaardigd aangezien de oriëntatie van een nabij gelegen breuk minder dan 25° afwijkt van de oriëntatie van het spanningsveld.

Netto geïnjecteerd volume

Beantwoording vergunninghouder

Vergunninghouder geeft aan dat er net zoveel water wordt geïnjecteerd als er geproduceerd wordt uit het reservoir. Daarbij stelt vergunninghouder dat het onttrokken methaangas uit het productiewater wordt gecompenseerd met de (beperkte) injectie van in het water opgeloste CO₂. Daarom kent de vergunninghouder een score van 0 toe aan deze categorie.

Bevindingen TNO-AGE

Er wordt bij Vierpolders 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.

7.3 Resultaat Quickscan scoretabel

Resultaat vergunninghouder

De vergunninghouder heeft de Quickscan scoretabel ingevuld en komt daarbij tot een genormaliseerde score van 0,26 (Tabel 3). Dit leidt tot een laag potentieel 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 3). De genormaliseerde score voor het geothermisch systeem Vierpolders, zoals resulteert uit de evaluatie van TNO-AGE o.b.v. de Qcon en IF methodiek [8], is 0,33. Het resultaat van TNO-AGE wijkt af van de uitkomst van de vergunninghouder (0,26) doordat TNO-AGE een hogere score geeft aan de categorieën “breukoriëntatie in huidig spanningsveld” (10 i.p.v. 3) en “drukcommunicatie tussen productie- en injectieput” (3 i.p.v. 0) en een lagere score aan de categorie “debiet” (7 i.p.v. 10). De score van 0,33 ligt op de grenswaarde van 0,33 en geeft dus een laag potentieel voor het induceren van seismiteit aan.

TNO-AGE is echter van mening dat ook rekening gehouden moet worden met de kennis opgedaan uit de productie. De score voor de categorie “drukcommunicatie tussen productie- en injectieput” kan dan op 0 worden gesteld waardoor de genormaliseerde score 0,30 wordt. Dit resulteert in een laag potentieel voor het induceren van seismiteit.

Datum
20 januari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.007

Blad
22/29

*Tabel 3: Resultaat Quickscore tabel. *TNO-AGE geeft een score conform [8], waarbij voor de categorie "drukcommunicatie tussen productie- en injectieput" rekening wordt gehouden met kennis opgedaan uit de productie.*

Score	Connectie met basement	Drukcommunicatie tussen productie- en injectieput	Injectiedruk	Debiet	Afstand tot natuurlijke aardbevingen	Afstand tot geïnduceerde aardbevingen	Afstand tot breuken en kwaliteit van seismiek	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	10	0	0	3	3	0	23	0,26
TNO-AGE conform [8]	0	3	7	7	0	0	3	10	0	30	0,33
TNO-AGE*	0	0	7	7	0	0	3	10	0	27	0,30

8. Conclusies

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

- Het Vierpolders geothermiesysteem laat een toenemende injectiedruk over de jaren heen zien, deze toename in druk wordt gerelateerd aan een toename in de skin in de injectieput, in mei 2019 is deze vastgesteld op 6,7. Voor de modellering hanteert TNO-AGE de skin in de injectie- en productieput zoals vastgesteld is op mei 2019 (tabel 1).
- De vergunninghouder geeft een bandbreedte voor het debiet en de injectietemperatuur, respectievelijk 150-350 m³/uur en 25-35 °C. Uit de prognose van vergunninghouder komt een gemiddeld debiet van 253 m³/uur. Uit de productiedata komt naar voren dat de gemiddelde injectietemperatuur van 30 °C goed overeenkomt met de historische injectietemperatuur. Deze gemiddelden worden gebruikt bij de door TNO-AGE uitgevoerde modelleringen.
- De uitkomst van de DoubletCalc2D modellering door TNO-AGE luidt als volgt:

Datum

20 januari 2020

Onze referentie

AGE 20-10.007

Blad

23/29

- Vanaf de productiestart tot het einde van de huidige winningsvergunning en winningsplan (1 oktober 2052) wordt naar verwachting 70,9 miljoen m³ water geproduceerd.
 - Afkoeling van 1 °C op de vergunningsgrens en doorbraak van 1 °C koeler water in de productieput wordt niet verwacht binnen 37 jaar productie (1 oktober 2052), en is dus buiten de huidige vergunningsduur.
 - Bij een gemiddeld debiet van 253 m³/uur en een skin van 6,7 in de injectieput wordt een verschildruk op reservoirdiepte van 68 bar berekend. Dit is een overschrijding van de maximale verschildruk van 66 bar, die bepaald is m.b.v. het injectieprotocol [11].
 - Bij het maximale debiet van 350 m³/uur en een skin van 6,7 in de injectieput wordt een verschildruk op reservoirdiepte van 95 bar berekend. Dit is een significante overschrijding van de maximale verschildruk van 66 bar, die bepaald is m.b.v. het injectieprotocol [11].
 - Binnen 37 jaar productie (1 oktober 2052) zal er naar verwachting geen afkoeling bij de randbreuken plaatsvinden.
 - De drukverandering t.o.v. de hydrostatische reservoirdruk bij de breuk ten westen van de productieput is beperkt tot 3 bar.
 - De verwachte maximale bodemdaling aan het eind van de vergunningsduur is ca. 4 mm.
- Er zijn geen mijnbouwactiviteiten in de nabijheid van de geothermische installatie, daarom wordt ook geen ondergrondse interferentie verwacht. Op gerede afstand van het winningsgebied Vierpolders liggen Natura2000- en Drinkwaterbeschermingsgebieden. Op basis van de DoubletCalc2D berekeningen wordt in deze gebieden geen bodemdaling verwacht ten gevolgen van de aardwarmteproductie.
 - TNO-AGE heeft een SHRA evaluatie uitgevoerd, met het volgende resultaat:
 - Wanneer de methodiek van Qcon en IF [11] strikt wordt gevolgd is de resulterende genormaliseerde seismisch potentieel score 0,33. Het resultaat van TNO-AGE wijkt af van de uitkomst van de vergunninghouder (0,26) doordat TNO-AGE een hogere score geeft aan de categorieën “breukoriëntatie in huidig spanningsveld” (10 i.p.v. 3) en “drukcommunicatie tussen productie- en injectieput” (3 i.p.v. 0), en een lagere score aan de categorie “debiet” (7 i.p.v. 10).
 - TNO-AGE is van mening dat, op basis van de productiedata van de afgelopen 4 jaar en de interferentietest die drukcommunicatie aantoon, in de categorie “drukcommunicatie tussen productie- en injectieput” afgeweken kan worden van de leidraad [8] en een score van 0 kan worden toegekend. Dit leidt tot een genormaliseerde score van 0,30, met een bijbehorend laag potentieel voor induceren van seismiciteit.

Datum
20 januari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.007

Blad
24/29

9. Aanbevelingen

TNO-AGE geeft ter overweging om in het besluit de injectieverschilddruk op reservoirdiepte te limiteren op 66 bar, zoals bepaald o.b.v. het huidige SodM injectieprotocol [11].

Referenties

- [1] Hydreco GeoMEC B.V., 21 augustus 2019. Winningsplan Aardwarmte Vierpolders Versie 8.
- [2] Hydreco GeoMEC B.V., 21 augustus 2019. Winningsplan aardwarmte Vierpolders. Aanvullende vragen TNO. Ontvangen 17 juni 2019 via EZK.
- [3] TNO-AGE, 30 maart 2017. Geo-technische evaluatie aanvraag winningsvergunning aardwarmte Vierpolders. Referentie AGE 17-10.028.
- [4] GeoService GmbH, 4 augustus 2015. BRI-GT-01, Netherlands. Lithology Log, 1:1000.
- [5] PanTerra Geoconsultants B.V., 3 september 2015. Analysis of Welltest BRI-GT-01. G1077.
- [6] PanTerra Geoconsultants B.V., 2 oktober 2015. Analysis of Welltest BRI-GT-02. G1177.
- [7] PanTerra Geoconsultants B.V., 1 september 2015. PVT Water Analysis Draft Report. Well BRI-GT-01. Aardwarmte Vierpolders.
- [8] Qcon GmbH & IF Technology B.V., 5 oktober 2016. Defining the Framework for seismic Hazard Assessment in Geothermal Projects V0.1.
- [9] DAGO, 2018. "SHRA Richtlijn richtinggevende suggesties".
- [10] 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.
- [11] SodM, 2013. Protocol bepaling maximale injectiedrukken bij aardwarmtewinning, Versie 2.
- [12] Hydreco GeoMEC B.V., 20 december 2018. Verzoek verhoging maximale injectiedruk.
- [13] Mechelse, Eelco, 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. Msc Thesis TUD. <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3Ab77fc7ef-c316-424f-928d-877947e9ef03>

Datum
20 januari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.007

Blad
25/29

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

Geotechnics (Input)

Property	min	median	max
aquifer permeability (mD)	117.0	143.0	194.0
aquifer net to gross (-)	0.75	0.8	0.85
aquifer gross thickness (m)	176.0	205.0	231.0
aquifer top at producer (m TVD)	1922.0	2136.0	2349.0
aquifer top at injector (m TVD)	1818.0	2020.0	2222.0
aquifer water salinity (ppm)	110000.0	116298.0	120000.0

Property	value
number of simulation runs (-)	1000.0
aquifer kh/kv ratio (-)	1.0
surface temperature (°C)	10.0
geothermal gradient (°C/m)	0.0334
[mid aquifer temperature producer (°C)]	0.0
initial aquifer pressure at producer (bar)	0.0
[initial aquifer pressure at injector (bar)]	0.0
exit temperature heat exchanger (°C)	34.7
distance wells at aquifer level (m)	1684.0
pump system efficiency (-)	0.61
production pump depth (m)	610.0
pump pressure difference (bar)	76.0
outer diameter producer (inch)	8.5
skin producer (-)	0.1
skin due to penetration angle p (-)	-1.37
pipe segment sections p (m AH)	610.0,1245.0,2680.0,2772.0
pipe segment depth p (m TVD)	607.0,1154.0,2108.0,2165.0
pipe inner diameter p (inch)	7.92,12.41,8.68,5.92
pipe roughness p (milli-inch)	1.19,1.19,1.19,1.19
outer diameter injector (inch)	8.5
skin injector (-)	4.3
skin due to penetration angle i (-)	-1.63
pipe segment sections i (m AH)	127.0,1111.0,2217.0,2276.0
pipe segment depth i (m TVD)	127.0,1111.0,1986.0,2024.0
pipe inner diameter i (inch)	8.68,12.41,8.68,5.92
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)	20.5	23.6	28.28
mass flow (kg/s)	64.42	73.32	85.28
pump volume flow (m³/h)	219.0	250.0	290.6
required pump power (kW)	758.1	865.3	1005.7
geothermal power (MW)	11.11	13.08	15.64
COP (kW/kW)	13.9	15.1	16.3

aquifer pressure at producer (bar)	207.86	220.5	233.5
aquifer pressure at injector (bar)	194.37	205.99	217.78
pressure difference at producer (bar)	20.17	20.87	21.55
pressure difference at injector (bar)	53.11	54.51	55.74
aquifer temperature at producer * (°C)	80.76	84.77	88.73
temperature at heat exchanger (°C)	79.31	83.23	86.99

base case (median value inputs)	value
aquifer kH net (Dm)	23.45
mass flow (kg/s)	72.61
pump volume flow (m³/h)	247.3
required pump power (kW)	855.9
geothermal power (MW)	12.94
COP (kW/kW)	15.1

aquifer pressure at producer (bar)	220.55
aquifer pressure at injector (bar)	206.05
pressure difference at producer (bar)	20.92
pressure difference at injector (bar)	54.64
aquifer temperature at producer * (°C)	84.75
temperature at heat exchanger (°C)	83.17
pressure at heat exchanger (bar)	47.57

* @ mid aquifer depth

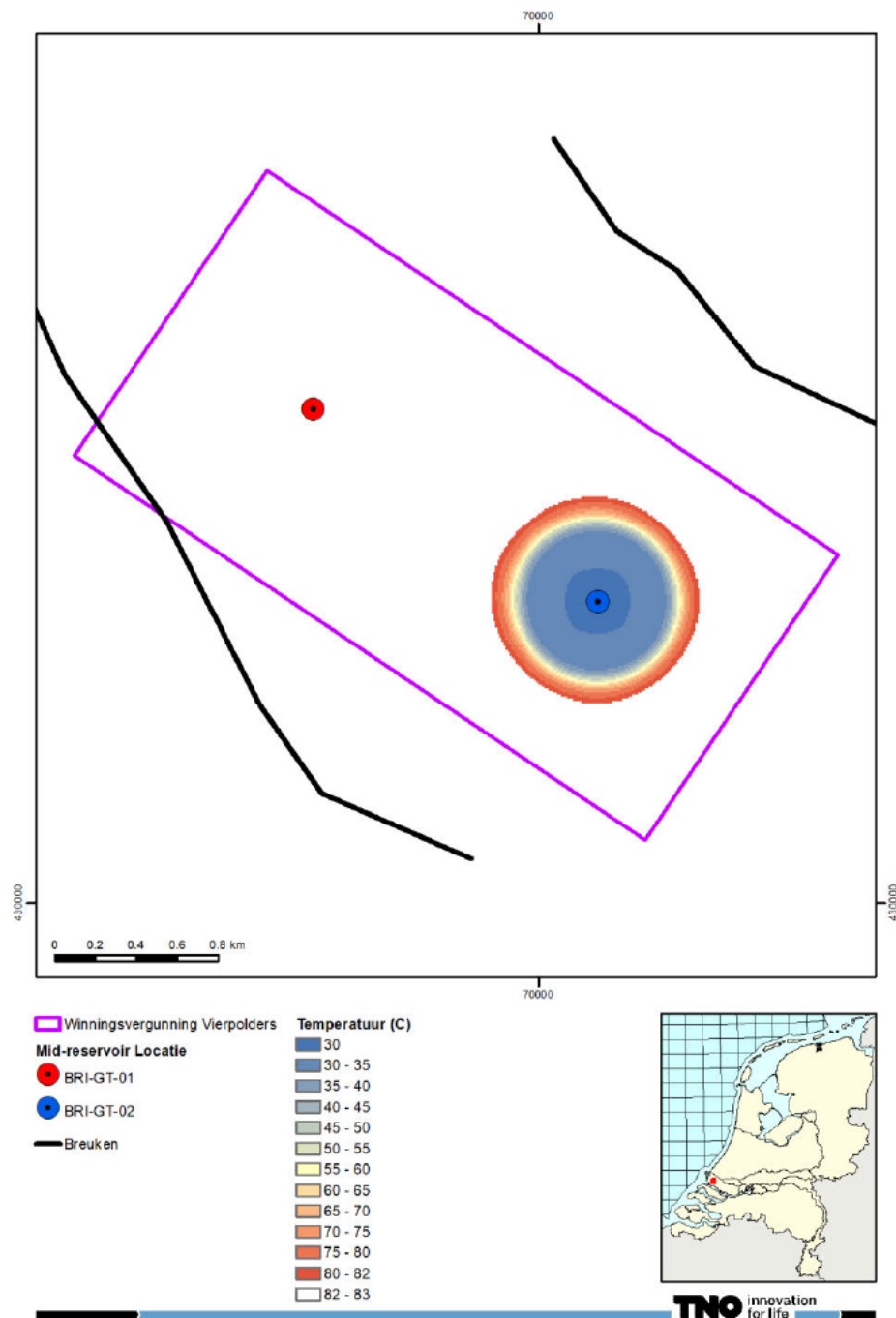
Figuur 1: DoubletCalc1D uitvoer van het TNO-AGE scenario.

Datum
20 januari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.007

Blad
26/29

DoubletCalc2D uitvoer

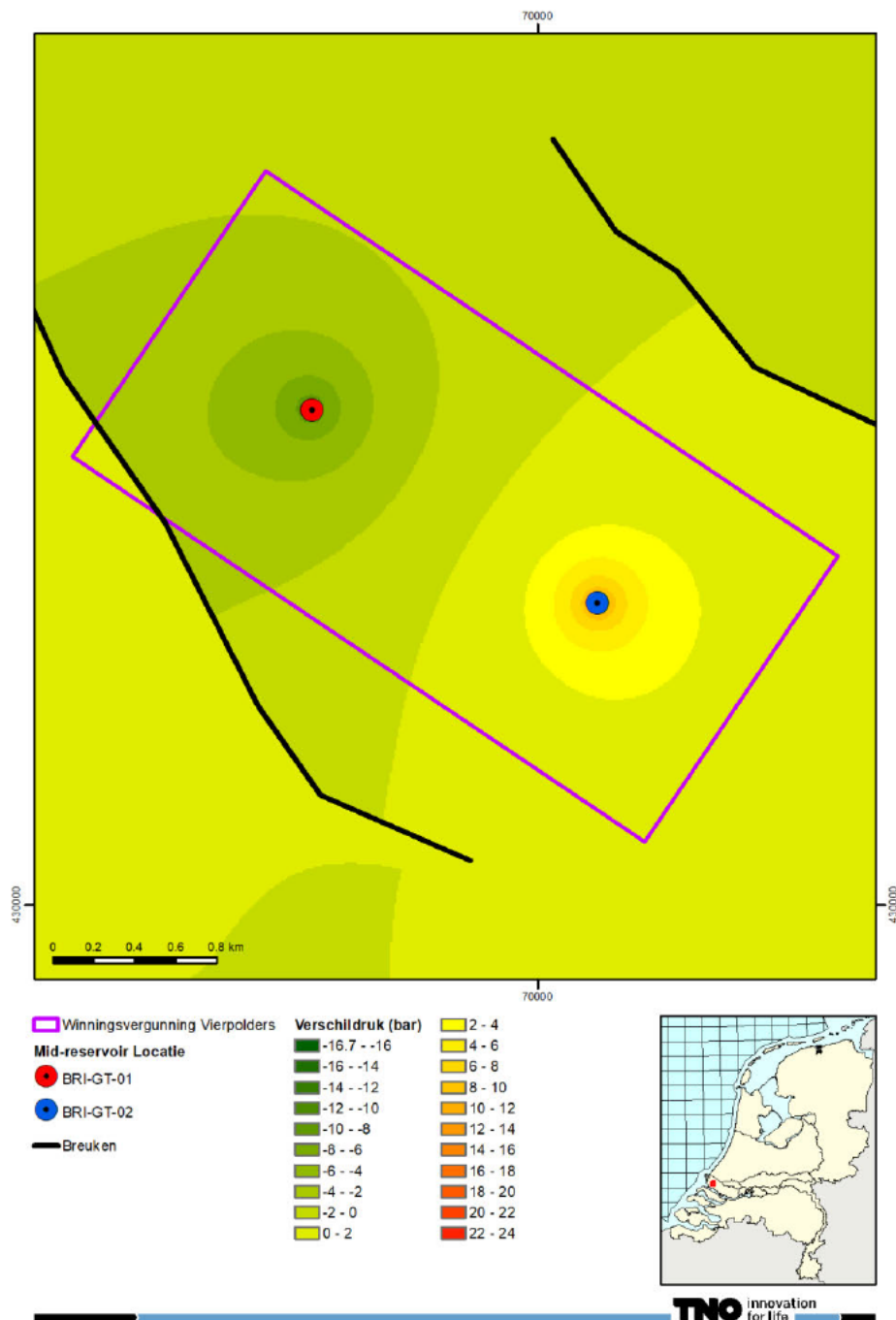


Figuur 2: DoubletCalc2D uitvoer van het TNO-AGE scenario. De kaart toont de temperatuur op reservoirdiepte aan het einde van de huidige winningsvergunningsduur, dus 37 jaar (1 oktober 2052) na de start van de productie.

Datum
20 januari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.007

Blad
27/29

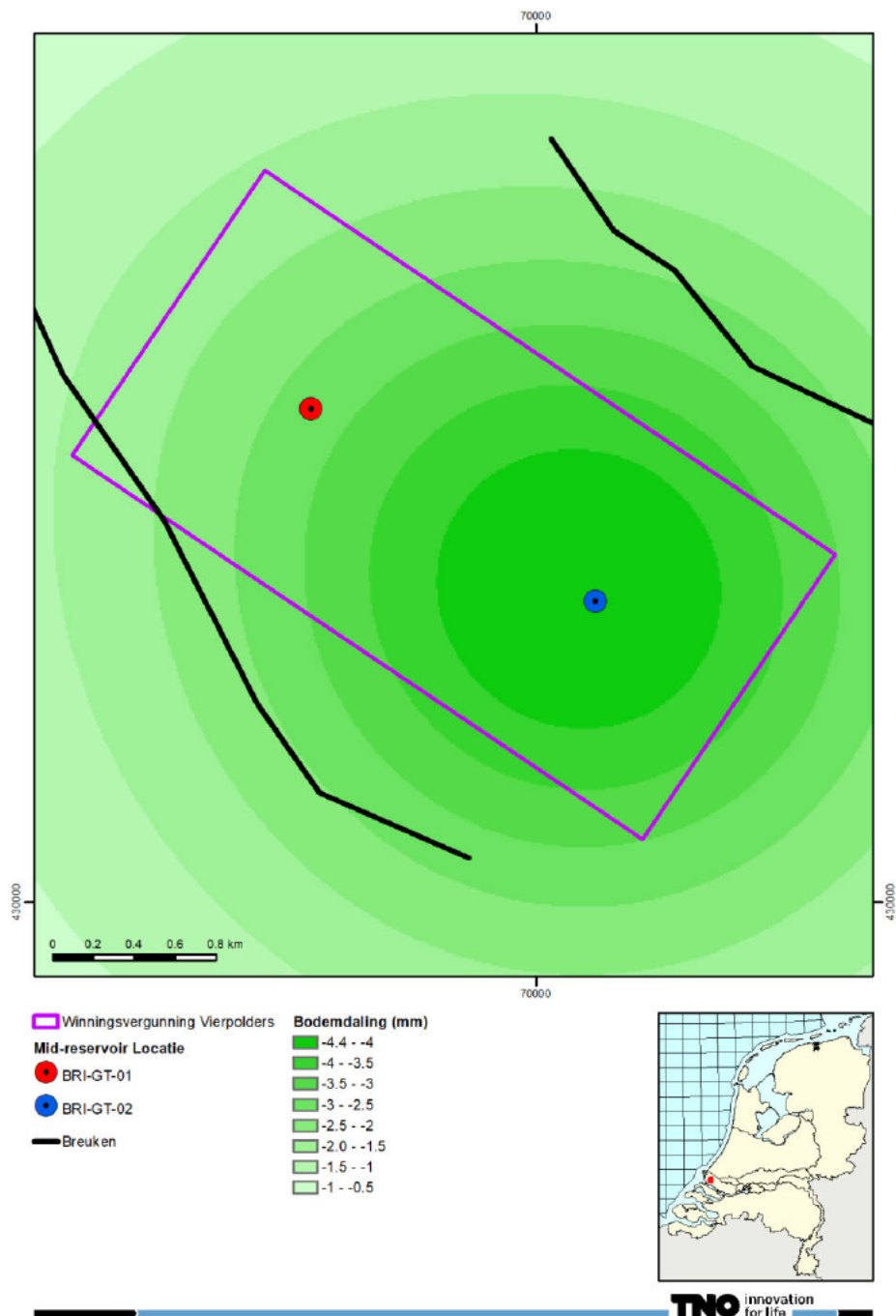


Figuur 3: DoubletCalc2D uitvoer van het TNO-AGE. De kaart toont de drukverandering op reservoirdiepte aan het einde van de huidige winningsvergunningsduur, dus 37 jaar (1 oktober 2052) na de start van de productie.

Datum
20 januari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.007

Blad
28/29



Figuur4: DoubletCalc2D uitvoer van het TNO-AGE. De kaart toont de mate van bodemdaling aan het einde van de huidige winningsvergunningsduur, 37 (1 oktober 2052) jaar na start productie.

Datum
20 januari 2020

Onze referentie
AGE 20-10.007

Blad
29/29

Bijlage 3: Erratalijst

- Vergunninghouder heeft wat de watersamenstelling betreft enkel de kationen als tabel toegevoegd, de anionen ontbreken. Hiermee is de door vergunninghouder aangeleverde watersamenstelling onvolledig.
- De historische productiedata (die hoeveelheid geproduceerde water) die door vergunninghouder is gegeven in tabel 10 in [1] komt niet overeen met de historische productie data die door vergunninghouder in het verleden maandelijks is aangeleverd aan TNO.
- De geprognoseerde productiedata gegeven in tabel 10 in [1] loopt tot eind 2051. De winningsvergunning Vierpolders heeft een duur tot 1 oktober 2052.
- Het DoubletCalc2D scenario van vergunninghouder is niet uitgegaan van de coördinaten en ligging van de winningsvergunning Vierpolders. Daarbij is vergunninghouder uitgegaan van een rechthoekig modelgebied, waardoor de gridcellen en de uitkomsten op een anomale locatie wordt weergegeven.
- Bij de keuze van de afstand van Vierpolders t.o.v. natuurlijke en geïnduceerde bevingen lijkt vergunninghouder dichter gelegen bevingen die geplot zijn in Figuur 23 in [1] te negeren.