

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 Middenmeer II

Geachte [REDACTED],

Naar aanleiding van uw adviesverzoek van 11 juli 2019 (per email) omtrent de instemming met het winningsplan voor aardwarmte "Aardwarmte Middenmeer II" van 11 april 2019 door ECW Geowarmte I (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.

### Verzoek

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 Middenmeer II" 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

Onder dit winningsplan [1] wordt één geothermisch systeem opgevoerd: het doublet bestaat uit de putten MDM-GT-03 (injectieput) & MDM-GT-04 (productieput), respectievelijk geboord in 2013 en 2014. Het systeem ligt in het gebied dat is gedefinieerd als de winningsvergunning Middenmeer II (circa 3,3 km<sup>2</sup>). Deze

Princetonlaan 6  
3584 CB Utrecht  
Postbus 80015  
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

T +31 88 866 42 56

**Datum**  
16 december 2019

**Onze referentie**  
AGE 19-10.075

**Contactpersoon**  
[REDACTED]

**E-mail**  
[REDACTED]@tno.nl

**Bijlage(n)**  
3

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

Handelsregisternummer 27376655.

**Datum**  
16 december 2019

**Onze referentie**  
AGE 19-10.075

**Blad**  
2/28

vergunning is bij beschikking, met kenmerk DGKE-W/19010265, op 4 februari 2019 verleend aan ECW Geoholding B.V.. Het doublet is gericht op de watervoerende zandsteenlagen van de Slochteren Formatie, die zich bevindt op een diepte van circa 2150 m. Hieruit wordt warm water geproduceerd met een temperatuur van 91 °C, dat vervolgens weer wordt geïnjecteerd met een temperatuur van 30 °C. De stroming van warm water naar de productieput en injectie van afgekoeld water vindt plaats door en in de poreuze gesteentematrix van deze formatie. De productie van dit doublet is gestart in november 2014. Het systeem opereert sindsdien met een maximaal debiet van 211 m<sup>3</sup>/uur en een temperatuurval van maximaal circa 60°C (bron: productiedata van aanvang tot begin 2019). Dit geeft een jaarlijks geproduceerde hoeveelheid energie van circa 0,29 PJ. De gewonnen warmte wordt gebruikt door glastuinbouwbedrijven.

### **1. Planmatig gebruik van de ondergrond**

Vergunninghouder beschrijft in het winningsplan [1] een jaarlijks debiet van 250 m<sup>3</sup>/uur plus of min 20%. In het winningsplan wordt gesteld dat de duur van de winning (conform beschikking winningsvergunning) 35 jaar zal zijn, maar de productieprognose in Tabel 13 toont slechts 12 jaar productie. Uit Tabel 13 is af te leiden dat het doublet jaarrond (8760 vollasturen) zal produceren met een (gemiddeld) debiet van 250 m<sup>3</sup>/uur. Elk vijfde jaar wordt een lager aantal vollasturen voorzien (8059) vanwege onderhoud van de geothermische installatie.

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

Bijlage 2 toont de druk- en temperatuurdistributie in de ondergrond na 39 jaar vanaf start productie van het doublet in 2014.

Op basis van de modelmatige analyse van TNO-AGE blijkt dat, bij gelijkblijvende reservoirparameters en skin, het beoogde debiet van 250 m<sup>3</sup>/uur niet haalbaar is omdat de daarvoor benodigde injectiedruk op reservoirdiepte van ca. 66 tot 71 bar hoger is dan de maximale injectiedruk op reservoirdiepte (63 bar) gesteld in het huidige injectieprotocol van SodM [5]. Echter, omdat de relatie tussen debiet en injectiedruk afhankelijk is van meerdere factoren die gedurende de tijd kunnen veranderen, zoals de skin, is het lastig om op dit moment te stellen dat het beoogde debiet nooit gehaald zal worden.

Daarnaast toont een eerste orde inschatting door TNO-AGE aan dat afkoeling van het reservoir leidt tot additionele spanningsopbouw waardoor de maximale injectiedruk mogelijk verlaagd zou moeten worden om scheurvorming in het reservoir en de afsluitende laag te voorkomen.

De koudwaterbel komt modelmatig tot de vergunningsgrens na 42 jaar sinds de productiestart in 2014. Dit valt buiten de winningsvergunningstermijn van 35 jaar. Op het moment van grensoverschrijding heeft het systeem circa 89 miljoen m<sup>3</sup> water rondgepompt. Doorbraak van koud water in de productieput wordt modelmatig verwacht na meer dan 100 jaar productie en injectie.

**Datum**  
16 december 2019

**Onze referentie**  
AGE 19-10.075

**Blad**  
3/28

De vergunninghouder beschrijft in het winningsplan [1] dat 0,34 Nm<sup>3</sup> gas per m<sup>3</sup> water als bijvangst geproduceerd zal worden. Dit is overeenkomstig de verhouding die resulteert uit de door de vergunninghouder Mijnwettelijk aangeleverde productiegegevens. Vergunninghouder stelt dat dit gas wordt afgevangen en gebruikt in stookinstallaties.

Binnen de temperatuur- en druk-invloedsfeer van het doublet zijn geen koolwaterstofwinningsactiviteiten of gasopslagen. Er zijn wel twee aanpalende geothermiesystemen in de potentiële invloedsfeer van het doublet. Seismiek en de interferentietesten tonen aan dat een breuk aanwezig is tussen de winningsvergunning Middenmeer I en Middenmeer II. Uit een interferentietest blijkt dat deze breuk niet volledig afsluitend is, maar wel een zeer lage permeabiliteit heeft. Dit betekent dat de het doublet in dit winningsplan druktechnisch in contact staat met de twee doubletten in de winningsvergunning Middenmeer I, maar dit effect is zeer gering in vergelijking met de drukcommunicatie tussen de productie- en injectieput van elk doublet. Gezien de lage permeabiliteit wordt vloeistofstroming over de breuk niet verwacht.

*TNO-AGE acht de winning van aardwarmte, zoals voorgesteld in het winningsplan, niet in overeenstemming met de principes van planmatig gebruik van de ondergrond in de genoemde geologische setting. Het in het winningsplan voorgestelde debiet lijkt niet gehaald te worden binnen de begrenzing van de injectiedruk conform het huidige SodM protocol. Of dit in de toekomst zo blijft is lastig te voorspellen omdat de relatie tussen debiet en injectiedruk afhangt van een aantal factoren die variabel kunnen zijn gedurende de tijd, zoals de skin.*

*Naar verwachting is er geen of nauwelijks interferentie tussen het doublet in dit winningsplan en de twee doubletten van de aanpalende winningsvergunning Middenmeer I. Daarnaast zijn er momenteel geen mijnbouwactiviteiten in de directe nabijheid van het geothermische systeem. Daarom wordt nu geen nadelige ondergrondse interferentie verwacht.*

## **2. Bodemdaling**

Vergunninghouder verwacht dat de te verwachten bodemdaling door de winning van aardwarmte na 30 jaar circa 1 cm zal zijn.

TNO-AGE heeft de invoerparameters, de aanpak en de daaruit voortvloeiende bodemdalingsresultaten geëvalueerd en eigenstandig nagerekend. TNO-AGE komt uit op circa 1 cm (1,1 cm) voor de maximale bodemdaling bij het verlopen van de winningsvergunning, overeenkomstig de beschrijving van vergunninghouder. Het verschil met het resultaat van de vergunninghouder wordt waarschijnlijk verklaard door de gemodelleerde productieduur. De vergunninghouder berekent de bodemdaling na 30 jaar productie en TNO-AGE na 39 jaar, de periode vanaf de start van productie tot het einde van de winningsvergunningstermijn.

Verder is er geen overlap van het winningsvergunningsgebied met Natura2000 gebieden, grondwaterbeschermingszones en/of waterwingebieden. Het dichtstbijzijnde Natura2000 gebied (het IJsselmeer) bevindt zich ca. 4 km van de

**Datum**  
16 december 2019

**Onze referentie**  
AGE 19-10.075

**Blad**  
4/28

projectlocatie. De resultaten van de modelberekening tonen dat de verwachte bodemdaling op de locatie van het dichtstbijzijnde Natuurnetwerk Nederland (NNN) gebied, dat net ten zuiden van het winningsvergunninggebied ligt, aan het einde van de winningsvergunningduur ca. 9 mm is.

*TNO-AGE concludeert dat de modelmatig berekende maximale bodemdaling ten gevolge van de winning van aardwarmte 1,1 cm is bij het verlopen van de winningsvergunning.*

### **3. Bodemtrilling**

TNO-AGE merkt op dat er geen historische bevingen gemeten zijn in de nabije omgeving van het geothermisch systeem in het winningsvergunninggebied Middenmeer II.

Vergunninghouder heeft conform de leidraad<sup>1,2</sup> een seismische hazard-risicoanalyse (SHRA) uitgevoerd voor het geothermische systeem Middenmeer II. Vergunninghouder komt uit op een genormaliseerde seismisch potentieel score van 0,31 voor het systeem 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 Middenmeer II onafhankelijk onderzocht conform de leidraad<sup>1,2</sup>. De daaruit resulterende genormaliseerde score van 0,34 is hoger dan de uitkomst van de vergunninghouder (0,31) doordat TNO-AGE een hogere score geeft aan de categorie "breukoriëntatie in huidig spanningsveld" (10 i.p.v. 7). Deze score leidt tot een potentieel voor het induceren van seismiciteit die de grens tussen laag en gemiddeld net overschrijdt.

*De analyse van TNO-AGE komt uit op een potentieel voor het induceren van seismiciteit die de grens tussen laag en gemiddeld net overschrijdt. Dit wijkt af van het resultaat van de vergunninghouder, die uitkomt op een laag potentieel voor het induceren van seismiciteit. Conform de leidraad<sup>1,2</sup> [4] zou de vergunninghouder, uitgaande van de uitkomst van TNO-AGE, een evaluatie van de locatie specifieke seismische dreiging uit moeten voeren.*

### **Conclusie en aanbevelingen**

Resumerend ziet TNO-AGE geen geotechnische belemmeringen betreft de berekening van de verwachte bodemdaling van ca. 1 cm aan het eind van de winningsvergunningstermijn.

---

<sup>1</sup> Q-Con en IF Technology, 2016. Defining the framework for Seismic Hazard Assessment in Geothermal Projects. Kennisagenda project.

<sup>2</sup> TNO-AGE ziet de leidraad<sup>1</sup> als een goede eerste stap om tot een bruikbare SHRA voor geothermie te komen, maar is van mening dat deze in de huidige vorm sub-optimaal is om een eenduidige en adequate inschatting van de seismische dreiging van een geothermische operatie te geven. De audit resultaten dienen derhalve met de nodige voorzichtigheid geïnterpreteerd te worden.

**Datum**  
16 december 2019

**Onze referentie**  
AGE 19-10.075

**Blad**  
5/28

Uitgaande van de uitkomsten van de evaluatie van de SHRA analyse door TNO-AGE zou de vergunninghouder, conform de leidraad<sup>1,2</sup>, een evaluatie van de locatie specifieke seismische dreiging aan moeten leveren.

Gezien de onzekerheid van het effect van afkoeling op de injectiedruk geeft TNO-AGE ter overweging om in te stemmen met het winningsplan onder de volgende voorwaarden:

- 1) De operationele instellingen worden zodanig aangepast dat het seismisch potentieel vooralsnog in de lage seismisch risico klasse valt. Dit betekent een maximaal debiet van 180 m<sup>3</sup>/uur. In de afgelopen vijf jaar heeft de vergunninghouder dit debiet kunnen injecteren zonder dat aardbevingen zijn gemeten in de nabijheid van het geothermisch systeem.
- 2) De vergunninghouder wordt verzocht, ter ondersteuning van het veilig kunnen injecteren bij het beoogde debiet van 250 m<sup>3</sup>/uur (evt + 20%), een onderbouwing van de maximale injectiedruk op reservoirdiepte aan te leveren waarin het effect van afkoeling op de spanningstoestand in het reservoir adequaat is meegenomen (thermo-elastisch effect). Het uitgangspunt hierbij moet zijn dat geen scheurvorming in het reservoir en de afsluitende laag zal optreden danwel geen schade veroorzakende seismiciteit optreedt, of dat deze gemitigeerd kan worden. Wanneer deze onderbouwing is aangeleverd zou de hieruit resulterende maximale injectiedruk, en niet langer het debiet, als leidend moeten worden beschouwd voor de hoogte van het opgelegde debiet bij winning van warm water.

Ik verwacht u hiermee van dienst te zijn geweest.

Met vriendelijke groet,



  
Hoofd Adviesgroep Economische Zaken en Klimaat

Bijlage 1: geotechnische evaluatie winningsplan aardwarmte Middenmeer II  
Bijlage 2: resultaten DoubletCalc modelberekeningen  
Bijlage 3: erratalijst

**Datum**  
16 december 2019

**Onze referentie**  
AGE 19-10.075

**Blad**  
6/28

## **Bijlage 1: geotechnische evaluatie winningsplan aardwarmte Middenmeer II**

Ter ondersteuning van het door het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) te nemen instemmingsbesluit betreffende het winningsplan voor het geothermiesysteem gelegen in het gebied van de winningsvergunning Middenmeer II [1], 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.

TNO-AGE is van mening dat de inhoud van het Ontwikkelingsplan Aardwarmte Middenmeer II [1] te lijden heeft onder niet actuele en slecht leesbare figuren, interne inconsistenties en een onduidelijke weergave van de operationele situatie. Ondanks dat bleek het mogelijk een evaluatie van dit winningsplan [1] te voltooien.

### **1. Configuratie aardwarmtesysteem**

In dit winningsplan [1] wordt één geothermisch systeem opgevoerd: het doublet bestaande uit de putten MDM-GT-03 (injectieput) & MDM-GT-04 (productieput), respectievelijk geboord in 2013 en 2014. Het systeem ligt in het gebied dat is gedefinieerd als de winningsvergunning Middenmeer II (circa 3,3 km<sup>2</sup>). Deze vergunning is bij beschikking, met kenmerk DGKE-W/19010265, op 4 februari 2019 verleend aan ECW Geoholding B.V.. Het doublet is gericht op de watervoerende zandsteenlagen van de Slochteren Formatie, die zich bevindt op een diepte van circa 2150 m. Hieruit wordt warm water geproduceerd met een temperatuur van 91 °C, dat vervolgens weer wordt geïnjecteerd met een temperatuur van 30 °C. De stroming van warm water naar de productieput en injectie van afgekoeld water vindt plaats door en in de poreuze gesteentematrix van deze formatie. De productie van het doublet is gestart in november 2014. Sinds de productiestart opereert het systeem met een maximaal debiet van circa 210 m<sup>3</sup>/uur en een temperatuurval van circa 60°C. Dit geeft een jaarlijks geproduceerde hoeveelheid energie van circa 0,29 PJ. De gewonnen warmte wordt gebruikt door glastuinbouwbedrijven.

Hoofdstuk 3.2. [1] geeft een globale beschrijving van de aardwarmte winningsinstallatie. Op de locatie ECW Geo Middenmeer zijn drie doubletten gerealiseerd. Eén van deze doubletten valt in de winningsvergunning Middenmeer II: doublet MDM-GT-03 & -04. De overige twee doubletten vallen binnen de winningsvergunning Middenmeer I, waarvoor een separaat winningsplan is opgesteld. De werkelijke configuratie van de aardwarmte winningsinstallatie wordt niet eenduidig beschreven. Figuur 7 [1] geeft de indruk dat de vloeistofstromen van alle productieputten tezamen komen, door de installatie gaan en dan weer bij de injectieputten gescheiden worden. Aangezien de gangbare definitie van een geothermisch systeem is dat de (primaire / zout) watercirculatie van de productie- en injectieput één gesloten systeem is, zonder bijmenging vanuit andere stromen, zou dit betekenen dat alle zes putten (in de twee winningsvergunningen Middenmeer I en II) tezamen één geothermisch systeem vormen. Echter, Figuur 23 [1] toont de productieprognoses voor de verschillende doubletten afzonderlijk en in Tabel 10 t/m 12 worden de operationele prognoses eveneens per put behandeld,

**Datum**  
16 december 2019

**Onze referentie**  
AGE 19-10.075

**Blad**  
7/28

wat duidt op drie individuele geothermische systemen. Tenslotte wordt in Tabel 13 de productieprofilering van het onderhavige doublet voor twaalf jaar gepresenteerd. Conform dat wat gesteld is in de winningsvergunningaanvraag en toentertijd bijgevoegd winningsplan, en op basis van de Mijnwettelijk aangeleverde productiedata, gaat TNO-AGE er van uit dat het doublet MDM-GT-03 & -04 een separaat geothermisch systeem is met een separate zoutwatercirculatie.

## **2. Toekomstige uitbreidingen**

Er worden geen toekomstige uitbreidingen genoemd in het winningsplan [1].

## **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 dit hoofdstuk beschreven.

### *3.1 Putgegevens*

De putarchitectuur is adequaat beschreven en geïllustreerd met behulp van Tabel 1 t/m 3 en Figuur 9 & 10 [1]. De ondergrondse afstand op mid-reservoir diepte van de productie- en injectielocatie is op 1335 m bepaald (zie erratalijst, Bijlage 3).

### *3.2 Reservoirgegevens*

#### Diepte en bruto dikte

Figuur 11 [1] geeft de diepteligging van de top van de aquifer. Opmerkelijk is dat de top van de aquifer circa 300 tot 400 meter ondieper ligt dan in Figuur 18, Figuur 29 en in Tabel 4 [1] is gegeven. De seismische sectie in Figuur 14 [1], parallel aan de doublet-as, loopt hoogstwaarschijnlijk door de putten MDM-GT-03 en MDM-GT-04. Sectie C-C' (Figuur 15 [1]) loopt ten zuiden van het doublet en is niet noodzakelijkerwijs representatief voor de geologie tussen de twee putten van het doublet. Bijvoorbeeld, op de locatie van het doublet, ten noordoosten en zuidwesten van de putten, zijn twee meer nabijgelegen breuken die niet op de seismische sectie worden gevangen.

De diktekaart Slochteren Zandsteen van Figuur 16 [1] is niet geactualiseerd met de gegevens van de boringen MDM-GT-03 en MDM-GT-04 (dikte en locatie). Daarnaast zou het inzichtelijker zijn om de annotaties en begrenzingen "Partly eroded Slochteren" en "complete Slochteren" op deze kaart te presenteren i.p.v. in Figuur 11 [1]. Desalniettemin geven de kaarten voldoende informatie.

De dikte van het reservoir varieert van ca. 180 m in MDM-GT-03 in het noorden tot 188 m in MDM-GT-04 in het zuiden. De spreiding, gegeven in Tabel 5 [1], geeft een optimistische diktespreiding weer, die niet door de putten of Figuur 16 [1] wordt ondersteund. De dikte-spreiding voor dit doublet op basis van de dikte in de twee putten MDM-GT-03 & -04 is 180-184-190 m.

#### Netto/bruto verhouding

In Tabel 5 [1] is de netto/bruto verhouding (N/B) niet ingevuld. In Tabel 4 [1] zijn wel getallen gegeven. Enkel in put MDM-GT-05 zijn porositeitslogs gemeten op basis waarvan een N/B petrofysisch bepaald zou kunnen worden. Verder zou een PLT-log een indicatie kunnen geven voor een N/B, maar voor zover TNO-AGE bekend zijn die niet opgenomen. Bij de bepaling van de permeabiliteit uit de puttest op basis van de transmissiviteit (in essentie netto dikte x permeabiliteit (kH)) heeft de vergunninghouder als netto dikte, bij gebrek aan beter, de bruto dikte gebruikt. Vooralsnog gaat TNO-AGE er vanuit dat dit in de gegeven getallen ook is gebeurd en dat dus is aangenomen dat de N/B 100% is. TNO-AGE heeft een netto-bruto verhouding van 97% gebruikt voor de modelberekeningen, welke gebaseerd is op eigen log analyses van de MDM-GT putten.

#### Porositeit

In geen van de beide putten van het doublet zijn logs gemeten op basis waarvan de porositeit berekend kan worden. De bron van de porositeitswaarden gegeven in Tabel 4 [1] is derhalve onduidelijk. Gebruikmakend van de puttest permeabiliteit gegeven in Tabel 4 [1] en een gemiddelde aquifer porositeit-permeabiliteit relatie is volgens TNO-AGE de porositeit van de putten MDM-GT-03 & -04 respectievelijk circa 14% en 17%.

#### Permeabiliteit

Tabel 4 [1] is ondersteunend aan Tabel 5 [1] voor de bepaling van de gemiddelde aquiferparameters, die door de vergunninghouder gebruikt lijken te worden voor de berekening van de debieten en vermogen. Opmerkelijk is dat voor beide putten een permeabiliteit bepaald is uit de petrofysica, terwijl er in geen van de putten porositeitslogs zijn genomen (informatie uit EOW's). Voor de "petrofysische permeabiliteit" in de putten MDM-GT-03 en MDM-GT-04 wordt 260 mD gegeven terwijl de porositeitwaarden van beide putten in dezelfde tabel verschillen. Geen van de permeabiliteitwaarden bepaald uit de puttesten komt in de buurt van "petrofysische permeabiliteit". In Tabel 5 [1] wordt 260 mD opgevoerd als hoge waarde. In dezelfde tabel wordt een meest waarschijnlijke/middenwaarde van 172 mD opgevoerd. Deze waarde is bepaald door de permeabiliteitwaarden van de vier putten in het winningsvergunninggebied Middenmeer I (MDM-GT-01, -02, 05 & -06) te middelen. Echter, omdat permeabiliteit logaritmisch is, leidt deze middeling tot een te hoge en niet-representatieve gemiddelde permeabiliteit. TNO-AGE geeft de voorkeur aan permeabiliteitwaarden verkregen uit een goede puttest en daarna aan interferentietest resultaten. De gemiddelde permeabiliteit van de puttesten is 81 mD en als de interferentietest waarde worden meegenomen 90 mD. TNO-AGE heeft de puttesten zelf ook geëvalueerd en komt tot vergelijkbare permeabiliteitwaarden als gegeven door de vergunninghouder. Desalniettemin, blijft het vooralsnog lastig om op basis van de huidige gegevens een permeabiliteitsveld op te stellen van het beïnvloedingsgebied die alle data honoreert. In het ondergrondmodel van het winningsvergunning advies heeft TNO-AGE toentertijd een permeabiliteit gekozen van 85 mD voor de gehele invloedssfeer van de doubletten MDM-GT-03 & -04. Met deze waarde, die gebaseerd is op de puttest resultaten, zijn de productiegegevens modelmatig redelijk te reproduceren en dus wordt voor dit winningsplan ook een permeabiliteit van 85 mD gebruikt.

**Datum**  
16 december 2019

**Onze referentie**  
AGE 19-10.075

**Blad**  
9/28

### Formatiewater karakteristiek

Vergunninghouder geeft een saliniteit van 180.000 ppm voor dit doublet (Tabel 6 en 7 in [1]). Op basis van eerder aangeleverde formatiewater analyses van de MDM-GT putten en puttest gegevens zou voor beide systemen circa 145.000 ppm adequaat zijn. Voor de modellering is TNO-AGE uitgegaan van de saliniteit uit de wateranalyses en puttesten, dus 145.000 ppm.

### Temperatuur

In Tabel 5 [1] geeft de vergunninghouder een geothermische gradiënt van 3,55 °C/100m, met een spreiding van 3,5 tot 3,6 °C/100m. Bij een gemiddelde oppervlaktetemperatuur van 10°C en de gemiddelde mid-reservoirdiepte geeft dit een reservoirtemperatuur van 91 °C. Dit komt overeen met de temperatuurmetingen uit de puttesten zoals gegeven in Tabel 4 [1] en de maandelijks aangeleverde productiedata.

TNO-AGE heeft, o.b.v. de mid-reservoir temperatuur gegeven in Tabel 4 [1] en de mid-reservoirdiepte van de productieput MDM-GT-04, een geothermische gradiënt van 3,6 °C/100m berekend. Deze geothermische gradiënt is gebruikt voor de modellering in DoubletCalc1D. Voor de invoer van het DoubletCalc2D model heeft TNO-AGE een temperatuur-grid gemaakt o.b.v. de mid-reservoir temperatuur in de twee putten zoals gegeven in Tabel 4 [1].

### Reservoirdruk

In Tabel 4 geeft de vergunninghouder de aquiferdruk per put, afkomstig uit de puttesten. Deze waarden lijken aan te tonen dat het reservoir onder hydrostatische druk verkeert, daarom is TNO-AGE voor de berekeningen in DoubletCalc1D ook uitgegaan van een hydrostatische reservoirdruk.

### *3.3 Productiegegevens en productieprognose*

Het geothermische systeem MDM-GT-03 & -04 is operationeel sinds eind 2014. Er is dus circa vijf jaar aan maandelijkse productiegegevens beschikbaar ter referentie van de ingediende plannen. Bij de analyse van de productiegegevens wordt aangenomen dat de reservoir permeabiliteit 85 mD is en de dikte en N/B zoals beschreven in de vorige paragrafen. Uit deze analyse volgt dat de skin afhankelijk is van druk/debiet: bij hogere debieten een lagere danwel meer negatieve skin. Momenteel zijn de productiekarakteristieken als volgt:

*Tabel 1: Productiekarakteristiek van het geothermische systeem MDM-GT-03 & -04. Gemiddelden en maxima over een selectie van de aangeleverde maandcijfers.*

| Wat                                                     | MDM-GT-03 & -04 |
|---------------------------------------------------------|-----------------|
| Max. maand gemiddeld debiet (m <sup>3</sup> /uur)       | 211             |
| Max. maand gemiddelde injectiedruk @ injectiepomp (bar) | 62              |
| Injectietemperatuur (°C)                                | 35              |

De gegevens die de vergunninghouder in Tabellen 11 t/m 13 [1] geeft, karakteriseren de productie van het geothermische systeem onder beoogde standaard operationele condities. De getallen genoemd in Tabel 11 en 12 [1] komen

**Datum**  
16 december 2019

**Onze referentie**  
AGE 19-10.075

**Blad**  
10/28

overeen met de productieprognose in de overige figuren en tabellen in deze paragraaf.

Uit de geprognostiseerde productiedata (Tabel 13 [1]) blijkt dat de vergunninghouder een “flat rate” debiet hanteert van 250 m<sup>3</sup>/uur en 8760 vollasturen gedurende een jaar. De vergunninghouder geeft aan (Tabel 11 en 12 [1]) dat het maandelijkse debiet 20% kan afwijken in een bepaald jaar, naar gelang de voortgang van de productie en onderhoud van het systeem. Dit betekent dat het maximale debiet mogelijk 300 m<sup>3</sup>/uur is.

Daarnaast geeft de vergunninghouder aan rekening te houden met een gepland onderhoud van het systeem om de vijf jaar. In het jaar van onderhoud stelt de vergunninghouder het aantal vollasturen op ~92% van het maximale aantal uren per jaar.

Het geprognostiseerde debiet is hoger dan de tot nu toe gerealiseerde debieten. Het maximaal behaalde debiet is ca. 190 m<sup>3</sup>/uur, zoals blijkt uit Mijnwettelijk aangeleverde maandelijkse productiedata.

De winningsvergunning is vergeven voor een periode van 35 jaar, ingaand op 5 februari 2019. Tabel 13 geeft een productieprognose voor 12 jaar, gerekend vanaf 2019. Er is nergens eenduidig gesteld wat de beoogde duur van de winning is.

Op p 44 [1] geeft vergunninghouder voor het systeem aan dat de WABO geen maximale injectiedruk geeft. De maximale injectiedruk conform het injectiedrukprotocol van SodM [5] bedraagt volgens vergunninghouder 56,5 bar waarschijnlijk gemeten aan de putmond.

Op basis van de gegeven reservoirdruk uit Tabel 4 [1] kan afgeleid worden dat de hydrostatische gradiënt circa 0,106 bar/m is. Met dit als referentie zal de injectiedrukruimte, conform het SodM-protocol, ca. 63 bar zijn op top reservoirdiepte.

In Tabel 11 en 12 [1] geeft de vergunninghouder aan 0,01 l/m<sup>3</sup> inhibitorvloeistof in te brengen in de beide putten. Dit komt overeen met de hoeveelheid ingebrachte inhibitor zoals gerapporteerd in Tabel 13 [1].

Gedurende het productieproces vindt bijvangst van opgelost aardgas plaats. Het winningsplan [1] bevat inconsistenties m.b.t. de verhouding opgelost gas en water. Op p3 in [1] wordt vermeld dat de bijvangst ca. 0,42 Nm<sup>3</sup> gas per m<sup>3</sup> water is, maar op p16 wordt een spreiding van 0,3-0,4 Nm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> gegeven. In Tabel 6 en op p46 wordt daarentegen weer een verhouding van 0,34 Nm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> gegeven. Uit de Mijnwettelijk aangeleverde productiegegevens blijkt dat de verhouding 0,34 Nm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> is. Vergunninghouder stelt dat dit gas wordt afgevangen en gebruikt in gasmotoren (WKK) voor de productie van warmte en elektriciteit.

**Datum**  
16 december 2019

**Onze referentie**  
AGE 19-10.075

**Blad**  
11/28

#### 4. Modellerings aardwarmteproductie

In Figuur 20 en 21 [1] wordt het resultaat van een DoubletCalc2D reservoirsimulatie gepresenteerd. Deze figuren zijn afkomstig uit het rapport [6] ter ondersteuning van de winningsvergunningaanvraag uit 2015 en tonen de reservoirsimulatie van het voormalige doublet MDM-GT-01 & -02 en het doublet MDM-GT-03 & -04. In [6] worden twee scenario's gepresenteerd, waarvan Figuur 20 en 21 [1] er één van is. Het is niet duidelijk welk scenario het betreft. Het debiet dat is gebruikt voor het doublet MDM-GT-03 & -04 is 200 of 265 m<sup>3</sup>/uur, terwijl op p40 [1] 350 m<sup>3</sup>/uur wordt genoemd. Omdat het beoogde debiet van onderhavig doublet 250 +/- 20% m<sup>3</sup>/uur is, zijn deze figuren niet direct relevant voor de ondersteuning van de productieprognoses gegeven in Tabel 10 t/m 13. Daarbij zouden ook de reservoirparameters die als invoer zijn gebruikt af kunnen wijken van de waarden berekend uit de puttesten.

TNO-AGE heeft voor het geothermisch systeem een DoubletCalc1D scenario opgesteld en één DoubletCalc2D voor dit systeem en beide naburige systemen in het winningsplan Middenmeer I tezamen. TNO-AGE heeft bij de reservoirmodellering in DoubletCalc2D ook de historische productiedata meegenomen van de putten MDM-GT-01 t/m -04, die al sinds 2014 in productie zijn. In combinatie met de vergunningsduur van 35 jaar is dat dus een totale productieperiode van ca. 39 jaar. De invoerwaarden zijn grotendeels overgenomen van de in het winningsplan [1] gerapporteerde put- en reservoirgegevens. Echter, op basis van een evaluatie van deze gegevens, zoals hierboven beschreven, komt TNO-AGE voor bepaalde parameters tot andere inzichten en heeft daarvoor afwijkende waarden gebruikt in de modellering. De uitkomsten van deze modelberekeningen zijn vergeleken met de reeds beschikbare productiedata.

##### 4.1 DoubletCalc 1D

Voor het doublet MDM-GT-03 & -04 kan uit de huidige productiegegevens worden afgeleid dat de injectieverschil op reservoirdiepte, bij een maximaal debiet van 211 m<sup>3</sup>/uur, circa 64 bar is. Als met de reservoirparameters, de productie-instellingen en de gerealiseerde installatieparameters een DoubletCalc1D scenario wordt gedraaid dan is het berekende injectiedrukverschil op reservoirdiepte, bij een debiet van 211 m<sup>3</sup>/uur, 61 bar (Figuur 4 in Bijlage 2) en komt dus goed overeen met de injectieverschil uit de productiedata. Het vermogen dat resulteert uit dit scenario is 12,2 MW (Figuur 4 in Bijlage 2) en ook dat komt goed overeen met het vermogen uit de aangeleverde productiedata. Vergunninghouder geeft haar prognoses voor een debiet van 250 m<sup>3</sup>/uur. Met het DoubletCalc1D scenario wordt een debiet van 250 m<sup>3</sup>/uur berekend bij een injectiedrukverschil op reservoirdiepte van circa 73 bar (Figuur 5 in Bijlage 2). Het verwachte geothermisch vermogen resulterend uit dit scenario is 14,5 MW.

##### 4.2 DoubletCalc 2D

In een DoubletCalc2D modellering, bij een debiet van 250 m<sup>3</sup>/uur, zou het injectiedrukverschil oplopen van circa 66 tot 71 bar in de looptijd tot 39 jaar productie. Dit komt vrij goed overeen met de resultaten van het DoubletCalc1D model. Een overschrijding van de vergunningsgrens door de koudwaterbel, ten

**Datum**  
16 december 2019

**Onze referentie**  
AGE 19-10.075

**Blad**  
12/28

gevolge van koudwater-injectie, wordt modelmatig voorzien nadat er ca. 89 miljoen m<sup>3</sup> water geïnjecteerd is in het reservoir. Tot op heden is ca. 6,5 miljoen m<sup>3</sup> water geproduceerd en geïnjecteerd. Bij een geprognostiseerd debiet van 250 m<sup>3</sup>/uur jaarrond vindt dit modelmatig plaats 42 jaar na de productiestart eind 2014 (Figuur 6 in Bijlage 2). Daarnaast voorspelt het DoubletCalc 2D model een doorbraak van koud water in de productieput na meer dan 100 jaar productie.

Verder tonen de modelresultaten (Figuur 6 en 7 in Bijlage 2) aan dat, na injectie van deze hoeveelheid water, de injectieput een maximale afkoeling bij de dichtstbijzijnde breuk van ca. 60 °C veroorzaakt en een maximaal drukverschil van ca. 8 bar bij een debiet van 250 m<sup>3</sup>/uur.

#### *4.3 Bevindingen productiestrategie*

Met de huidige put- en reservoirparameters lijkt het beoogde debiet van 250 m<sup>3</sup>/uur (+/- 20%) niet gerealiseerd te kunnen worden binnen de injectiedrukbeperking van 63 bar (op reservoirdiepte) zoals gesteld in het SodM protocol [5]. De modelresultaten en door de vergunninghouder aangeleverde productiedata tonen aan dat bij een injectiedruk van 63 bar op reservoirdiepte een debiet van ca. 200 m<sup>3</sup>/uur gerealiseerd kan worden. Echter, omdat de relatie tussen debiet en injectiedruk afhankelijk is van meerdere factoren die gedurende tijd kunnen veranderen, zoals de skin, is het lastig om op dit moment te stellen dat het beoogde debiet nooit gehaald zal worden. Een verbetering van de skin, en daarmee de injectiviteit, wordt reeds waargenomen bij andere geothermische systemen die produceren uit de Slochteren Fm.

Een eerste orde inschatting door TNO-AGE toont aan dat afkoeling van het reservoir leidt tot additionele spanningsopbouw waardoor, om scheurvorming in het reservoir en de afsluitende laag te voorkomen, de maximale injectiedruk mogelijk verlaagd zou moeten worden. Het verdient aanbeveling om dit nader te onderzoeken.

Een overschrijding van de vergunningsgrens door de koudwaterbel, ten gevolge van koudwater-injectie, wordt modelmatig voorzien nadat er ca. 89 miljoen m<sup>3</sup> water geïnjecteerd is in het reservoir. Met het beoogde debiet van 250 m<sup>3</sup>/uur jaarrond zal de koudwaterbel van het doublet MDM-GT-03 & -04 de vergunningsgrens overschrijden 42 jaar na de productiestart eind 2014 (Figuur 6 in Bijlage 2). Echter, omdat het geprognostiseerde debiet van 250 m<sup>3</sup>/uur niet gehaald lijkt te kunnen worden onder de maximale injectiedruk volgens het SodM protocol [5], en omdat de vergunninghouder voornemens is elke 5 jaar een onderhoudsperiode in te lassen, treedt grensoverschrijding van de koudwaterbel waarschijnlijk nog later op.

## **5. Bodemdaling**

Vergunninghouder verwacht dat de maximaal te verwachten bodemdaling door de winning van aardwarmte na 30 jaar 1 cm zal zijn.

TNO-AGE heeft de bodemdaling ten gevolge van de aardwarmteproductie, het onttrekken van enkel warmte aan de diepe ondergrond, berekend voor de situatie waarin de drie doubletten in de winningsvergunninggebieden Middenmeer I en II

conform hun productieprognose zullen gaan produceren. De gemodelleerde maximale bodemdaling is in de orde van 1,1 cm (Figuur 8), overeenkomstig met de beschrijving van de vergunninghouder. Het kleine verschil wordt waarschijnlijk verklaard door de gemodelleerde productieduur. De vergunninghouder berekent de bodemdaling na 30 jaar productie en TNO-AGE na 39 jaar, de periode vanaf de start van productie tot het einde van de winningsvergunningstermijn.

## **6. Interferentie**

In het beïnvloedingsgebied van beide doubletten zijn geen olie of gasvelden gelegen of gas prospects geïdentificeerd. Vooralsnog is er geen interferentie met de exploratie en winning van koolwaterstoffen voorzien. Hetzelfde geldt voor de opslag van gas of energieresiduen.

Seismiek en de interferentietesten tonen aan dat een breuk aanwezig is tussen de winningsvergunning Middenmeer I en Middenmeer II. Uit een interferentietest blijkt dat deze breuk niet volledig afsluitend is, maar wel een zeer lage permeabiliteit heeft. Dit betekent dat het doublet MDM-GT-03 & -04 druktechnisch in contact staan met de twee doubletten in het winningsvergunningsgebied Middenmeer I, maar dit effect is zeer gering in vergelijking met de drukcommunicatie tussen de productie- en injectieput van elk doublet. Gezien de lage permeabiliteit wordt vloeistofstroming over de breuk niet verwacht.

Verder is er geen overlap van het winningsvergunningsgebied met Natura2000 gebieden, grondwaterbeschermingszones en/of waterwingebieden. Het dichtstbijzijnde Natura2000 gebied (het IJsselmeer) bevindt zich ca. 4 km van de projectlocatie. De vergunninghouder stelt in paragraaf 6.7 [1] dat het dichtstbijzijnde Natuurnetwerk Nederland (NNN) gebied ca. 1,4 km ten zuiden van de projectlocatie ligt. De injectieput MDM-GT-03 (op reservoirdiepte) ligt nog wat verder weg. De resultaten van de modelberekening (Figuur 8) tonen echter dat de verwachte bodemdaling op deze NNN locatie, aan het einde van de winningsvergunningsduur, ca. 9 mm is.

## **7. Seismische Hazard en Risico Analyse (SHRA)**

Ten behoeve van het winningsplan Middenmeer II [1] heeft de vergunninghouder een Quickscan Seismische Hazard en Risico Analyse (SHRA) uitgevoerd. Het uitgangspunt voor deze analyse was de tijdelijke leidraad zoals opgesteld door Qcon en IF [4] en de door DAGO gepubliceerde toevoeging hierop [7]. De resultaten van deze Quickscan zijn beschreven in [1].

Vergunninghouder documenteert de SHRA-score van 0,31 (tabel 25 [1]) op een adequate manier in hoofdstuk 6.3. TNO-AGE zal in onderstaande evaluatie de antwoorden van de vergunninghouder toetsen aan eigen antwoorden op basis van aangeleverde gegevens en eigen analyse die zich conformeert aan de Q-Con methodiek [4].

Datum  
16 december 2019

Onze referentie  
AGE 19-10.075

Blad  
14/28

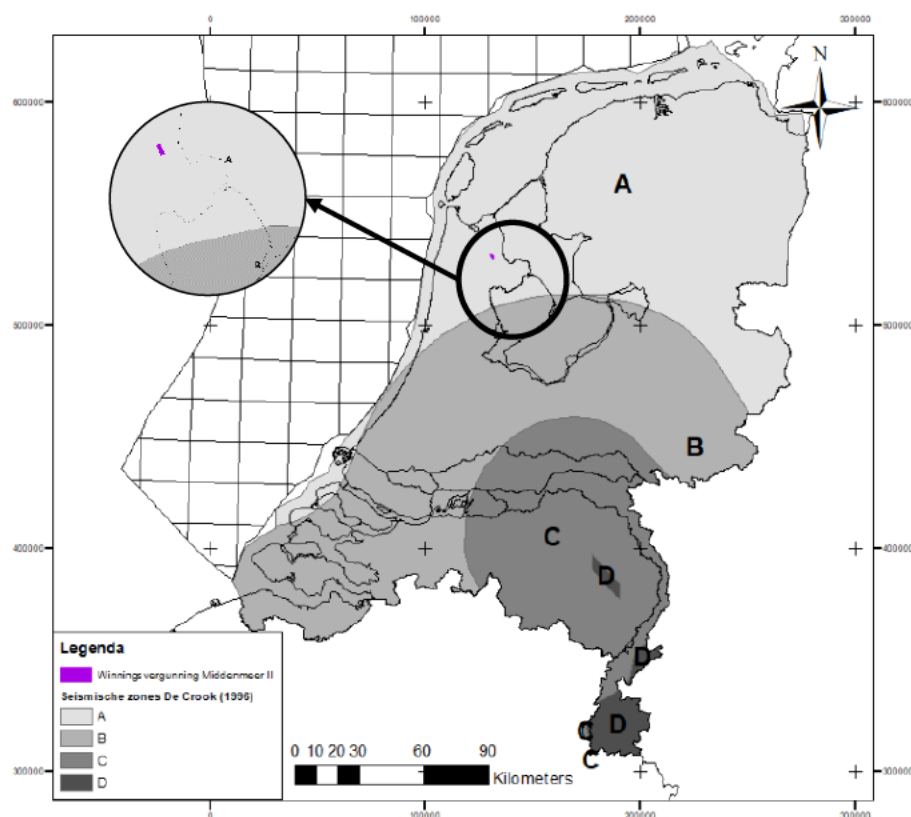
### 7.1 Eerste drie vragen beslisboom

De antwoorden van zowel de vergunninghouder als TNO-AGE op de eerste drie vragen van de beslisboom in de SHRA methodiek van Qcon en IF [4] worden gegeven in Tabel 2, alsmede een korte argumentatie.

Tabel 2: Beantwoording eerste drie vragen van beslisboom Qcon & IF SHRA methodiek [4].

| Eerste drie vragen beslisboom                                                                                                           | Antwoord         |         | Argumentatie en opmerkingen TNO-AGE                                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                         | Vergunninghouder | TNO-AGE |                                                                                                                                                                                              |
| Is de afstand van het project tot een majeure breukzone <100 m of is het stromingsconcept gebaseerd op productie uit bestaande breuken? | nee              | nee     | Play type is "Hot Sedimentary Aquifer" met beoogde stroming primair door gesteentematrix en niet door breuken. Er is geen majeure breukzone binnen 100 m van de injectieput (Figuur 27 [1]). |
| Ligt het project in de tektonisch actieve Roerdalslenk?                                                                                 | nee              | nee     | Ligt ver buiten gebied C van De Crook (1996), zie Figuur 1, dat grotendeels overeenkomt met het tektonisch actieve gebied de Roerdalslenk.                                                   |
| Wordt het project beïnvloed door het Groningen gasveld?                                                                                 | nee              | nee     | Project ligt meer dan 100 km verwijderd van Groningen gasveld.                                                                                                                               |

Op basis van bovenstaande bevindingen is TNO-AGE het eens met de vergunninghouder dat het antwoord op de eerste drie vragen van de beslisboom **nee** is.



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

**Datum**  
16 december 2019

**Onze referentie**  
AGE 19-10.075

**Blad**  
15/28

## 7.2 Quicksan tabel

### Hydraulische connectie met kristallijne basement

#### Beantwoording vergunninghouder

Vergunninghouder stelt dat de score voor deze categorie 0 is omdat een “meer dan 4 km dikke scheiding” tussen het reservoir en het kristallijne basement drukcommunicatie onwaarschijnlijk maakt.

#### Bevindingen TNO-AGE

TNO-AGE onderschrijft deze score. De basis aquifer bij injectieput is 2350 m. De diepte van het pre-Silesian is ca. 7000 m (Figuur 28 in [1]). Naar verwachting ligt daaronder nog een dik pakket Onder-Carboon en Devoon. Derhalve verwacht ook TNO-AGE dat de verticale afstand van de injectielocatie tot het kristallijne basement groter is dan 3 km.

|                                                                                                                     |                    |               |          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------------|----------|
| Geothermal system designed to have <b>no pressure communication</b>                                                 | 10                 |               |          |
| Geothermal system targeting the <b>different</b> geological formations                                              | 7                  |               |          |
| Geothermal system designed to have <b>pressure communication</b> and targeting the <b>same</b> geological formation |                    |               |          |
|                                                                                                                     | Lateral separation |               |          |
| Vertical separation                                                                                                 | < 1000 m           | 1000 – 2000 m | > 2000 m |
| >500 m                                                                                                              | 7                  | 7             | 7        |
| 100 – 500 m                                                                                                         | 3                  | 3             | 7        |
| < 100                                                                                                               | 0                  | 3             | 7        |

Figuur 2: Score-indeling voor de categorie “drukcommunicatie tussen de productie- en injectieput” volgens de SRA methodiek van Qcon en IF [4], omgezet in een tabel. De geel gemarkeerde cellen geven situaties weer die niet worden beschreven in de methodiek van Qcon en IF [4].

### Drukcommunicatie tussen productie- en injectieput

#### Beantwoording vergunninghouder

Vergunninghouder geeft voor deze categorie een score van 0. Vergunninghouder stelt dat de aquifer relatief homogeen is en dat de dominante breukrichting parallel aan de as van het doublet is. Vervolgens suggereert vergunninghouder dat er interferentietesten zijn uitgevoerd tussen de putten. Het noemen van de doubletten in Andijk suggereert dat deze paragraaf voor die doubletten is opgesteld. Onduidelijk is wat de relevantie is van het genoemde in deze paragraaf voor het doublet van MDM-GT-03 & -04.

#### Bevindingen TNO-AGE

Na evaluatie blijkt dat de methodiek van Qcon en IF [4] niet alle mogelijke situaties beschrijft, zie de gele cellen in Figuur 2. Aan deze twee ontbrekende situaties is een score 3 toegekend. De laterale separatie van de twee doubletputten is 1335 m en de verticale separatie 25 m. Dit resulteert in een score van 3. Echter, TNO-AGE heeft de beschikking over een rapportage [8] waarin de resultaten van een interferentietest tussen de putten MDM-GT-03 & -04, uitgevoerd in april 2014, is

**Datum**  
16 december 2019

**Onze referentie**  
AGE 19-10.075

**Blad**  
16/28

beschreven. Hieruit blijkt dat er drukcommunicatie is tussen beide putten. Daarnaast is ook op basis van de productiegegevens te concluderen dat er goede drukcommunicatie is tussen beide putten. Op de top reservoir-kaart (Figuur 11 en 29 [1]) is er geen doorgaande breuk te zien tussen de putten MDM-GT-03 & -04. Op de coherency-kaart van dit gebied is ook geen anomalie te zien tussen de putten. Op basis van deze locatie-specifieke informatie lijkt een score 0 opportuun.

#### *Injectiedruk*

##### Beantwoording vergunninghouder

Tabel 10 [1] geeft dat de maximale (THP) injectiedruk conform het SodM protocol [5] 56,5 bar is. In "Ad 8. Injectiedruk" (p61 [1]) wordt gesteld dat het drukverschil bij de injectieput beneden de 20 bar ligt bij het beoogde debiet (zie ook paragraaf "debiet"). Echter, in Tabel 16 (p64 [1]) wordt gesuggereerd dat het opgelegde drukverschil op reservoirdiepte tussen de 40 en 70 bar zal liggen en dat de score voor deze categorie 7 is.

##### Bevindingen TNO-AGE

Een DoubletCalc 2D scenario met een debiet van 250 m<sup>3</sup>/uur, het geprognostiseerde debiet, geeft een injectiedruk op reservoirdiepte van 66 tot 71 bar. Hieruit volgt een score van 7. Echter, de injectiedrukbe grenzing van 63 bar volgens het injectieprotocol [5] wordt vooralsnog gevolgd. Op basis daarvan kan voor deze categorie een score van 7 worden toegekend, idem vergunninghouder.

#### *Debiet*

##### Beantwoording vergunninghouder

Op p3 [1] wordt gesteld dat het debiet, ontwerpdebiet danwel piekdebiet 250 m<sup>3</sup>/uur +/- 20% (= 200 – 300 m<sup>3</sup>/uur) is. Op p40 [1] wordt een debiet genoemd van 350 m<sup>3</sup> dat gebruikt is in de modellering. Ditzelfde debiet wordt genoemd als nominaal (winter) en ontwerpdebiet op p61 [1]. Daarentegen, in de productieprognose (Figuur 23 [1]) wordt uitgegaan van een debiet van 250 m<sup>3</sup>/uur. De vergunninghouder is dus in [1] niet consistent in de beschrijving van het debiet. Zowel een debiet van 250 m<sup>3</sup>/uur als 350 m<sup>3</sup>/uur resulteert in een score van 7 voor deze categorie.

##### Bevindingen TNO-AGE

TNO-AGE gaat ervan uit dat het debiet van 350 m<sup>3</sup>/uur foutief is en hanteert als maximum debiet voor dit geothermische systeem 300 m<sup>3</sup>/uur (250 m<sup>3</sup>/uur +20%). Dit resulteert in een score van 7, idem als vergunninghouder geeft in Tabel 16 [1].

#### *Afstand tot natuurlijke aardbevingen*

De meest nabije natuurlijke aardbeving is bij Beverwijk op een afstand van circa 44 km. Hieruit volgt een score van 0, idem vergunninghouder.

#### *Afstand tot geïnduceerde aardbevingen*

De meest nabije natuurlijke aardbeving is bij Anna Paulowna op een afstand van circa 17 km. Hieruit volgt een score van 0, idem vergunninghouder.

**Datum**  
16 december 2019

**Onze referentie**  
AGE 19-10.075

**Blad**  
17/28

#### *Afstand tot breuken & kwaliteit seismiek*

##### Beantwoording vergunninghouder

De vergunninghouder stelt op p56 [1] dat de putten ca. 250 m verwijderd zijn van de meest nabij gelegen breuken. Daarnaast wordt gesteld dat de putten zijn geboord in een gebied met alleen 2D seismische data, terwijl daarna wordt gezegd dat de afstanden van de putten tot breuken zijn gebaseerd op 3D seismiek. Het resultaat van de vergunninghouder is een score van 7 voor deze categorie.

##### Bevindingen TNO-AGE

Putten MDM-GT-03 & -04 liggen binnen de omhullende van een 3D-seismische survey (Figuur 29 [1], gele gebied). De kwaliteit van deze survey om de top van het reservoir adequaat te interpreteren is goed. De afstand van de injectieput MDM-GT-03 tot de meest nabij breuk is circa 360 m. Combinatie van deze twee factoren resulteert in een score van 7, idem vergunninghouder.

#### *Breukoriëntatie in huidig spanningsveld*

##### Beantwoording vergunninghouder

Vergunninghouder geeft een score van 7 (Tabel 16 [1]) "op basis van de bekende data".

##### Bevindingen TNO-AGE

De gemiddelde oriëntatie van het stress-veld in het Rotliegend in Nederland is  $324^\circ$  volgens Mechelse (2017). Op de kaart van Figuur 30 (p58 [1]) worden een aantal stressrichting-bepalingen gegeven:  $335^\circ$ ,  $313^\circ$  en  $331^\circ$ . Strekking van de breuken op Figuur 29 [1] is circa  $335^\circ$ . Des gevolg is de hoek tussen de strekking van de breuk en het stress-veld tussen 0 en  $22^\circ$ . Aannemende dat het steile breuken zijn met een helling van 70 tot  $80^\circ$  en op basis van een analytische berekeningsmethodiek [9] zijn ze "Favourable for shear". Dit zou een score van 10 betekenen, in tegenstelling tot vergunninghouder.

#### *Netto geïnjecteerd volume*

Het systeem opereert in massabalans modus. Dat betekent dat evenveel formatiewater wordt geïnjecteerd als geproduceerd. De injectie van inhibitor ( $0,01 \text{ l/m}^3$ ) is verwaarloosbaar. Dit resulteert in een score van 0 voor deze categorie, idem vergunninghouder.

Tabel 3: Antwoord op vraag in beslisboom in SRA methodiek van Qcon en IF [4].

| Vraag in beslisboom m.b.t. opgetreden seismiciteit.                                           | Antwoord         |         | Argumentatie en opmerkingen TNO-AGE                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                               | Vergunninghouder | TNO-AGE |                                                                                                                             |
| Hebben bevingen (natuurlijk of geïnduceerd) plaatsgevonden in het geothermisch projectgebied? | ?                | nee     | Niet in het verwachte temperatuurs- of druk-beïnvloedingsgebied. Meest nabije beving heeft plaatsgevonden op 17 km afstand. |

**Datum**  
16 december 2019

**Onze referentie**  
AGE 19-10.075

**Blad**  
18/28

### 7.3 Resultaat Quickscan scoretabel

#### Resultaat vergunninghouder

De vergunninghouder heeft de Quickscan scoretabel ingevuld voor het doublet MDM-GT-03 & -04 en komt daarbij tot een genormaliseerde score van 0,31 (Tabel 17 [1]). Dit leidt tot een laag potentiaal voor het induceren van seismiteit.

#### Resultaat TNO-AGE

TNO-AGE heeft, op basis van de resultaten van de evaluatie voor beide doubletten, de Quickscan scoretabel ingevuld. TNO-AGE komt voor het doublet MDM-GT-03 & -04 tot een genormaliseerde seismisch potentieel score van 0,38 (Figuur 3) als de Q-Con methodiek [4] exact gevolgd wordt. Indien rekening gehouden wordt met de kennis opgedaan uit de productie dan komt de score op 0,34 (Figuur 3). Deze uitkomst wijkt af van dan die van de vergunninghouder omdat TNO-AGE een hogere score toekent voor de categorie “breukoriëntatie in huidig spanningsveld” (10 i.p.v. 7) (Figuur 3). Dit zou dus resulteren in een potentieel voor het induceren van seismiteit die de grens tussen laag en gemiddeld net overschrijdt. Volgens de leidraad van Qcon en IF [4] zou de vergunninghouder met deze uitkomst een evaluatie van de locatie specifieke seismische dreiging moeten uitvoeren.

| Score                | Connectie met basement | Drukcommunicatie tussen productie- en injectieput | Injectiedruk | Debiet  | Afstand tot natuurlijke aardbevingen | Afstand tot geïnduceerde aardbevingen | Afstand tot breuken en kwaliteit seismiek | Breukoriëntatie in huidig spanningsveld | Netto geïnjecteerd volume |        |                       |
|----------------------|------------------------|---------------------------------------------------|--------------|---------|--------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------|--------|-----------------------|
| 10                   | Yes                    | No                                                | >7           | >360    | <1                                   | <1                                    | <0,1                                      | Favourable                              | >20                       |        |                       |
| 7                    | Possible               | Unlikely                                          | 4-7          | 180-360 | 1-5                                  | 1-5                                   | 0,1-0,5                                   | Shearing possible                       | 5-20                      |        |                       |
| 3                    | Unlikely               | Likely                                            | 1-4          | 50-180  | 5-10                                 | 5-10                                  | 0,5-1,5                                   | Shearing unlikely                       | 0,1-5                     |        |                       |
| 0                    | No                     | Yes                                               | <1           | <50     | >10                                  | >10                                   | >1,5                                      | Locked                                  | <0,1                      |        |                       |
|                      |                        |                                                   |              |         |                                      |                                       |                                           |                                         |                           | Totaal | Genormaliseerde score |
| Operator             | 0                      | 0                                                 | 7            | 7       | 0                                    | 0                                     | 7                                         | 7                                       | 0                         | 28     | 0.31                  |
| TNO-AGE              | 0                      | 3                                                 | 7            | 7       | 0                                    | 0                                     | 7                                         | 10                                      | 0                         | 34     | 0.38                  |
|                      |                        |                                                   |              |         |                                      |                                       |                                           |                                         |                           |        |                       |
| TNO-AGE alternatief* | 0                      | 0                                                 | 7            | 7       | 0                                    | 0                                     | 7                                         | 10                                      | 0                         | 31     | 0.34                  |

Figuur 3: Scoringstabel en genormaliseerde Quickscan score van het doublet MDM-GT-03 & -04. De alternatieve TNO-AGE scoring houdt rekening met de productiegegevens.

## 8. Conclusies

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

- In het winningsplan [1] wordt niet eenduidig beschreven of de drie doubletten bij Middenmeer één aardwarmtewinningssysteem vormen, of drie individuele geothermische systemen. Conform dat wat gesteld is in de winningsvergunningaanvraag en toentertijd bijgevoegd winningsplan, en op basis van de Mijnwettelijk aangeleverde productiedata, gaat TNO-AGE er

vanuit dat het onderhavige doublet één geothermisch systeem is met een separate zoutwater circulatie.

- De uitkomsten van de modelberekeningen door TNO-AGE luiden als volgt:
  - De koudwaterbel bereikt de vergunningsgrens 42 jaar na de productiestart. Dit valt buiten de winningsvergunningstermijn van 35 jaar.
  - Vanaf de productiestart tot het moment van grensoverschrijding van de koudwaterbel berekent TNO-AGE dat er een totaal watervolume van 89 miljoen m<sup>3</sup> water wordt geproduceerd.
  - Aan het eind van de winningsvergunningstermijn (39 jaar na de productiestart eind 2014) heeft de injectieput een maximale afkoeling van ca. 60 °C en een drukverschil van ca. 8 bar veroorzaakt op de dichtstbijzijnde breuk.
  - Doorbraak van koud water in de productieput wordt niet verwacht binnen een periode van 100 jaar productie na de productiestart in 2014.
  - De maximale injectiedruk op reservoirdiepte, conform het SodM protocol [5], is 63 bar. Zowel de reeds aangeleverde productiedata als de resultaten van de DoubletCalc1D en DoubletCalc2D modellen tonen aan dat het geprognostiseerde debiet van 250 m<sup>3</sup>/uur niet gehaald kan worden onder deze druk. Bij gelijkblijvende put- en reservoirparameters is het maximaal haalbare debiet ca. 200 m<sup>3</sup>/uur bij een injectiedruk van 63 bar op reservoirdiepte.
  - De door TNO-AGE gemodelleerde maximale bodemdaling is 1,1 cm en komt overeen met de bodemdaling berekend door de vergunninghouder (1 cm). Het kleine verschil met het resultaat van de vergunninghouder wordt waarschijnlijk verklaard doordat TNO-AGE een productieduur van 39 jaar (vanaf start productie tot einde van de winningsvergunning) gebruikt en de vergunninghouder 30 jaar.
  - Op basis van de interferentietesten blijkt dat de breuk tussen de vergunning Middenmeer I en Middenmeer II niet volledig afsluitend is en dat het doublet in Middenmeer II druktechnisch in contact staat met de twee doubletten in Middenmeer I. Echter, dit effect is in vergelijking met de drukcommunicatie tussen de productie- en injectieput van elk doublet erg klein.
- Er zijn geen mijnbouwactiviteiten, anders dan aardwarmte, in de nabijheid van de ondergrondse invloedsfeer van het doublet. Daarom wordt ook geen ondergrondse interferentie verwacht. Verder is er geen overlap van het winningsvergunningsgebied met Natura2000 gebieden, grondwaterbeschermingszones en/of waterwingebieden. Het dichtstbijzijnde Natura2000 gebied (het IJsselmeer) bevindt zich ca. 4 km van de projectlocatie. De resultaten van de modelberekening tonen dat de verwachte bodemdaling op de locatie van het dichtstbijzijnde Natuurnetwerk Nederland (NNN) gebied, dat net ten zuiden van het

**Datum**  
16 december 2019

**Onze referentie**  
AGE 19-10.075

**Blad**  
20/28

winningsvergunningsgebied ligt, aan het einde van de winningsvergunningsduur ca. 9 mm is.

- Een eerste orde inschatting door TNO-AGE toont aan dat afkoeling van het reservoir leidt tot additionele spanningsopbouw waardoor, om scheurvorming in de afsluitende laag te voorkomen, de maximale injectiedruk voor de doubletten in de winningsvergunning Middenmeer II mogelijk verlaagd zou moeten worden.
- De vergunninghouder heeft een SHRA-evaluatie uitgevoerd die resulteert in een genormaliseerde seismisch potentieel score van 0,31 en daarmee dus een laag potentieel voor het induceren van seismiciteit. TNO-AGE heeft de evaluatie van de vergunninghouder gecontroleerd en komt tot een hogere genormaliseerde score van 0,38 indien de methodiek van Qcon en IF [4] strikt wordt gevolgd. Als rekening gehouden wordt met de kennis opgedaan uit de productie dan komt de score op 0,34. Dit zou dus resulteren in een potentieel voor het induceren van seismiciteit die de grens tussen laag en gemiddeld net overschrijdt. Het resultaat van TNO-AGE wijkt af van de uitkomst van de vergunninghouder (0,31) doordat TNO-AGE een hogere score geeft aan de categorie “breukoriëntatie in huidig spanningsveld” (10 i.p.v. 7). Conform de leidraad van Qcon en IF [4] zou de vergunninghouder een locatie specifieke evaluatie van de seismische dreiging moeten uitvoeren. Daarbij zou extra aandacht gegeven kunnen worden aan het effect van afkoeling op de dichtstbijzijnde breuken.

## 9. Aanbevelingen

Gezien de onzekerheid van het effect van afkoeling op de injectiedruk, die mogelijk kan leiden tot scheurvorming in de afsluitende laag en het reservoir, geeft TNO-AGE ter overweging om in te stemmen met het winningsplan onder de volgende voorwaarden:

- 1) De operationele instellingen worden zodanig aangepast dat het seismisch potentieel vooralsnog in de lage seismisch risicoklasse valt. Dit betekent een maximaal debiet van 180 m<sup>3</sup>/uur. In de afgelopen vijf jaar heeft de vergunninghouder dit debiet kunnen injecteren zonder dat aardbevingen zijn gemeten in de nabijheid van het geothermisch systeem.
- 2) De vergunninghouder wordt verzocht, ter ondersteuning van het veilig kunnen injecteren bij het beoogde debiet van 250 m<sup>3</sup>/uur (evt + 20%), een onderbouwing van de maximale injectiedruk op reservoirdiepte aan te leveren waarin het effect van afkoeling op de spanningstoestand in het reservoir adequaat is meegenomen (thermo-elastisch effect). Het uitgangspunt hierbij moet zijn dat geen scheurvorming in de afsluitende laag zal optreden danwel geen schade veroorzakende seismiciteit optreedt, of dat deze gemitigeerd kan worden. Wanneer deze onderbouwing is aangeleverd zou de hieruit resulterende maximale injectiedruk, en niet langer het debiet, als leidend moeten worden beschouwd voor de hoogte van het opgelegde debiet bij winning van warm water.

**Datum**  
16 december 2019

**Onze referentie**  
AGE 19-10.075

**Blad**  
21/28

## Referenties

- [1] ECW, 11 april 2019. Ontwikkelingsplan aardwarmte Middenmeer II, ECW Geowarmte I, Bijlage bij winningsvergunning Middenmeer II: geotechnische onderbouwing.
- [2] ECW. Flowschema geothermie aangepast 04-03-2013-13N6006-03 PID ketelhuis 1.pdf DOMUS-#15157538-v1-Formulier\_aanvraag\_Winningsplan\_-\_ECW.pdf
- [3] TNO-AGE, 13 juni 2018. Geotechnische evaluatie aanvraag winningsvergunning aardwarmte Middenmeer. Ref nr. AGE 18-10.054.
- [4] Qcon GmbH & IF Technology B.V., 5 oktober 2016. Defining the Framework for Seismic Hazard Assessment in Geothermal Projects V0.1.
- [5] SodM, 2013. Protocol bepaling maximale injectiedrukken bij aardwarmte-winning, Versie 2.
- [6] PanTerra, augustus 2015. Evaluatie DoubletCalc berekeningen en winningsgebieden MDM-GT doubletten.
- [7] DAGO, 2018. "SHRA Richtlijn richtinggevend suggesties".
- [8] PanTerra, 2014. MDM-GT-03 to MDM-GT-04 Interference Analysis.
- [9] Levandowski, W., Weingarten, M., Walsh, R., 2018. Geomechanical sensitivities of injection-induced earthquakes. Geophysical Research Letters, Vol. 45, Issue 17, p. 8958 – 8965.

**Datum**  
16 december 2019

**Onze referentie**  
AGE 19-10.075

**Blad**  
22/28

## Bijlage 2: resultaten DoubletCalc modelberekeningen

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

Geotechnics (Input)

| Property                                     | min                                  | median   | max      |
|----------------------------------------------|--------------------------------------|----------|----------|
| aquifer permeability (mD)                    | 53.0                                 | 85.0     | 108.0    |
| aquifer net to gross (-)                     | 0.95                                 | 0.97     | 0.99     |
| aquifer gross thickness (m)                  | 180.0                                | 184.0    | 188.0    |
| aquifer top at producer (m TVD)              | 1932.0                               | 2147.0   | 2362.0   |
| aquifer top at injector (m TVD)              | 1955.0                               | 2172.0   | 2389.0   |
| aquifer water salinity (ppm)                 | 140000.0                             | 145000.0 | 180000.0 |
| Property                                     | value                                |          |          |
| number of simulation runs (-)                | 1000.0                               |          |          |
| aquifer kh/kv ratio (-)                      | 1.0                                  |          |          |
| surface temperature (°C)                     | 10.0                                 |          |          |
| geothermal gradient (°C/m)                   | 0.0362                               |          |          |
| [mid aquifer temperature producer (°C)]      | 91.0                                 |          |          |
| [initial aquifer pressure at producer (bar)] | 0.0                                  |          |          |
| [initial aquifer pressure at injector (bar)] | 0.0                                  |          |          |
| exit temperature heat exchanger (°C)         | 35.0                                 |          |          |
| distance wells at aquifer level (m)          | 1335.0                               |          |          |
| pump system efficiency (-)                   | 0.7                                  |          |          |
| production pump depth (m)                    | 577.0                                |          |          |
| pump pressure difference (bar)               | 86.8                                 |          |          |
| outer diameter producer (inch)               | 8.5                                  |          |          |
| skin producer (-)                            | -2.6                                 |          |          |
| skin due to penetration angle p (-)          | -0.13                                |          |          |
| pipe segment sections p (m AH)               | 571.0, 1305.0, 2090.0, 2385.0        |          |          |
| pipe segment depth p (m TVD)                 | 571.0, 1215.0, 1901.0, 2147.0        |          |          |
| 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)               | 6.6                                  |          |          |
| skin injector (-)                            | 0.5                                  |          |          |
| skin due to penetration angle i (-)          | -0.16                                |          |          |
| pipe segment sections i (m AH)               | 72.0, 1147.0, 1730.0, 2141.0, 2465.0 |          |          |
| pipe segment depth i (m TVD)                 | 72.0, 1103.0, 1604.0, 1958.0, 2240.0 |          |          |
| pipe inner diameter i (inch)                 | 7.92, 12.41, 8.76, 6.28, 4.95        |          |          |
| pipe roughness i (milli-inch)                | 1.19, 1.19, 1.19, 1.19, 1.19         |          |          |

Geotechnics (Output)

| Monte Carlo cases (stochastic inputs)  | P90    | P50    | P10    |
|----------------------------------------|--------|--------|--------|
| aquifer kH net (Dm)                    | 11.96  | 15.2   | 17.39  |
| mass flow (kg/s)                       | 51.41  | 62.67  | 69.77  |
| pump volume flow (m³/h)                | 172.0  | 209.1  | 233.7  |
| required pump power (kW)               | 592.3  | 720.1  | 804.9  |
| geothermal power (MW)                  | 9.63   | 11.91  | 13.85  |
| COP (kW/kW)                            | 15.5   | 16.7   | 17.9   |
| aquifer pressure at producer (bar)     | 207.92 | 221.02 | 234.47 |
| aquifer pressure at injector (bar)     | 217.92 | 230.88 | 243.73 |
| pressure difference at producer (bar)  | 20.83  | 21.7   | 22.7   |
| pressure difference at injector (bar)  | 59.58  | 61.7   | 64.0   |
| aquifer temperature at producer * (°C) | 86.71  | 91.01  | 95.32  |
| temperature at heat exchanger (°C)     | 84.94  | 89.03  | 93.17  |
| base case (median value inputs)        | value  |        |        |
| aquifer kH net (Dm)                    | 15.17  |        |        |
| mass flow (kg/s)                       | 62.98  |        |        |
| pump volume flow (m³/h)                | 211.0  |        |        |
| required pump power (kW)               | 726.9  |        |        |
| geothermal power (MW)                  | 12.16  |        |        |
| COP (kW/kW)                            | 16.7   |        |        |
| aquifer pressure at producer (bar)     | 220.59 |        |        |
| aquifer pressure at injector (bar)     | 230.38 |        |        |
| pressure difference at producer (bar)  | 21.66  |        |        |
| pressure difference at injector (bar)  | 61.4   |        |        |
| aquifer temperature at producer * (°C) | 91.0   |        |        |
| temperature at heat exchanger (°C)     | 89.12  |        |        |
| pressure at heat exchanger (bar)       | 56.06  |        |        |

\* @ mid aquifer depth

Figuur 4: DC1D uitvoerscherm van het doublet MDM-GT-03 & -04 van het scenario met een debiet van circa 211 m³/uur, de huidige hoge debietwaarde.

**Datum**  
16 december 2019

**Onze referentie**  
AGE 19-10.075

**Blad**  
23/28

Geotechnics (Input)

| Property                        | min      | median   | max      |
|---------------------------------|----------|----------|----------|
| aquifer permeability (mD)       | 53.0     | 85.0     | 108.0    |
| aquifer net to gross (-)        | 0.95     | 0.97     | 0.99     |
| aquifer gross thickness (m)     | 180.0    | 184.0    | 188.0    |
| aquifer top at producer (m TVD) | 1932.0   | 2147.0   | 2362.0   |
| aquifer top at injector (m TVD) | 1955.0   | 2172.0   | 2389.0   |
| aquifer water salinity (ppm)    | 140000.0 | 145000.0 | 180000.0 |

Geotechnics (Output)

| Property                                       | value                            |  |  |
|------------------------------------------------|----------------------------------|--|--|
| number of simulation runs (-)                  | 1000.0                           |  |  |
| aquifer kh/iv ratio (-)                        | 1.0                              |  |  |
| surface temperature (°C)                       | 10.0                             |  |  |
| geothermal gradient (°C/m)                     | 0.0362                           |  |  |
| [ mid aquifer temperature producer (°C) ]      | 91.0                             |  |  |
| initial aquifer pressure at producer (bar)     | 0.0                              |  |  |
| [ initial aquifer pressure at injector (bar) ] | 0.0                              |  |  |
| exit temperature heat exchanger (°C)           | 35.0                             |  |  |
| distance wells at aquifer level (m)            | 1335.0                           |  |  |
| pump system efficiency (-)                     | 0.7                              |  |  |
| production pump depth (m)                      | 577.0                            |  |  |
| pump pressure difference (bar)                 | 101.0                            |  |  |
| outer diameter producer (inch)                 | 8.5                              |  |  |
| skin producer (-)                              | -3.9                             |  |  |
| skin due to penetration angle p (-)            | -0.13                            |  |  |
| pipe segment sections p (m AH)                 | 571.0,1305.0,2090.0,2385.0       |  |  |
| pipe segment depth p (m TVD)                   | 571.0,1215.0,1901.0,2147.0       |  |  |
| 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)                 | 6.6                              |  |  |
| skin injector (-)                              | 0.5                              |  |  |
| skin due to penetration angle i (-)            | -0.16                            |  |  |
| pipe segment sections i (m AH)                 | 72.0,1147.0,1730.0,2141.0,2465.0 |  |  |
| pipe segment depth i (m TVD)                   | 72.0,1103.0,1604.0,1958.0,2240.0 |  |  |
| pipe inner diameter i (inch)                   | 7.92,12.41,8.76,6.28,4.95        |  |  |
| pipe roughness i (milli-inch)                  | 1.19,1.19,1.19,1.19,1.19         |  |  |

| Monte Carlo cases (stochastic inputs) | P90   | P50   | P10    |
|---------------------------------------|-------|-------|--------|
| aquifer kH net (Dm)                   | 12.02 | 15.17 | 17.43  |
| mass flow (kg/s)                      | 61.23 | 74.17 | 82.39  |
| pump volume flow (m³/h)               | 204.4 | 247.4 | 275.1  |
| required pump power (kW)              | 819.2 | 991.7 | 1102.7 |
| geothermal power (MW)                 | 11.5  | 14.22 | 16.49  |
| COP (kW/kW)                           | 13.3  | 14.4  | 15.5   |

| base case (median value inputs) | value  |
|---------------------------------|--------|
| aquifer kH net (Dm)             | 15.17  |
| mass flow (kg/s)                | 74.57  |
| pump volume flow (m³/h)         | 249.8  |
| required pump power (kW)        | 1001.3 |
| geothermal power (MW)           | 14.47  |
| COP (kW/kW)                     | 14.5   |

|                                        |        |        |        |
|----------------------------------------|--------|--------|--------|
| aquifer pressure at producer (bar)     | 207.73 | 220.85 | 234.46 |
| aquifer pressure at injector (bar)     | 218.15 | 230.7  | 243.99 |
| pressure difference at producer (bar)  | 19.72  | 20.72  | 21.84  |
| pressure difference at injector (bar)  | 70.48  | 73.04  | 76.41  |
| aquifer temperature at producer * (°C) | 86.67  | 91.01  | 95.32  |
| temperature at heat exchanger (°C)     | 85.26  | 89.3   | 93.56  |

|                                        |        |
|----------------------------------------|--------|
| aquifer pressure at producer (bar)     | 220.59 |
| aquifer pressure at injector (bar)     | 230.38 |
| pressure difference at producer (bar)  | 20.67  |
| pressure difference at injector (bar)  | 72.78  |
| aquifer temperature at producer * (°C) | 91.0   |
| temperature at heat exchanger (°C)     | 89.41  |
| pressure at heat exchanger (bar)       | 70.04  |

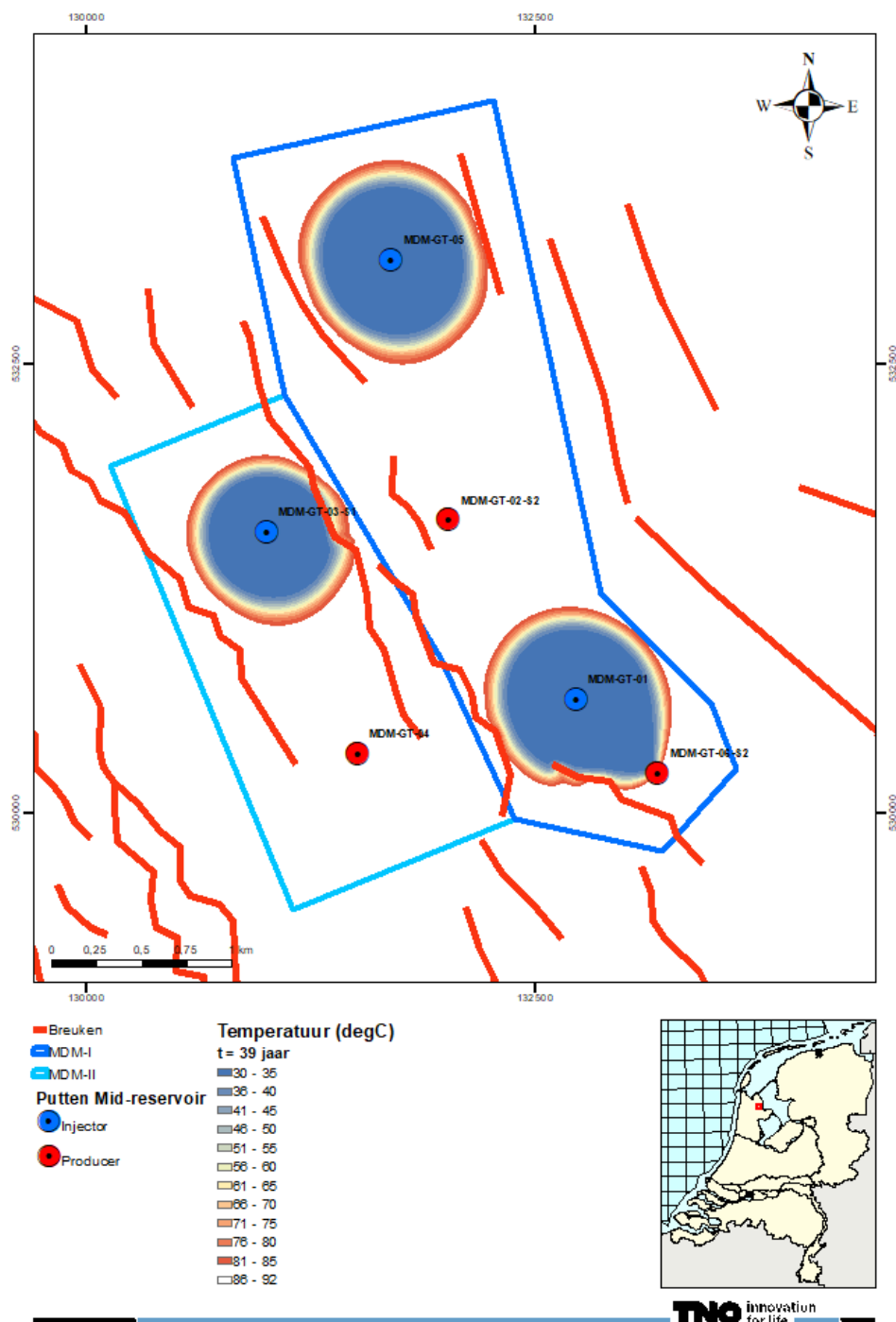
\* @ mid aquifer depth

Figuur 5: DC1D uitvoerscherm van het doublet MDM-GT-03 & -04 van het scenario met een debiet van circa 250 m³/uur, het beoogde debiet.

Datum  
16 december 2019

Onze referentie  
AGE 19-10.075

Blad  
24/28

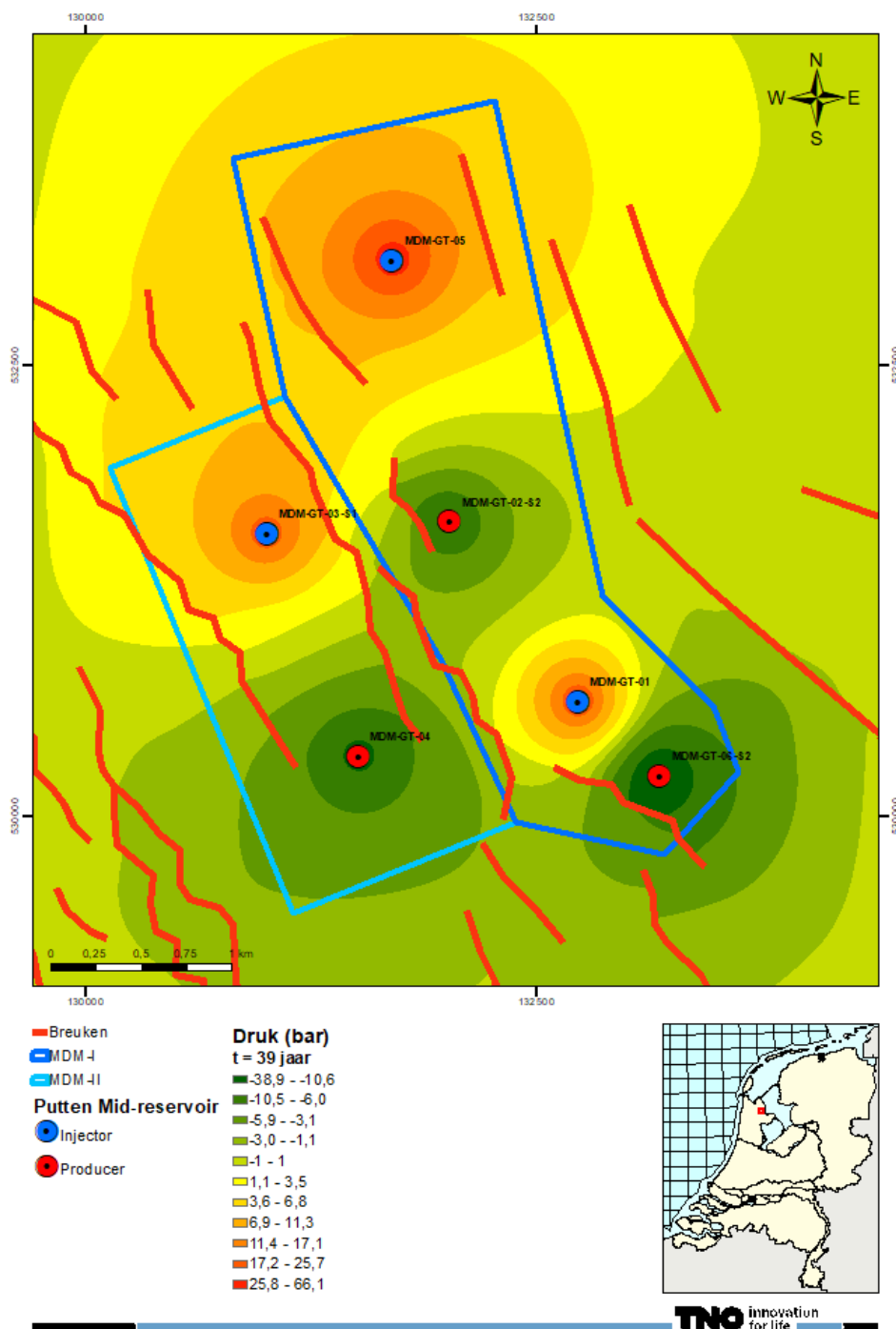


Figuur 6: DoubletCalc2D uitvoer van het TNO-AGE scenario voor de drie doubletten bij Middenmeer. De kaart toont de temperatuursverandering op reservoirdiepte aan het eind van de huidige winningsvergunningsduur.

**Datum**  
16 december 2019

**Onze referentie**  
AGE 19-10.075

**Blad**  
25/28

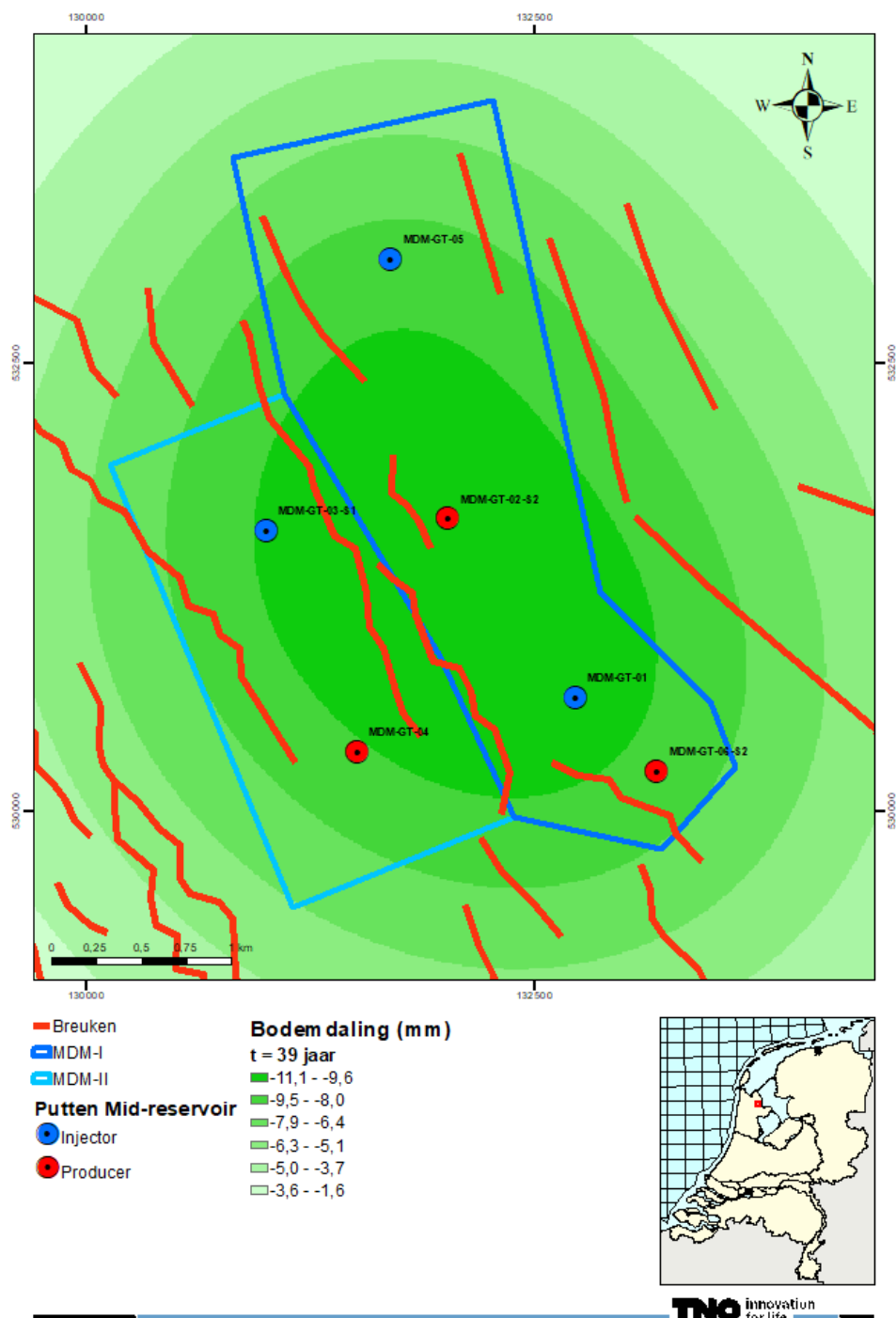


Figuur 7: DoubletCalc2D uitvoer van het TNO-AGE scenario voor de drie doubletten bij Middenmeer. De kaart toont de drukverandering op reservoirdiepte aan het eind van de huidige winningsvergunningsduur.

Datum  
16 december 2019

Onze referentie  
AGE 19-10.075

Blad  
26/28



Figuur 8: DoubletCalc2D uitvoer van het TNO-AGE scenario voor de drie doubletten bij Middenmeer. De kaart toont de bodemdaling aan het eind van de huidige winningsvergunningsduur.

**Datum**  
16 december 2019

**Onze referentie**  
AGE 19-10.075

**Blad**  
27/28

### **Bijlage 3: erratalijst**

Deze bijlage geeft een opsomming van opvallende onvolkomenheden in de aangeleverde winningsplan documentatie.

1. Op pagina 10 [1] wordt gesteld dat het doublet MDM-GT-03 & -04 in het gebied van de winningsvergunning Middenmeer II valt. Op het begeleidende Figuur 2 (p11 [1]) staat deze vergunning niet aangegeven. Op de status datum van de aanvraag was de winningsvergunning van kracht en niet zoals in de zeven na laatste regel wordt gesteld "...aangevraagde gebied voor de winningsvergunning..." nog de status van aangevraagde winningsvergunning heeft.
2. De kwaliteit (scherpte) van Figuur 1 (p11 [1]) is zodanig slecht dat de tekst inclusief coördinaten niet te lezen zijn.
3. De kwaliteit (scherpte) van Figuur 2 (p12 [1]) is zodanig slecht dat de tekst inclusief coördinaten niet te lezen zijn. Daarnaast zijn de vergunningen, zoals weergegeven op de kaart, verouderd. Dit figuur is in tegenspraak met Figuur 8 (p19 [1]). De huidige status met een winningsvergunning voor doubletten MDM-GT-01 & -06 en MDM-GT-02 & -05 en één voor het doublet MDM-GT-03 & -04 wordt niet weergegeven.
4. Schaalbalk en coördinaten op Figuur 3 & 4 (p13 [1]) ontbreken.
5. Figuur 7 (p16 [1]) geeft de indruk dat de vloeistofstromen van de productieputten tezamen komen, door de installatie gaan, en dan weer bij de injectieputten gescheiden worden.
6. De kwaliteit (scherpte) van Figuur 8 (p19 [1]) is zodanig slecht dat de tekst inclusief coördinaten niet te lezen zijn. Dit figuur is in tegenspraak met Figuur 2 (p11 [1]). Hier zijn de actuele winningsvergunningengebieden wel weergegeven.
7. De ondergrondse afstand van de productie- en injectielocatie van beide doubletten wordt niet gegeven, zo ook niet de penetratiehoek van het boorgat in de formatie. In de tekst wordt enerzijds aangegeven dat de ondergrondse afstand "typisch zo'n 1000 meter" (p14 [1]) is en anderzijds op p16 [1] "...meer dan een kilometer afstand is voorzien,...". De informatie uit tabel 1 geeft, op einddiepte, een ondergrondse putafstand van 1432 m voor doublet MDM-GT-03 & -04. Op mid reservoir diepte is dat circa 1335 m (WIVA advies Middenmeer II).
8. In Figuur 11 (p26 [1]) is de legenda niet compleet: wat zijn de roze en rode polygonen? Enkel de begrenzingen van regio's Rotliegend zijn aanwezig, gedeeltelijk aanwezig en afwezig? Wat betekenen de grote blauwe pijlen? Dieptewaarden top-reservoir bij de putten lijken niet te kloppen met waarden gegeven in Tabel 4 op p34 [1]. In het originele Panterra rapport "Reservoir model Middenmeer I" uit november 2016 met nummer G1234 staat op p17 dezelfde figuur. In het onderschrift wordt gezegd "...the blue arrows indicate faults...".
9. De kwaliteit (scherpte) van Figuur 12 (p27 [1]) is zodanig slecht dat de tekst inclusief coördinaten niet te lezen zijn. Legenda is niet compleet: wat is de blauwe ovaal?

**Datum**  
16 december 2019

**Onze referentie**  
AGE 19-10.075

**Blad**  
28/28

10. Figuur 13 (p 28 [1]): locatie van dit figuur is onduidelijk, coördinaten missen, putnamen komen niet overeen met putnamen in de rest van het document en bijvoorbeeld Tabel 1. Waar valt deze uitsnede in Figuur 12? Wat is de legenda? Geel 3D? Groene lijn 2D lijn?
11. Figuur 14 en 15: Putten AGP-GT-0\* bestaan niet. Is de lijn van Fig. 14 door de putten MDM-GT-03 en -04? Is de lijn van Fig. 15 representatief voor de configuratie tussen de putten MDM-GT-03 & -04? De projectlocatie wordt nauwer begrensd door breuken (zie Fig. 13).
12. Figuur 16 (p31 [1]): diktewaarde geplaatst bij MDM-GT-03-S1 is 198 m, maar in Tabel 4 staat 180 vermeld.
13. Figuur 17: Kwaliteit van dit figuur is te slecht om dat wat op p31 [1] staat te onderbouwen.
14. Tabel 4 (p34 [1]): referenties naar puttest rapporten missen.
15. Tabel 5 (p35 [1]): gemiddelde oppervlaktetemperatuur van 89/91/94 graden Celsius? Dit lijkt de mid-reservoir temperatuur bij een gradiënt uit de rij "geothermische gradiënt" bij een oppervlaktetemperatuur van 10°C.
16. Figuur 19 (p35 [1]): locatie/coördinaten missen. Minimaal een referentie naar Figuur 11 is opportuun. Locatie van MDM-GT-03 & -04 zou hierop moeten staan. I.c.m. met Fig. 11 lijkt een aantal MDM-GT putten in het 1000 mD gebied te vallen. Dat correspondeert niet met Tabel 4 & 5.
17. Tabel 11 (p37 & 38 [1]): onduidelijke referentie naar bron monsterput. Tabel bovenschrift vermeldt alleen MDM-GT-04. In het eerste deel (p40) Geothermal Well2 GT02 en in tweede deel (p38) MDM-GT-04. Als Geothermal Well2 GT02 is MDM-GT-04, dan is de waarde voor Total Dissolved Solids significant anders dan gegeven in tweede deel van de tabel en ook Tabel 6 (p36, [1]).
18. Tabel 12 (p39 [1]): van welke put? Of samengestelde productiestroom door gasseparator conform Figuur 7?
19. Figuur 20: Coördinaten? Resolutie slecht, de legenda is niet leesbaar.
20. Figuur 23: Coördinaten? Resolutie slecht, de legenda is niet leesbaar.
21. Figuur 23: naam 7<sup>e</sup> kolom lijkt foutief. Zou MDM-GT-04 & MDM-GT-03-S1 moeten zijn.