

Retouradres: Postbus 80015, 3508 TA Utrecht

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



Onderwerp
Advies instemming tijdelijk winningsplan Aardwarmte Den Haag

Geachte [REDACTED],

Naar aanleiding van uw adviesverzoek van 11 februari 2020 (per email) ter ondersteuning van het te nemen instemmingsbesluit betreffende het winningsplan aardwarmte, Aardwarmte Den Haag van 30 januari 2020 aangeleverd door Haagse Aardwarmte Leyweg 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.

Adviesverzoek

Het ministerie van Economische Zaken en Klimaat heeft TNO-AGE gevraagd om advies uit te brengen op het ingediende winningsplan Aardwarmte Den Haag op de volgende onderwerpen:

- a) 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.
- b) Veiligheid van omwonenden, schade aan gebouwen of infrastructurele werken als gevolg van bodembeweging:
 - Bodemtrillingen;
 - Bodemdaling/stijging prognoses;

Compleetheid winningsplan

De vergunninghouder heeft ter ondersteuning van het winningsplan een aantal documenten aangeleverd. TNO-AGE heeft de aangeleverde documenten op compleetheid gecontroleerd. Op 13 mei 2020 is een verzoek uitgegaan voor

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

T +31 88 866 42 56

Datum
16 juni 2020

Onze referentie
AGE 20-10.055

Contactpersoon
[REDACTED]

E-mail
[REDACTED]@tno.nl

Uw referentie
IV-131

Bijlage(n)
4

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

Handelsregisternummer 27376655.

Datum

16 juni 2020

Onze referentie

AGE 20-10.055

Blad

2/27

aanvullende gegevens over de seismiek. De aangeleverde documenten worden hieronder kort beschreven.

- Een geologisch rapport ter ondersteuning van een SDE+ subsidie aanvraag d.d. 17 maart 2018 [9].
- Twee separate rapportages met de puttest analyse van HAG-GT-01 en -02, d.d. maart en april 2018 [2] & [3].
- Een rapportage met de analyse van de interferentietest van HAG-GT-01 en HAG-GT-02, datum onbekend [4].
- Een korte beschrijving van de seismische interpretatie van het gebied rondom de winningsvergunning voor aardwarmte, Aardwarmte Den Haag d.d. januari 2019 [5].
- Een SHA quickscan rapportage d.d. januari 2019 [6].
- Een PowerPoint presentatie met de resultaten van een SHA level II d.d. januari 2020 [7].
- Een PowerPoint presentatie met een beschrijving van een seismisch monitoring systeem d.d. november 2019 [8].
- Een document met aanvullende informatie naar aanleiding van vragen van SodM d.d. maart 2020 [13].
- Een document met aanvullende informatie naar aanleiding van vragen van TNO-AGE d.d. 28 mei 2020 [14].

Beschrijving winning

In het gebied dat is gedefinieerd als de winningsvergunning voor aardwarmte Den Haag (ca. 9,86 km²) ligt één doublet. Het doublet bestaat uit een productieput (HAG-GT-01) en een injectieput (HAG-GT-02), beiden geboord in 2010. De productie van aardwarmte is nog niet gestart.

Het aardwarmtesysteem is gericht op de watervoerende lagen van het Delft Zandsteen Laagpakket. De vergunninghouder is voornemens om warmte te winnen met een temperatuur van 80°C, dat vervolgens weer wordt geïnjecteerd met een temperatuur van gemiddeld 54°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. Gemiddeld wil de vergunninghouder een debiet van 107 m³/uur toepassen bij een injectiedruk van gemiddeld 4,3 bar. Vergunninghouder verwacht per jaar 71,2 gigajoule (GJ) aan energie te kunnen winnen. Daarnaast verwacht de vergunninghouder dat er een totaal volume van 33 miljoen m³ water wordt geproduceerd. De gewonnen warmte gaat gebruikt worden voor verwarming van woningen en bedrijven via het stadsverwarmingsnet. Een schematisch overzicht van het systeem en de putten wordt gepresenteerd in [1].

De vergunninghouder voorziet in de nabije toekomst geen uitbreiding van de winningsinstallatie in de zin van het boren van extra putten. Ook stimuleringsmaatregelen en extra afkoeling van het water zijn op korte termijn niet voorzien.

Datum
16 juni 2020

Onze referentie
AGE 20-10.055

Blad
3/27

Beantwoording adviesvragen

Planmatig gebruik van de ondergrond

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

De modelresultaten met het geprognostiseerde debiet tonen aan dat er tijdens productie geen overschrijding is van de maximale injectiedruk volgens het SodM protocol (2013) [12] op reservoirdiepte.

Het geproduceerde formatiewater bevat ca. 1,0 m³ opgelost gas per m³ water [1]. Deze verhouding komt overeen met wat soortgelijke geothermische installaties in de ruime omgeving produceren. Vergunninghouder geeft aan dat het mee geproduceerde gas na behandeling nuttig aangewend wordt in de stookinstallatie.

In de ruime omgeving van het beoogde doublet, is de operationele geothermische installatie binnen de winningsvergunning Poeldijk het meest nabij. Vergunninghouder meldt dat geen interferentie met dit doublet verwacht wordt en baseert zich hierbij op een DoubletCalc2D scenario.

TNO-AGE heeft drie eigen DoubletCalc2D scenario's opgesteld die de bandbreedte in permeabiliteit en de mogelijke afsluiting door de aanwezige breuken omvatten. Geen van de drie scenario's wijst op interferentie met het doublet in de Poeldijk winningsvergunning.

De modelresultaten van TNO-AGE laten daarnaast zien dat de koudwaterbel, na 35 jaar productie, in alle scenario's volledig binnen de huidige vergunningsgrens ligt.

Bodemdaling

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

TNO-AGE concludeert dat de modelmatig berekende maximale bodemdaling ten gevolge van de winning van aardwarmte 1,1 tot 1,2 mm is na 35 jaar productie, afhankelijk van het toegepaste scenario. Dit is minder dan het modelresultaat van de vergunninghouder (1,7 mm). De vergunninghouder heeft een grotere bodemdaling berekend, omdat ze in hun modelberekening een hoger debiet hebben toegepast dan TNO-AGE. Dit is het debiet dat ze volgens het winningsplan alleen in het winterseizoen zullen toepassen en is daarom volgens TNO-AGE te hoog om de bodemdaling mee te modelleren.

Bodemtrilling

TNO-AGE komt uit op een lage seismische dreiging voor Aardwarmte Den Haag.

Datum

16 juni 2020

Onze referentie

AGE 20-10.055

Blad

4/27

Dit correspondeert met het resultaat van de vergunninghouder, die uitkomt op een laag potentieel voor het induceren van seismiteit. De vergunninghouder rapporteert een genormaliseerde seismisch potentieel score van 0,29. TNO-AGE komt op een score van 0,26. TNO-AGE komt op een lagere score omdat de breuken rond de injectieput in het door TNO-AGE gebruikte seismische model op meer dan 100 meter liggen. De laterale positie van de breuken, met name rond de injectieput, blijkt significant te verschillen afhankelijk van de versie van de publiek toegankelijke seismische processingresultaten. Vooralsnog geeft TNO-AGE de voorkeur aan de meest recente processing. De vergunninghouder heeft desondanks een evaluatie van de locatie specifieke seismische dreiging uitgevoerd (level 2 SHA) [7]. Ook hieruit volgt dat de kans op bodemtrillingen als gevolg van de aardwarmtewinning laag zijn. Na evaluatie van de rapportage komt TNO-AGE tot dezelfde resultaten

Aanvullende adviezen

- Modelmatig ziet TNO-AGE geen directe indicatie voor mogelijke opbouw van kritische spanningen in de ondergrond als gevolg van de aardwarmtewinning. Wel moet worden opgemerkt dat TNO-AGE niet kan uitsluiten dat er nabij de injectieput nog meer breuken aanwezig zijn die niet zijn opgemerkt in de seismiek. De injectielocatie ligt namelijk in het midden van een smal breukblok tussen twee breuken in een zogenaamde 'fault transfer zone'. Daarnaast bevindt het doublet zich op ca. 2 km beneden de bebouwde omgeving. TNO-AGE adviseert daarom de monitoring en mitigerende maatregelen zoals voorgesteld in de level 2 locatie specifieke SHA [7] te handhaven. Deze wijken deels af van de maatregelen die worden beschreven in het winningsplan [1].
- Daarnaast adviseert TNO-AGE een intensieve monitoring van de druk in zowel de injectie- als productieput. Dit geeft meer houvast om de connectiviteit en de evolutie van het ondergrondse drukveld te begrijpen in relatie tot debieten, skins en injectie- en productiedruk.
- Als aanvulling op deze maatregelen beveelt TNO-AGE aan voor aanvang van productie een 'baseline' te meten om zo de bestaande ruis ('ambient noise level') en eventuele natuurlijke seismische achtergrond te bepalen.

Ik verwacht u hiermee van dienst te zijn geweest.

Met vriendelijke groet,

Hoofd Adviesgroep Economische Zaken en Klimaat

Bijlage 1: samenvatting evaluatieresultaten

Bijlage 2: resultaten DoubletCalc modelberekeningen

Bijlage 3: SHRA evaluatie kaarten

Bijlage 4: erratalijst

Datum
16 juni 2020

Onze referentie
AGE 20-10.055

Blad
5/27

Bijlage 1: geotechnische evaluatie winningsplan geothermie Aardwarmte Den Haag

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

DoubletCalc2D modellering

De temperatuur-, druk- en bodemdalingskaarten die het resultaat zijn van de DoubletCalc2D modellering worden gegeven in Bijlage 2. Voor de analyse in DC2D heeft TNO-AGE drie scenario's toegepast die de bandbreedte in permeabiliteit en de mogelijke afsluiting door de aanwezige breuken omvatten. Er is gekozen meerdere scenario's uit te werken, omdat er uit de puttesten geen eenduidige reservoirpermeabiliteit is af te leiden en omdat niet met zekerheid kan worden vastgesteld of de breuken afsluitend zijn.

TNO-AGE heeft de seismiek geïnterpreteerd en deze gebruikt in de modellering. Het is TNO-AGE opgevallen dat de laterale positie van de breuken ten opzichte van de putlocaties, puttrajecten en bebouwing verschilt (~100-200 meter) afhankelijk van de jaargang van de seismische processing. Dit heeft een significante invloed op met name de gemodelleerde druk- en temperatuurverdeling bij en rondom de putten van het doublet. De vergunninghouder heeft een relatief oudere processing gebruikt als basis voor de interpretatie (uit 2008) [14]. TNO-AGE geeft de voorkeur aan de meer recente processing van de NAM (uit 2014 en 2016). Hoewel de recentere versies sterk gefilterd zijn, is de geologische structuur beter zichtbaar en acht TNO-AGE het toegepaste tijd-diepte model van betere kwaliteit.

Er zijn drie scenario's uitgewerkt (zie Tabel 1). In het eerste en tweede scenario is een isotroop permeabiliteitsveld voor het reservoir toegepast die TNO-AGE het meest waarschijnlijk acht en volgt uit de analyse van interferentietest van de putten.

In het eerste scenario zijn alle door TNO-AGE gekarteerde breuken als afsluitend meegenomen. Op basis van de door de vergunninghouder aangeleverde gegevens is het debiet gemiddeld over een heel jaar, rekening houdend met de opgegeven vollast-uren. Hierbij heeft TNO-AGE ook een jaarlijks gemiddelde injectie-temperatuur berekend. Het debiet dat is toegepast in het eerste scenario bedraagt 107 m³/h met een injectietemperatuur van 54°C (zie Tabel 1).

In het tweede scenario is aangenomen dat de breuken slechts gedeeltelijk afsluitend zijn. Hierbij is wel aangenomen dat de breuk afsluitend moet zijn waar het verzet groter is dan de dikte van het reservoir. Het permeabiliteitsveld is gelijk aan het eerste scenario. In het tweede scenario is hetzelfde debiet en dezelfde injectietemperatuur aangehouden als in het eerste scenario (zie Tabel 1).

Datum
16 juni 2020

Onze referentie
AGE 20-10.055

Blad
6/27

Een derde scenario is uitgewerkt om de “worst case” weer te geven (zie Tabel 1). De bedoeling van dit scenario is aan te geven hoe ver het debiet en de injectietemperatuur van productieplan af zitten van condities waarbij kritische spanningen worden verwacht. De gemiddelde permeabiliteit is daarbij verlaagd naar de minimum waarde die uit de interferentietest analyse is gekomen. In dit scenario is aangenomen dat de gekarteerde breuken volledig afsluitend zijn. Daarnaast is de minimale injectietemperatuur aangehouden (zoals door de vergunninghouder opgegeven voor het winterseizoen). Het debiet is verhoogd tot wat maximaal mogelijk is zonder tot een kritische ondergrondse spanning te komen in het reservoir dat direct aansluit op de injectieput. Deze injectiedruk is iets lager dan de maximale injectiedruk die is toegestaan volgens het SodM protocol [10] (45 bar in plaats van 46 bar).

Scenario	Gem. permeabiliteit (mD)	Debiet (m ³ /u)	injectie temp. (°C)	Breuken afsluitend
1	1350	107	54	volledig
2	1350	107	54	gedeeltelijk
3	280	137	45	volledig

Tabel 1: Overzicht van de gemodelleerde scenario's.

De resultaten van de modellering kunnen als volgt worden samengevat:

- Vanaf de productiestart tot het einde van de huidige winningsvergunning berekent TNO-AGE, op basis van de productieprognoses van de vergunninghouder, dat er een totaal volume van 33 miljoen m³ water wordt geproduceerd.
- In geen van de gemodelleerde scenario's bereikt de koudwaterbel binnen 35 jaar de vergunningsgrens.
- Na 35 jaar productie is de maximale afkoeling bij de dichtstbijzijnde breuken 20°C in scenario 1, 12°C in scenario 2 en 21°C in scenario 3. De maximale drukverandering varieert bij dezelfde breuken na 35 jaar van 1,9 bar in scenario 1, 0,7 bar in scenario 2 tot 16 bar in scenario 3. Breuken kunnen (deels) minder stabiel worden als gevolg van spanningsafname door afkoeling. De effecten hiervan zijn ook door TNO-AGE gemodelleerd en de resultaten worden hieronder beschreven.
- De maximale injectiedruk op reservoirdiepte conform het SodM protocol [10] voor Aardwarmte Den Haag is 46 bar. Aardwarmte Den Haag blijft onder dit maximum als de productie wordt aangehouden die in het winningsplan staat beschreven.

Interferentie

- Ten zuidwesten van de winningsvergunning Den Haag ligt de winningsvergunning Poeldijk. De minimale afstand tussen de vergunningsgrenzen is slechts 600 m. Er wordt echter geen tot minimale interferentie verwacht, omdat beide vergunningsgebieden ondergronds hydraulisch van elkaar worden gescheiden door een breuk met groot verzet.

Datum

16 juni 2020

Onze referentie

AGE 20-10.055

Blad

7/27

- Er zijn op dit moment geen andere mijnbouwactiviteiten direct aansluitend aan de geothermische installatie, daarom wordt geen ondergrondse interferentie verwacht.
- De dichtstbijzijnde Natura2000 gebieden liggen ten westen en noorden van de winningsvergunning. Op ongeveer 650 meter van de winningsvergunning ligt het Westduinpark. Op basis van de DoubletCalc2D berekeningen is de verwachte bodemdaling ten gevolge van de aardwarmteproductie voor dit gebieden maximaal ca. 0,5 mm na 35 jaar productie (einde winningsvergunning). Voor de gebieden Wapendal (op ~900 m) en Solleveld & Kapittelduinen (op ~700m) is de maximale gemodelleerde bodemdaling ca. 0,4 mm na 35 jaar productie.

Seismisch Risico en Hazard Analyse (SHRA) quickscan

- Voor de SHRA quickscan [6] heeft de vergunninghouder een genormaliseerde seismisch potentieel score van 0,29 bepaald en in het winningsplan beschreven. In de aanvullende documentatie komt de vergunninghouder echter op een score van 0,26 [6]. Het verschil wordt veroorzaakt door een andere score voor de communicatie tussen de putten. De uitgevoerde interferentietest laat zien dat er druk-communicatie tussen de putten is, maar ook dat er een discrepantie is tussen de permeabiliteit uit de individuele puttesten en die uit de interferentietest. Een mogelijke verklaring is dat er tussen de injectie- en productieput een permeabiliteitsbarrière bestaat. In beide gevallen komt de vergunninghouder tot de conclusie dat een level 2 locatie specifieke SHA moet worden uitgevoerd, omdat de injectieput minder dan 100 meter verwijderd ligt van een majeure breukzone.
- TNO-AGE heeft, ter vergelijking, dezelfde Quick-scan evaluatie uitgevoerd en komt eveneens op een score van 0,26. Het resultaat van TNO-AGE wijkt af van de uitkomst van de vergunninghouder in het winningsplan, omdat de afstand tot de door TNO-AGE gekarteerde breuken niet minder dan 100 meter is, maar meer. Voor de andere factoren neemt TNO-AGE de score zoals vermeld in het winningsplan over. Conform de leidraad van Qcon en IF [10] zou de level 2 locatie specifieke SHA niet hoeven worden uitgevoerd. Uit de seismische interpretatie blijkt dat er meerdere breuken aanwezig zijn die de directe stroomdoorgang van injectie- naar productie put mogelijk onderbreken. Daarnaast laat de interferentietest zien dat de aanliggende breuken zeer waarschijnlijk van invloed zijn op de mate van connectiviteit tussen de putten. TNO-AGE kan zich daarom vinden in de keuze van de vergunninghouder om een level 2 locatie specifieke SHA uit te laten voeren.

Level 2 locatie specifieke Seismisch Risico en Hazard Analyse (SHRA)

TNO-AGE heeft de level 2 locatie specifieke SHA van de vergunninghouder [7] geëvalueerd en heeft hierbij alleen gekeken naar de gevolgen van productie op het ondergrondse spanningsveld tijdens de periode van 35 jaar geothermische productie. Er is door TNO-AGE voor elk van de drie hierboven beschreven scenario's een Mohr diagram opgesteld die de situatie weergeeft in het reservoir direct aansluitend aan de injectieput na 35 jaar productie (zie Bijlage 3). De

vergunninghouder heeft vergelijkbare Mohr diagrammen gemaakt voor hun eigen scenario's.

Additioneel zijn er voor de twee breuken die het dichtst bij de injectieput liggen Mohr diagrammen berekend die het spanningsveld weergeven op de plek waar de grootste druk- en temperatuurverandering worden verwacht (op basis van de DoubletCalc 2D modellering). Hierbij is alleen gekeken naar het 'worst case' scenario, scenario 3.

Veel van de invoerparameters hebben een grote onzekerheid in de waarde-inschatting. Om de onzekerheid in beeld te brengen en om te laten zien welk effect ze hebben op het spanningsveld bij de breuken is een Monte Carlo analyse uitgevoerd. De spreiding die is aangenomen per parameter representeert de variatie die TNO-AGE waarschijnlijk acht. De parameters die een variatie hebben toegekend gekregen zijn o.a. permeabiliteit, temperatuur, spanningsgradiënten, de oriëntatie van het spanningsveld en de breuken, de belangrijkste geomechanische constanten en de bruto dikte van het reservoir. De onzekerheid met betrekking tot de afstand tussen de breuken en de injectieput is niet direct meegenomen, maar is verdisconteert in de variatie van de drukverandering.

De bevindingen kunnen als volgt worden samengevat:

- De vergunninghouder concludeert op basis van de uitgevoerde level 2 locatie specifieke SHA [7] dat de ondergrond door de voorgenomen productieduur en het voorgenomen productievolume niet in een kritische staat van spanning wordt gebracht.
- Voor de analyse heeft TNO-AGE zich beperkt tot het maken van Mohr diagrammen die op basis van de DoubletCalc 2D modelresultaten zijn ingevuld. Hieruit blijkt, in overeenstemming met de vergunninghouder en op basis van het ondergrondse model van TNO-AGE, dat de spanningen in de ondergrond naar verwachting ver van kritische staat blijven. TNO-AGE acht het in het kader van deze audit voldoende om voorgaande evaluatie grondig te evalueren. De aanvullende 'finite element' modelleringsmethode van de vergunninghouder is door TNO-AGE kwalitatief geëvalueerd. TNO-AGE beschouwt dit als een zeer waardevolle en goede aanvulling en verificatie van de eerste orde analyseresultaten.
- De eerste orde benadering met behulp van de Mohrcirkels geeft aan dat de spanningen relatief laag blijven. Een groot aantal van de benodigde parameters zijn op dit moment nog wel erg onzeker. TNO-AGE ziet daarom een meerwaarde in het modelleren van deze onzekerheden binnen een Monte-Carlo simulatie in combinatie met Mohr diagrammen.
- Uit de evaluatie van TNO-AGE en ook de aanvrager volgt dat TNO-AGE het onwaarschijnlijk acht dat de ondergrondse spanningen de kritische niveaus voor breukbewegingen bereiken als wordt voldaan aan het voorgenomen productieplan. Zelfs wanneer gedurende het gehele jaar de voorgenomen winterproductie zou worden aangehouden (160 m³/h en 45 °C injectietemperatuur voor 8760 uur) verwacht TNO-AGE geen kritische spanningen bij de aanliggende gekarteerde breuken of in het reservoir dat direct tegen de putten ligt.

Datum
16 juni 2020

Onze referentie
AGE 20-10.055

Blad
9/27

- Verder zou in het onwaarschijnlijke geval dat een beving optreedt, tijdig mitigerende maatregelen getroffen kunnen worden om schade en nieuwe bevingen te voorkomen. Hiertoe heeft de vergunninghouder een plan voor seismische monitoring en mitigerende maatregelen (op basis van een Traffic Light System, TLS) opgesteld. TNO-AGE adviseert daarom de monitoring en mitigerende maatregelen zoals voorgesteld in de level 2 locatie specifieke SHA [7] te handhaven. Deze wijken deels af van de maatregelen die worden beschreven in het winningsplan [1].
- Als aanvulling op deze maatregelen beveelt TNO-AGE aan voor aanvang van productie een 'baseline' te meten om zo de bestaande ruis ('ambient noise level') en eventuele natuurlijke seismische achtergrond te bepalen.
- Daarnaast adviseert TNO-AGE een intensieve monitoring van de druk in zowel de injectie- als productieput. Dit geeft meer houvast om de connectiviteit en de evolutie van het ondergrondse drukveld te begrijpen in relatie tot debieten, skins en injectie- en productiedruk.

Tabel 2: Resultaat Quicksan scoretabel voor het Aardwarmte Den Haag doublet.

Score	Connectie met basement	Drukcommunicatie tussen productie- en injectieput	Injectiedruk [MPa]	Debiet [m ³ /uur]	Afstand tot natuurlijke aardbevingen [km]	Afstand tot geïnduceerde aardbevingen [km]	Afstand tot breuken [km]	Breukoriëntatie in huidig spanningsveld	Netto geïnjecteerd Volume [1000 m ³]		
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	3	3	3	0	0	10	7	0	28	0,29
TNO-AGE	0	3	3	3	0	0	7	7	0	20	0,26

Datum

16 juni 2020

Onze referentie

AGE 20-10.055

Blad

10/27

Referenties

- [1] Haagse Aardwarmte Leyweg B.V., 29 januari 2020. Winningsplan Haagse Aardwarmte Leyweg.
- [2] Hydreco Geomec., April 2018. Analysis of Welltest HAG-GT-01.
- [3] Hydreco Geomec., 14 maart 2018. Analysis of Welltest HAG-GT-02.
- [4] Hydreco Geomec., April 2018. Analysis of Interference between HAG-GT-01 & HAG-GT-02.
- [5] PanTerra Geoconsultants B.V., januari 2019. G1437: Documentation on Seismic Interpretation HAL.
- [6] PanTerra Geoconsultants B.V., januari 2019. Seismic Hazard Assessment (Quick-Scan) Haagsche Aardwarmte Leyweg (HAL).
- [7] PanTerra Geoconsultants B.V., januari 2020. Haagsche Aardwarmte Leyweg (HAL) Seismic Hazard Analysis.
- [8] Seismik s.r.o., November 2019. Hydreco Geomec B.V. HAL Modelling Monitoring Configuration.
- [9] IF Technology B.V., 17 maart 2016. SDE+ Application Den Haag.
- [10] Qcon GmbH & IF Technology B.V., 5 oktober 2016. Defining the Framework for seismic Hazard Assessment in Geothermal Projects V0.1.
- [12] SodM, 2013. Protocol bepaling maximale injectiedrukken bij aardwarmtewinning, Versie 2.
- [13] Hydreco Geomec., 24 maart 2020. Antwoorden op vragen van SodM.
- [14] Hydreco Geomec., 28 mei 2020. Antwoorden op vragen van TNO-AGE.

Datum
16 juni 2020

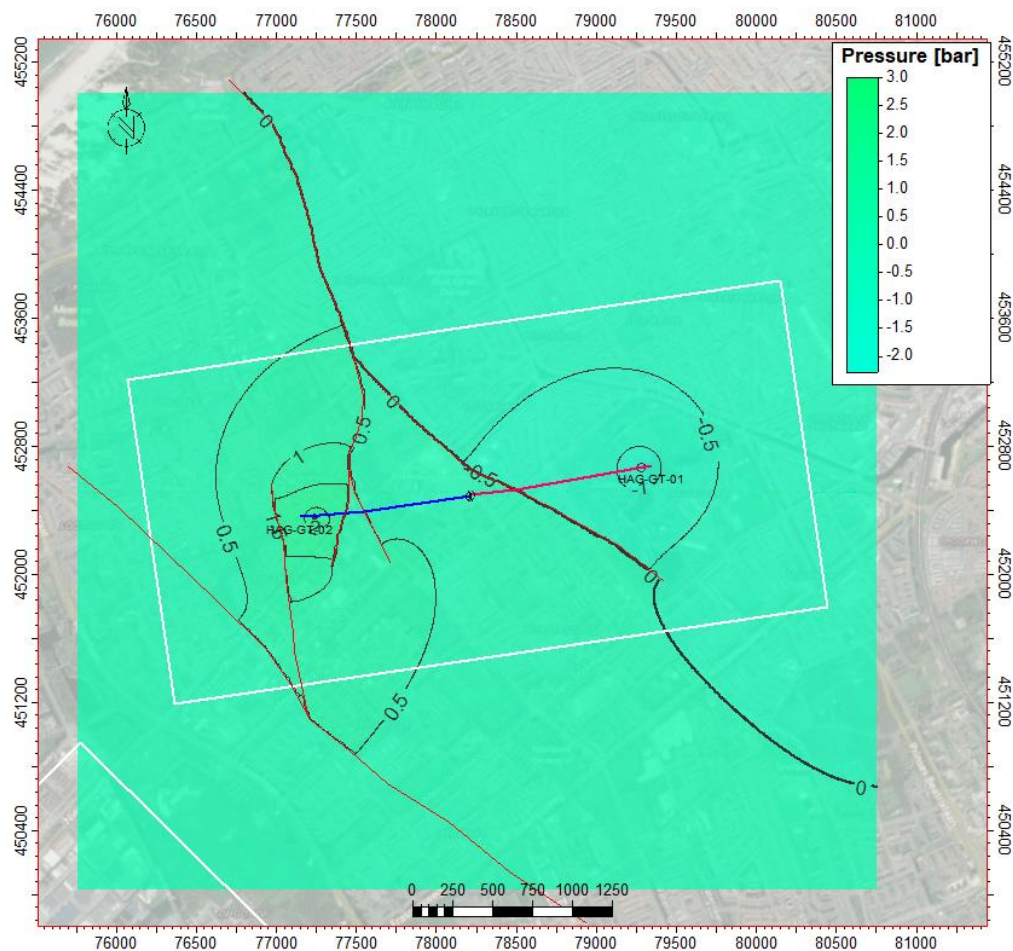
Onze referentie
AGE 20-10.055

Blad
11/27

Bijlage 2: resultaten DoubletCalc modelberekeningen

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

DoubletCalc2D uitvoer na 35 jaar



Figuur 1: DoubletCalc2D uitvoer van het TNO-AGE scenario 1 (zie beschrijving van de scenario's in de tekst). De kaart toont de drukverandering na 35 jaar.

Datum

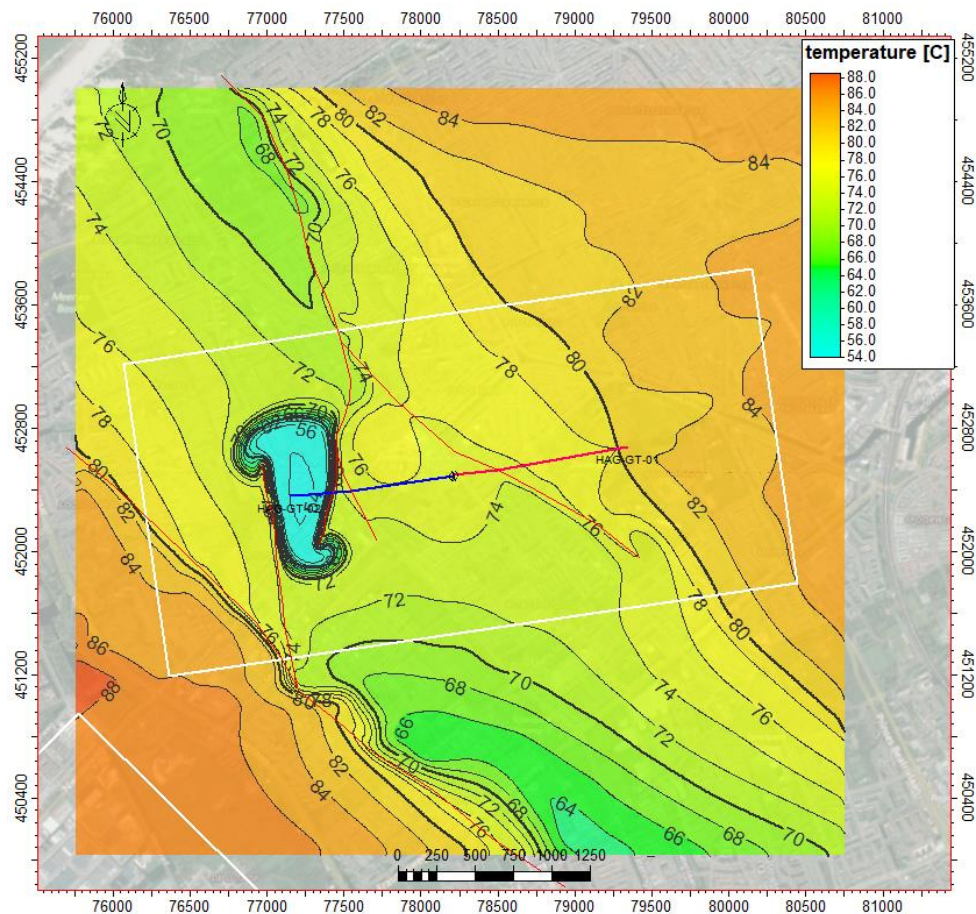
16 juni 2020

Onze referentie

AGE 20-10.055

Blad

12/27



Figuur 2: DoubletCalc2D uitvoer van het TNO-AGE scenario 1 (zie beschrijving van de scenario's in de tekst). De kaart toont de gemiddelde reservoirtemperatuur na 35 jaar.

Datum

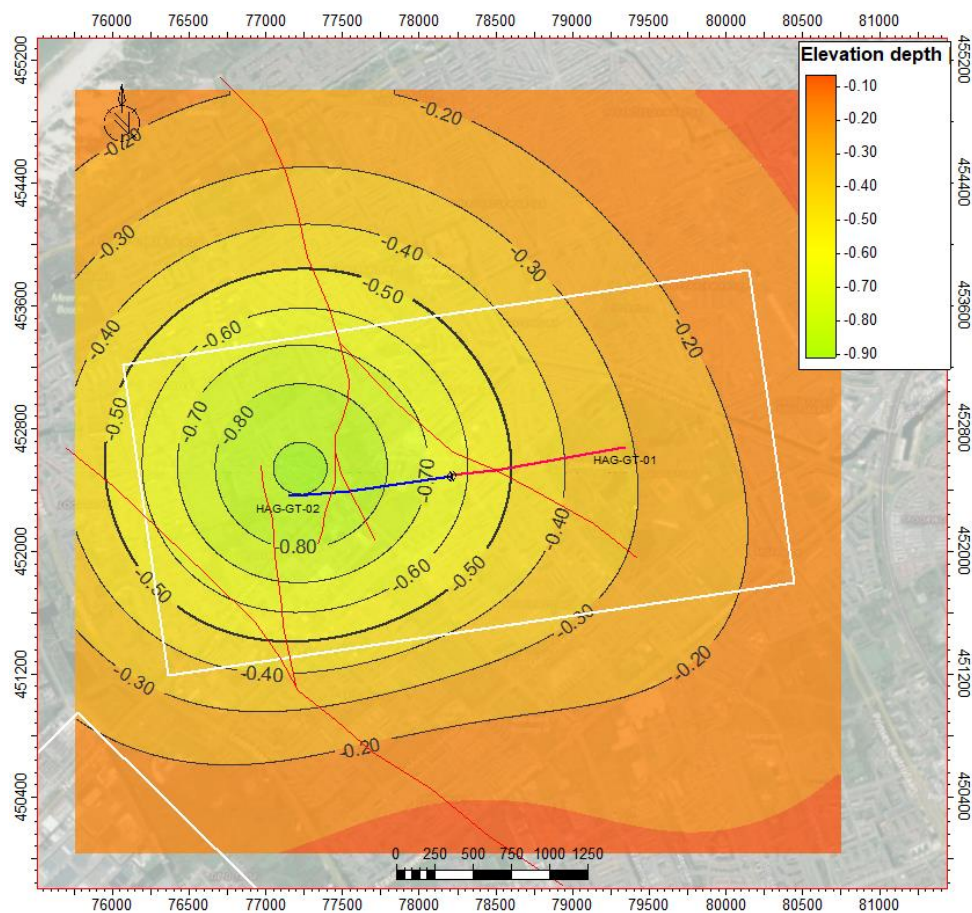
16 juni 2020

Onze referentie

AGE 20-10.055

Blad

13/27



Figuur 3: DoubletCalc2D uitvoer van het TNO-AGE scenario 1 (zie beschrijving van de scenario's in de tekst). De kaart toont de cumulatieve bodemdaling na 35 jaar.

Datum

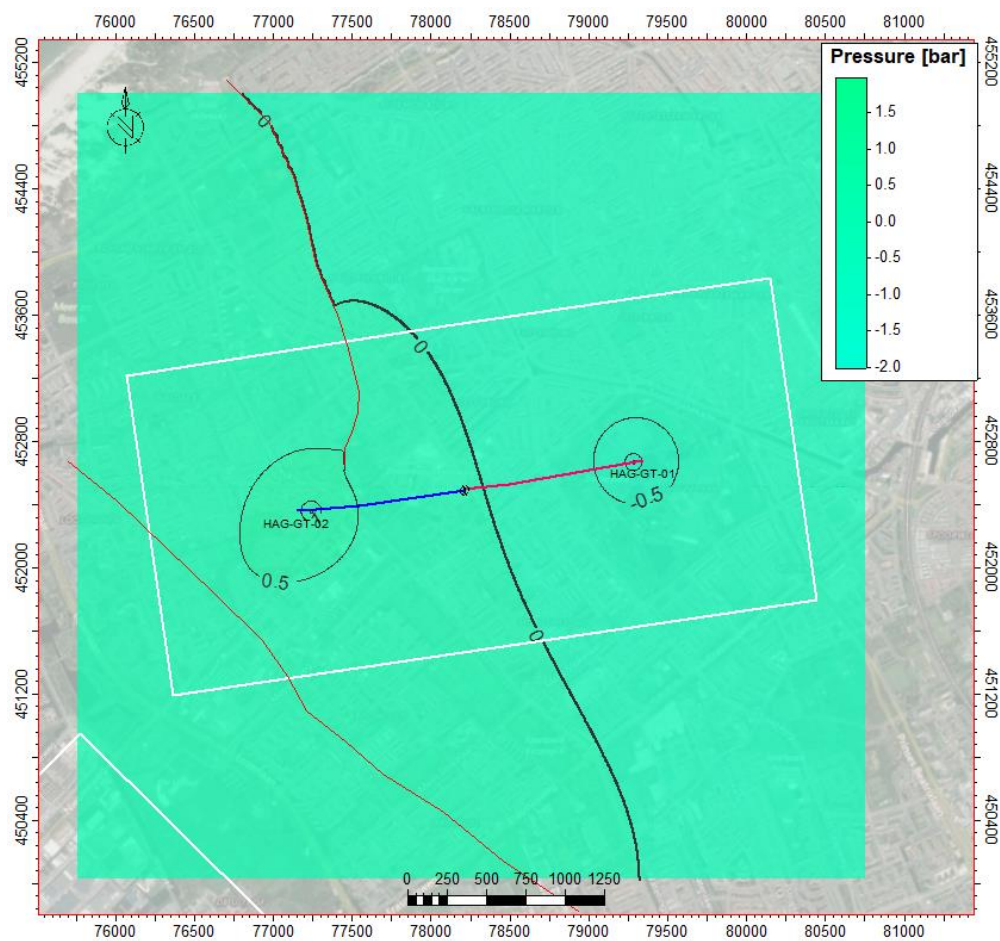
16 juni 2020

Onze referentie

AGE 20-10.055

Blad

14/27



Figuur 4: DoubletCalc2D uitvoer van het TNO-AGE scenario 2 (zie beschrijving van de scenario's in de tekst). De kaart toont de drukverandering na 35 jaar.

Datum

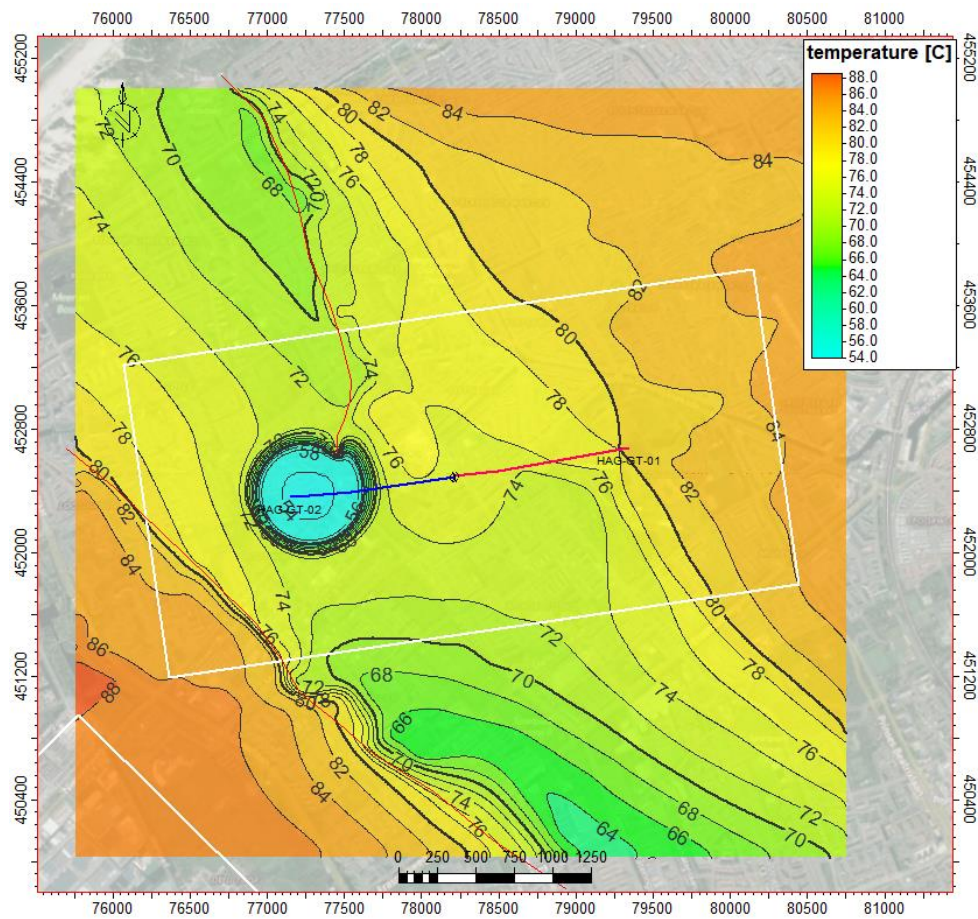
16 juni 2020

Onze referentie

AGE 20-10.055

Blad

15/27



Figuur 5: DoubletCalc2D uitvoer van het TNO-AGE scenario 2 (zie beschrijving van de scenario's in de tekst). De kaart toont de gemiddelde reservoirtemperatuur na 35 jaar.

Datum

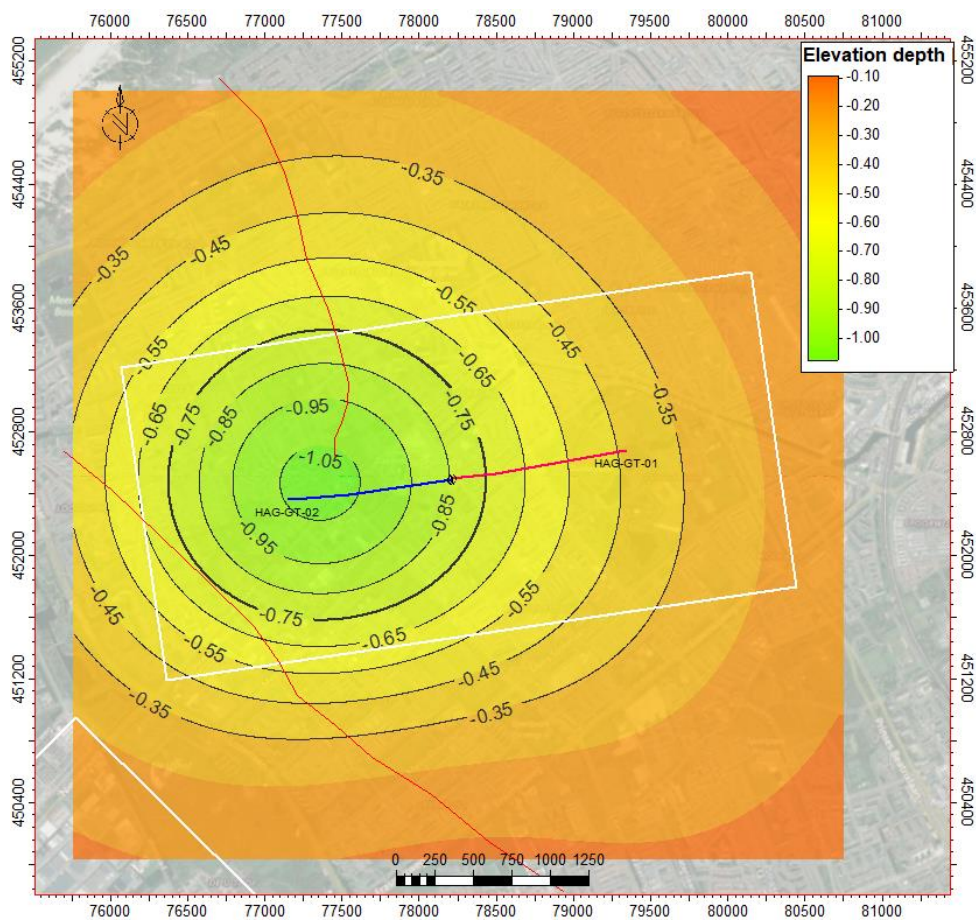
16 juni 2020

Onze referentie

AGE 20-10.055

Blad

16/27



Figuur 6: DoubletCalc2D uitvoer van het TNO-AGE scenario 2 (zie beschrijving van de scenario's in de tekst). De kaart toont de cumulatieve bodemdaling na 35 jaar.

Datum

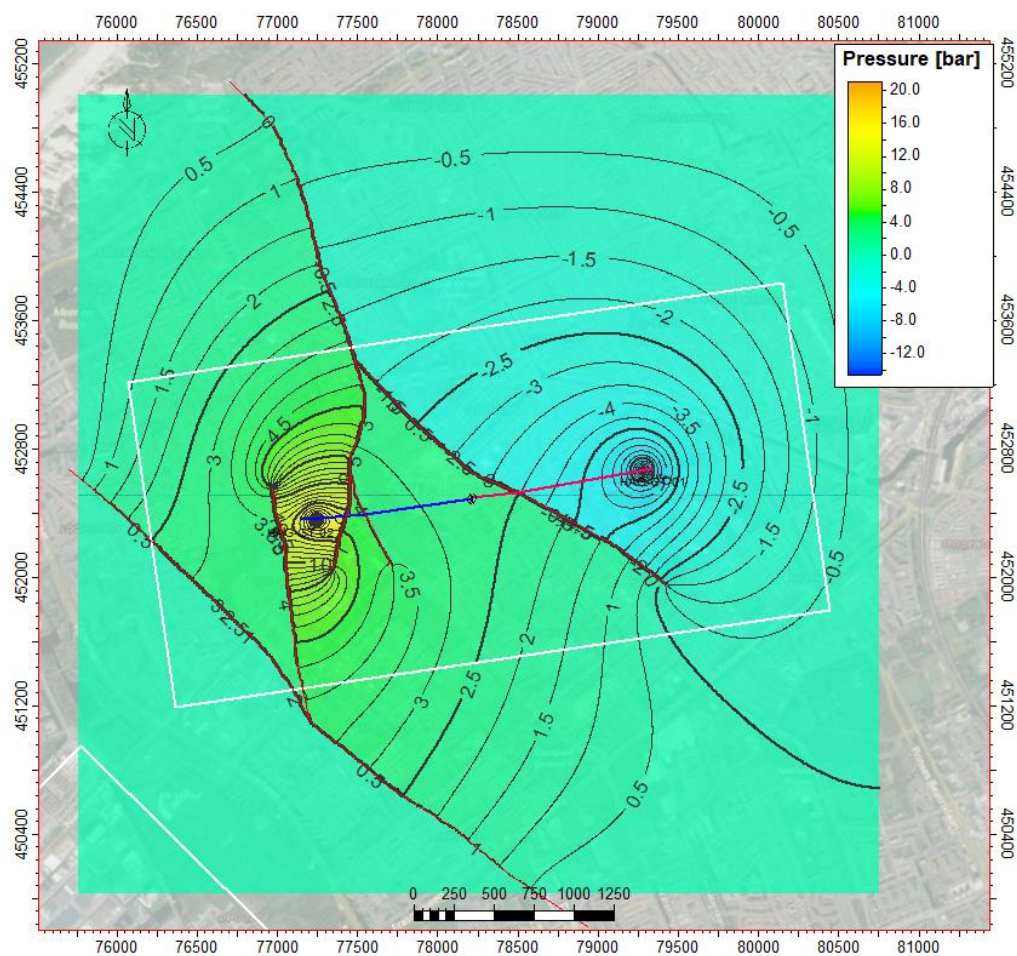
16 juni 2020

Onze referentie

AGE 20-10.055

Blad

17/27



Figuur 7: DoubletCalc2D uitvoer van het TNO-AGE scenario 3 (zie beschrijving van de scenario's in de tekst). De kaart toont de drukverandering na 35 jaar.

Datum

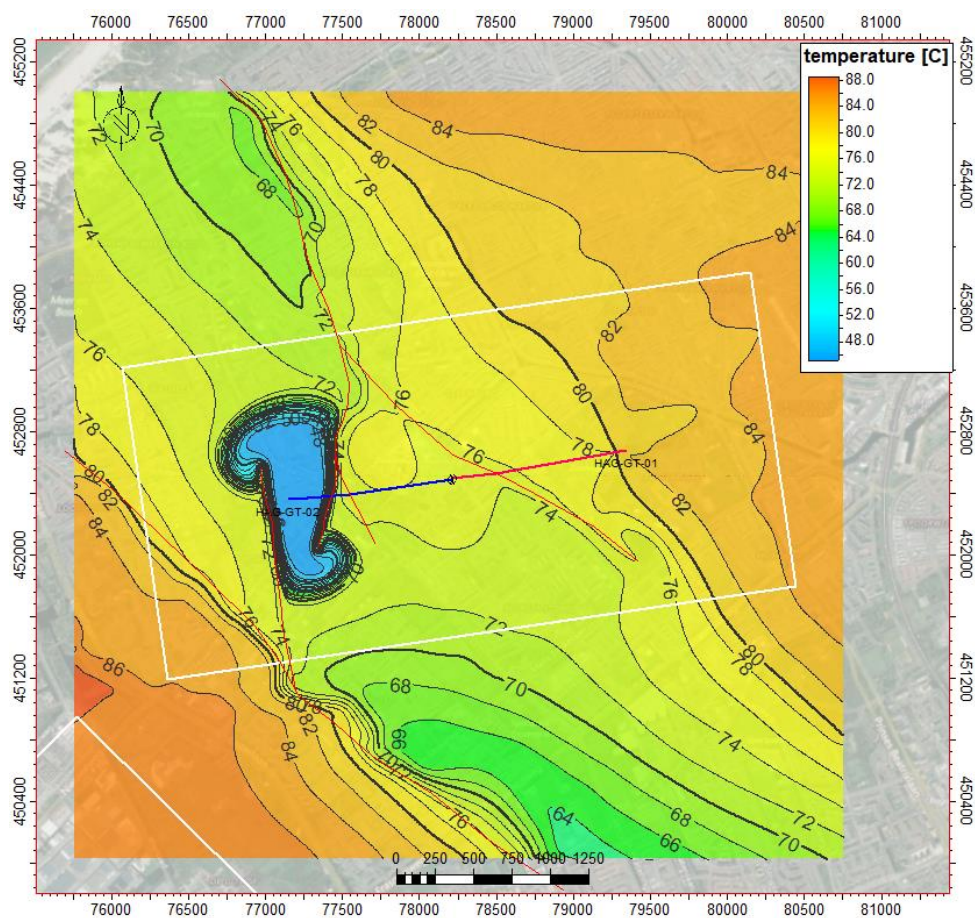
16 juni 2020

Onze referentie

AGE 20-10.055

Blad

18/27

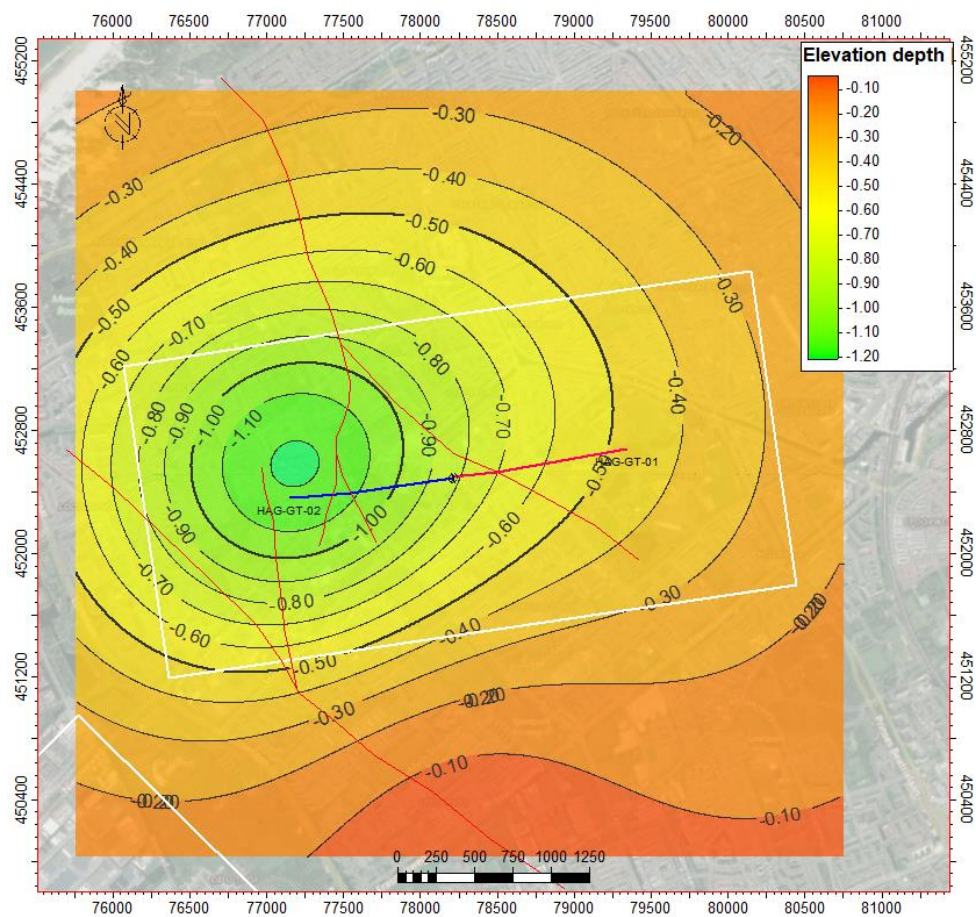


Figuur 8: DoubletCalc2D uitvoer van het TNO-AGE scenario 3 (zie beschrijving van de scenario's in de tekst). De kaart toont de gemiddelde reservoirtemperatuur na 35 jaar.

Datum
16 juni 2020

Onze referentie
AGE 20-10.055

Blad
19/27



Figuur 9: DoubletCalc2D uitvoer van het TNO-AGE scenario 3 (zie beschrijving van de scenario's in de tekst). De kaart toont de cumulatieve bodemdaling na 35 jaar.

Bijlage 3: SHRA evaluatie resultaten

3D Mohr diagrammen voor het reservoir direct aansluitend aan de injectieput.

Datum

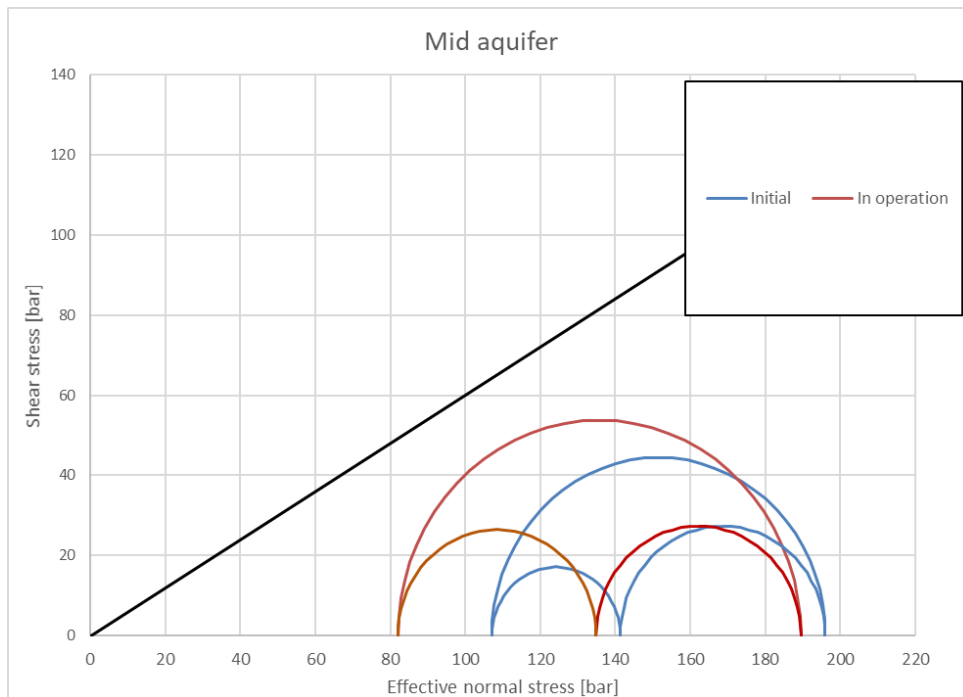
16 juni 2020

Onze referentie

AGE 20-10.055

Blad

20/27

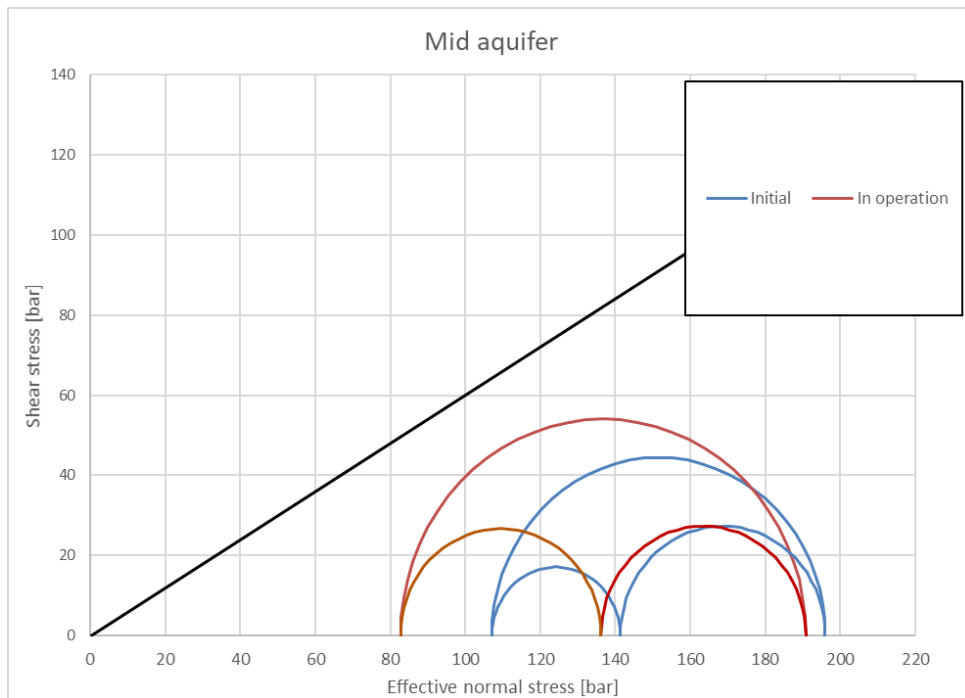


Figuur 10: 3D Mohr diagram voor reservoir aansluitend aan de injectieput zoals berekend voor scenario 1. De details van de scenario's worden toegelicht in Bijlage 1. De blauwe Mohr cirkels geven de initiële situatie vóór productie weer. De rode Mohr cirkels geven de situatie weer na 35 jaar productie. Het drukverschil bij de injectieput is in dit geval 6,5 bar en de injectietemperatuur 54°C. Zolang de cirkels het Mohr-Coulombcriterium (zwarte lijn) niet overschrijden, is de kritische staat niet bereikt. In dit geval liggen de Mohr cirkels ver van de lijn en is de situatie dus niet kritisch.

Datum
16 juni 2020

Onze referentie
AGE 20-10.055

Blad
21/27

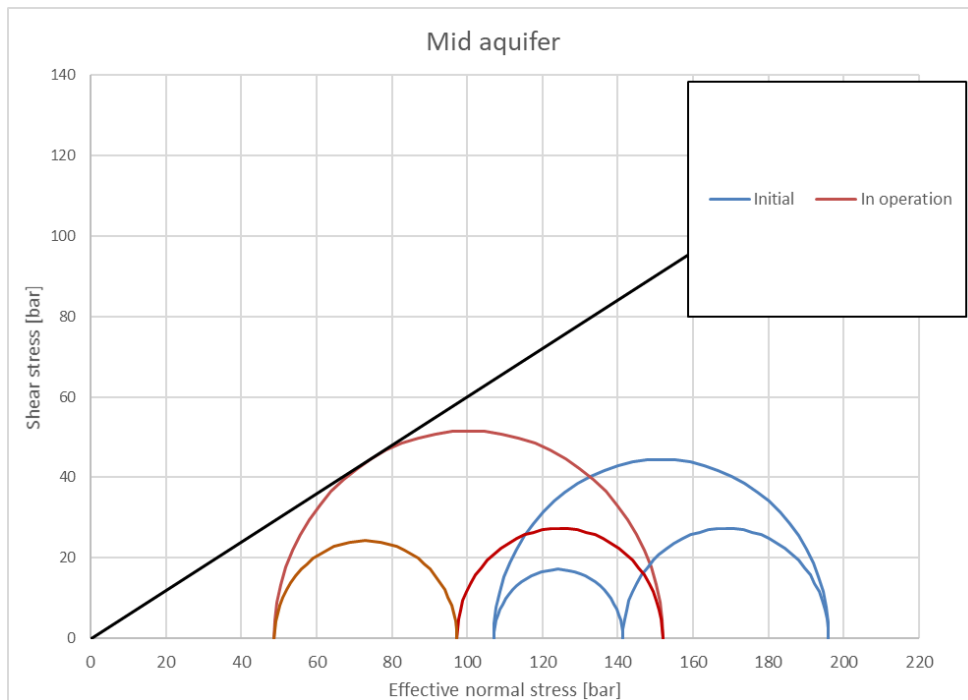


Figuur 11: 3D Mohr diagram voor reservoir aansluitend aan de injectieput zoals berekend voor scenario 2. De details van de scenario's worden toegelicht in Bijlage 1. De blauwe Mohr cirkels geven de initiële situatie vóór productie weer. De rode Mohr cirkels geven de situatie weer na 35 jaar productie. Het drukverschil bij de injectieput is in dit geval 5,2 bar en de injectietemperatuur 54°C. Zolang de cirkels het Mohr-Coulombcriterium (zwarte lijn) niet overschrijden, is de kritische staat niet bereikt. In dit geval liggen de Mohr cirkels ver van de lijn en is de situatie dus niet kritisch.

Datum
16 juni 2020

Onze referentie
AGE 20-10.055

Blad
22/27



Figuur 12: 3D Mohr diagram voor reservoir aansluitend aan de injectieput zoals berekend voor scenario 3. De details van de scenario's worden toegelicht in Bijlage 1. De blauwe Mohr cirkels geven de initiële situatie vóór productie weer. De rode Mohr cirkels geven de situatie weer na 35 jaar productie. Het drukverschil bij de injectieput is in dit geval 44,6 bar en de injectietemperatuur 45°C. Zolang de cirkels het Mohr-Coulomb criterium (zwarte lijn) niet overschrijden, is de kritische staat niet bereikt. In dit geval ligt de rode Mohr cirkel (tijdens productie) nog net onder het criterium en de kritische staat is nog net niet bereikt. Het debiet en de injectietemperatuur zijn voor dit scenario hiertoe opzettelijk door TNO-AGE aangepast. Ze verschillen dus ten opzichte van het productieplan van de vergunninghouder. Het doel is hiermee aan te geven hoever de ondergrondse spanningsveld bij het voorgestelde productieplan af zit van een kritisch spanningsveld (in termen van debiet en injectietemperatuur) bij een zeer conservatieve gemiddelde aquiferpermeabiliteit.

Datum

16 juni 2020

Onze referentie

AGE 20-10.055

Blad

23/27

3D Mohr diagrammen met Monte Carlo analyse voor de breuken rond de injectieput.

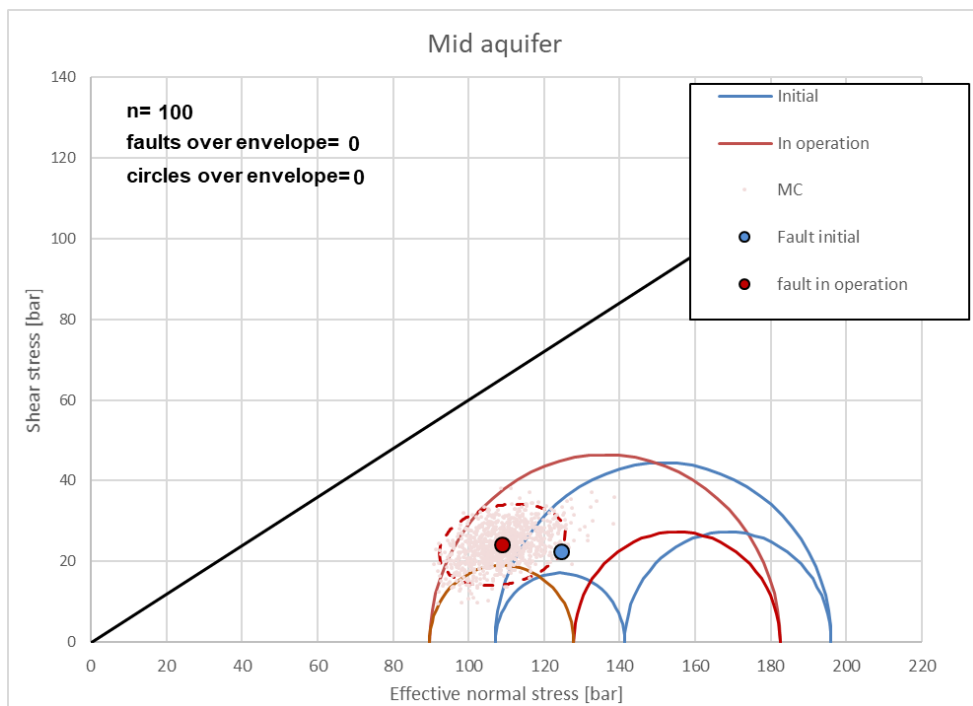


Figuur 13: Positie en nummering van de twee breuken ten opzichte van de top en basis van het reservoir in de injectieput en waarvan de modelresultaten in de onderstaande figuren zijn weergegeven.

Datum
16 juni 2020

Onze referentie
AGE 20-10.055

Blad
24/27

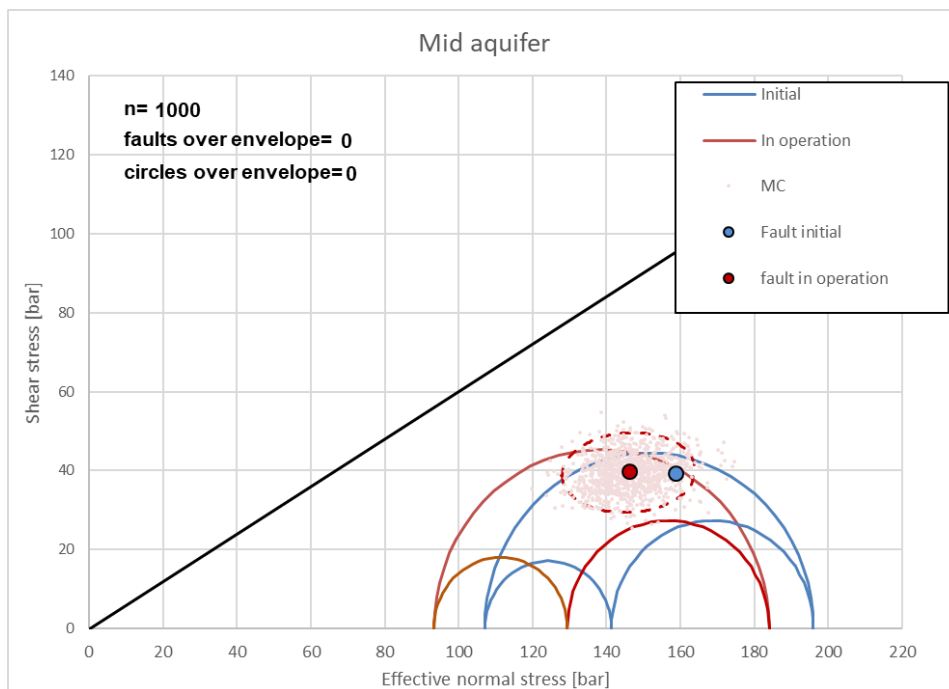


Figuur 14: 3D Mohr diagram van het meest kritische deel van breuk 1 zoals berekend voor scenario 3. De details van de scenario's worden toegelicht in Bijlage 1. De blauwe Mohr cirkels geven de initiële situatie vóór productie weer. De blauwe stip representeert breuk 1 in de initiële situatie. De rode Mohr cirkels en rode stip geven de situatie weer na 35 jaar productie. De roze stippenwolk is het resultaat van een Monte Carlo simulatie voor breuk 1 (na 35 jaar) waarbij de redelijk geachte variatie in de invoerparameters is meegenomen. Zolang de stippen het Mohr-Coulombcriterium (zwarte lijn) niet overschrijden, is de kritische staat voor de breuk niet bereikt. Een 90% zekerheidsellips is weergegeven met een rode, gestippelde lijn. Dit is het resultaat voor het scenario waarin het debiet en de injectietemperatuur zo ver mogelijk zijn verschoven (ten opzichte van het winningsplan) zonder een kritische staat te bereiken bij de injectieput. Hierbij is een zeer conservatieve gemiddelde aquiferpermeabiliteit aangenomen. De figuur laat zien dat zelfs voor dit conservatieve scenario kritische staat wordt berekend.

Datum
16 juni 2020

Onze referentie
AGE 20-10.055

Blad
25/27



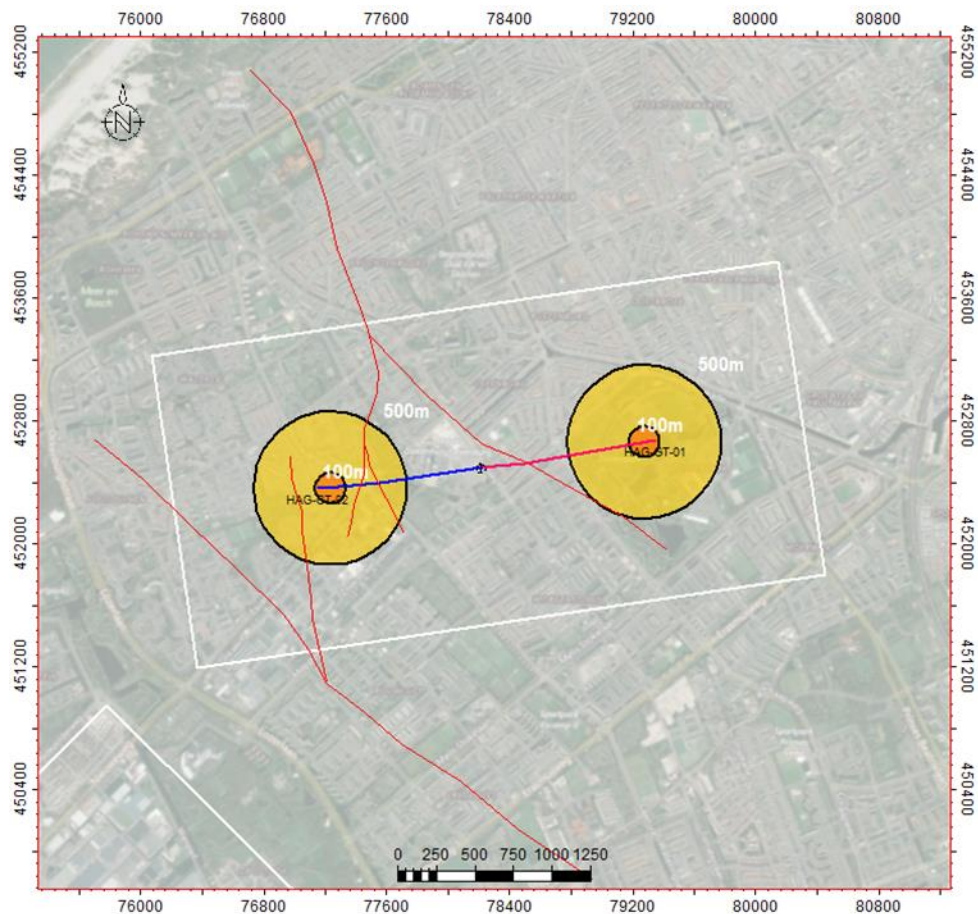
Figuur 15: 3D Mohr diagram van het meest kritische deel van breuk 2 zoals berekend voor scenario 3. De details van de scenario's worden toegelicht in Bijlage 1. De blauwe Mohr cirkels geven de initiële situatie vóór productie weer. De blauwe stip representeert breuk 2 in de initiële situatie. De rode Mohr cirkels en rode stip geven de situatie weer na 35 jaar productie. De roze stippenwolk is het resultaat van een Monte Carlo simulatie voor breuk 2 (na 35 jaar) waarbij de redelijk geachte variatie in de invoerparameters is meegenomen. Zolang de stippen het Mohr-Coulombcriterium (zwarte lijn) niet overschrijden, is de kritische staat voor de breuk niet bereikt. Een 90% zekerheidsellips is weergegeven met een rode, gestippelde lijn. Dit is het resultaat voor het scenario waarin het debiet en de injectietemperatuur zo ver mogelijk zijn verschoven (ten opzichte van het winningsplan) zonder een kritische staat te bereiken bij de injectieput. Hierbij is een zeer conservatieve gemiddelde aquiferpermeabiliteit aangenomen. De figuur laat zien dat zelfs voor dit conservatieve scenario kritische staat wordt berekend.

Datum
16 juni 2020

Onze referentie
AGE 20-10.055

Blad
26/27

Afstand tot breuken.



Figuur 16: Afstand van de injectie- en productieput, mid-reservoir tot de geïnterpreteerde breuken in de ondergrond.

Bijlage 4: erratalijst

Datum

16 juni 2020

Onze referentie

AGE 20-10.055

Blad

27/27

- De vergunninghouder heeft een prognose van de productie toegevoegd in figuur 23 van het winningsplan [1]. De cijfers in dit figuur zijn echter gedeeltelijk inconsistent, of onlogisch. De temperatuur van het productiewater neemt in de figuur toe vanaf 2032. Volgens de eigen DoubletCalc 2D modelresultaten komt de koudebel, zelfs na 35 jaar nog niet in de buurt van de producer. De hoeveelheid geproduceerd water, formatiegas, vollast uren en energieconsumptie zijn inconsistent met de geleverde energie. Deze laatste laat om de vijf jaar een tijdelijke afname zien wat overeenkomt met een onderhoudsinterval. De afname komt echter niet terug in de andere cijfers. De opgegeven productietemperatuur in figuur 23 (77°C) komt niet overeen met de gemiddelde reservoir temperatuur die bepaald is in de puttest (80°C) [3], met de inleidende tekst (79°C op pagina 9) of met de temperatuur in figuur 17 (80°C, [1]). TNO-AGE is bij berekeningen uitgegaan van de resultaten van de puttest.
- In het winningsplan ontbreekt een goede beschrijving van de maandelijkse geprognostiseerde debieten, injectietemperatuur en vollasturen. Hierdoor is het niet goed mogelijk om de seizoensgebonden productie te modelleren. Voor de modellering is daarom een jaarlijks gemiddelde geschat en toegepast.
- De SHA quickscan resultaten zoals weergegeven in figuur 35 in het winningsplan komen niet overeen met de resultaten in tabel 2-1 van [6]. In het winningsplan wordt de drukcommunicatie tussen de putten een score van 3 ('likely') toegekend. In het bijgeleverde SHA quickscan rapport dat eerder is opgesteld, is een score van 0 gebruikt. In het winningsplan wordt niet aangegeven waarom deze score is verhoogd.