



Staatstoezicht op de Mijnen
Ministerie van Economische Zaken
en Klimaat

> Retouradres Postbus 24037 2490 AA Den Haag

De staatssecretaris van Economische Zaken en Klimaat
Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
Directie Transitie Diepe Ondergrond
t.a.v. [redacted]

Per e-mail: [redacted]@minezk.nl; [redacted]@minezk.nl;
[redacted]@minezk.nl

Datum 7 november 2022
Betreft Advies SodM tijdelijk winningsplan aardwarmte Maasdijk

Geachte [redacted],

U heeft Staatstoezicht op de Mijnen (hierna: SodM) op 27 januari 2022 om advies gevraagd betreffende instemming met het tijdelijke winningsplan Maasdijk. Het plan is ingediend door HVC aardwarmte Maasdijk B.V. (hierna: de uitvoerder). Om aardwarmte te kunnen winnen uit een watervoerende laag moet een onderneming een ingestemd winningsplan hebben. Om goed geïnformeerd te kunnen instemmen met een winningsplan wordt advies gevraagd aan een aantal adviseurs, waaronder SodM.

In dit advies leest u eerst de adviesvraag aan SodM, dan een samenvatting van het advies, vervolgens het advies en de onderbouwing, en tot slot de conclusies en aanbevelingen.

Adviesvraag aan SodM

Op uw verzoek toetst SodM het tijdelijke winningsplan op de volgende onderdelen:

1. Veiligheid van omwonenden, schade aan gebouwen of infrastructurele werken als gevolg van bodembeweging:
 - a) Bodemtrilling: controle op SRA berekeningen en indien vereist beoordeling inschatting effecten en beheersmaatregelen;
 - b) Bodemdaling/stijging: controle bodemdaling/stijging prognoses en indien vereist beoordeling inschatting effecten en beheersmaatregelen;
 - c) Aanvullend aan uw adviesvragen ga ik in op de mogelijke effecten van het gebruik van gestapelde reservoirs.
2. Nadelige gevolgen voor het milieu:
 - a) Putintegriteit;
 - b) Reservoirintegriteit;
 - c) Gebruik van hulpstoffen.

Advies SodM

SodM is van mening dat u kunt instemmen met het voorgelegde winningsplan, indien u daaraan wel voorwaarden verbindt. Het feit dat de kans op seismiciteit niet te verwaarlozen is vereist gepaste maatregelen. SodM adviseert een voorwaarde voor kleine aanpassingen aan het seismisch risico beheersplan. De

Staatstoezicht op de Mijnen

Bezoekadres

Henri Faasdreef 312
2492 JP Den Haag

Postadres

Postbus 24037
2490 AA Den Haag

T 070 379 8400 (algemeen)
F 070 379 8455 (algemeen)

info@sodm.nl
www.sodm.nl

Behandeld door

[redacted]

T [redacted]

Ons kenmerk

ADV-7402 / 22293475

Uw kenmerk

IV-6280

Bijlage(n)

bodemdaling als gevolg van de aardwarmtewinning in Maasdijk zal naar verwachting beperkt zijn. Wel adviseert SodM een voorwaarde op te nemen dat er een interferentietest gedaan moet worden en dat de uitvoerder aantoont dat het systeem van mogelijk gescheiden reservoirs gebalanceerd is en blijft. Daarnaast moet de putintegriteit geborgd worden middels een degelijk WIMS en een jaarlijkse rapportage, ook hiervoor adviseert SodM een voorwaarde op te nemen. Verder concludeert SodM dat de reservoirintegriteit voldoende geborgd kan worden, mits er limieten in druk, temperatuur en debiet worden vastgelegd als voorwaarden in het instemmingsbesluit. Ten slotte is SodM van mening dat er een voorwaarde nodig is wat betreft eventuele toevoegingen en hulpstoffen in de vloeistofstroom.

Ik licht dit hieronder toe.

Toelichting

Dit advies is opgesteld op basis van het ingediende winningsplan "Maasdijk - Pre-drill Winningsplan, V2.0, 23-12-2021" met daarbij behorende appendices. Op 29 juli en 2 augustus 2022 zijn er nog via de e-mail aanvullingen gekomen, welke meegenomen zijn in de beoordeling. Daarnaast onderbouwt SodM haar advies met behulp van het advies van TNO-AGE (AGE 22-10.054) waarin de berekeningen en prognoses van de uitvoerder geverifieerd zijn.

Beschrijving van het reservoir en de winning

Dit winningsplan beschrijft de geplande aardwarmte winning bij Maasdijk. Het winningsplan valt onder het Tijdelijk Beleidskader en zal daarom maximaal 2 jaar (met mogelijkheid tot 1 jaar verlenging) geldig zijn. De warmte zal worden gebruikt door glastuinbouw, bestaande woonwijken en nieuwbouwprojecten. Daarnaast zal het geothermieproject uiteindelijk worden aangesloten op het Warmte Systeem Westland. Het project zal bestaan uit drie doubletten: doublet 1 met de productieput MSD-GT-01 en de injectieput MSD-GT-02, doublet 2 met de productieput MSD-GT-04 en de injectieput MSD-GT-03, doublet 3 met de productieput MSD-GT-05 en de injectieput MSD-GT-06. De boring van deze putten is gestart in het tweede kwartaal van 2022.

De uitvoerder is voornemens aardwarmte te winnen uit de Lower Alblasserdam Member, onderdeel van de Schieland Groep, Nieuwerkerk Formatie. Hiernaar wordt in het winningsplan en verderop in dit advies verwezen als het "base-case scenario". Als de reservoir eigenschappen van de Alblasserdam dusdanig tegenvallen dat er geen haalbare business case bestaat wil de uitvoerder ook perforaties zetten in de Delft Zandsteen Member, ook onderdeel van de Schieland Groep, Nieuwerkerk Formatie. Dit wordt het "fall-back scenario" genoemd. De top van de Alblasserdam Member ligt naar schatting op ongeveer 2700 m diepte en de laag heeft een dikte van ongeveer 150 m. De top van de Delft Zandsteen Member ligt naar schatting op ongeveer 2560 m diepte en deze laag heeft een dikte van ongeveer 15 m. Tussen de zanden van de Alblasserdam (Lower Alblasserdam) en de Delft zit de meer kleirijke Upper Alblasserdam. Het is onduidelijk of dit interval ook perforaties zal bevatten in geval van het fall-back scenario. Het formatiewater zal naar verwachting, afhankelijk van het gekozen scenario en het doublet, een temperatuur tussen 92 °C en 95 °C hebben.

Naast aardwarmtewinning wordt er ook een hoeveelheid aardgas gewonnen dat van nature opgelost zit in het formatiewater. Bij het oppompen van het formatiewater komen opgeloste koolwaterstoffen vrij, waardoor er naar verwachting ongeveer 1 Nm³ gas vrijkomt met elke m³ opgepompt water. Dit mee geproduceerde gas (de zogeheten bijvangst) wordt afgevangen in de gasscheider. Vanaf de gasscheider wordt het gas naar het gasdroog- en koelsysteem geleid om vervolgens gebruikt te worden om elektriciteit op te wekken in de WKK's of verbrand in een gasgestookte ketel die het warmtenet verder verwarmt. Als finale back-up voor het verbranden van het vrijkomende gas is er een gesloten fakkelinstallatie aangesloten.

1. Veiligheid van omwonenden, schade aan gebouwen of infrastructurele werken als gevolg van bodembeweging

Bij het beoordelen van de veiligheid van omwonenden en schade als gevolg van bodembeweging wordt er gekeken naar de kansen op en de eventuele gevolgen van bodemtrilling en bodemdaling/bodemstijging en de mogelijke effecten van het gebruik van gestapelde reservoirs.

a) Bodemtrilling: controle op SRA berekeningen en indien vereist beoordeling inschatting effecten en beheersmaatregelen

Om de kans op aardbevingen, het risico op schade en de consequenties voor de veiligheid als gevolg van aardwarmtewinning te onderzoeken is een seismische risico analyse (SRA) uitgevoerd. Dit is gedaan conform de leidraad "Defining the framework for seismic hazard assessment in geothermal projects" (2016, Q-Con GmbH en IF Technology B.V.). Uit het eerste deel van deze analyse (level 1, Quick Scan) volgt een score voor het project, welke een maat is voor de potentie van geïnduceerde seismiciteit.

Het resultaat van de door de uitvoerder uitgevoerde Quick Scan geeft aan dat voor alle drie de doubletten de gecombineerde score van de risicofactoren 28 uit 90 is en daarmee in de categorie "laag potentieel" valt. Dit komt overeen met een genormaliseerde score van 0,31. Desondanks heeft de uitvoerder een locatie-specifieke seismische risico analyse (SHA) uit laten voeren. Deze wordt later in deze paragraaf beoordeeld.

TNO-AGE heeft de analyse en de inputparameters geanalyseerd en gecontroleerd. TNO-AGE komt uit op een hogere score van 44 uit 90 (genormaliseerde score van 0,38). Dit komt doordat TNO-AGE de categorieën "drukcommunicatie", "debiet", "injectiedruk" en "breukoriëntatie in huidig spanningsveld" een hogere score geeft. Met de score van TNO-AGE valt het project in de middelste categorie voor seismische dreiging.

SodM heeft de SRA gecontroleerd en sluit zich aan bij de beoordeling van TNO-AGE dat het risico op bodemtrilling in de middelste categorie valt. Indien een project in de middelste categorie van seismiciteit valt dient de uitvoerder een locatie-specifieke seismische risico analyse (SHA) conform de leidraad uit te voeren. Bij het winningsplan is een dergelijke studie aangeleverd, die in de volgende paragraaf beoordeeld wordt.

Locatie-specifieke risico analyse (SHA)

In de uitgevoerde SHA is bepaald of er ondergrondse spanningscondities kunnen ontstaan waarbij reactivatie van breuken zou kunnen optreden in de omgeving van een injectieput. De studie concludeert dat de kans op breukreactivatie na 30 jaar productie voor de Delft Member 'hoog' is en voor de Lower Alblasserdam 'laag' tot 'hoger'. Er is niet gekeken naar het risico voor de termijn van het pre-drill winningsplan.

TNO-AGE heeft een eigen SHA evaluatie uitgevoerd en concludeert dat, in de eerste 2 (of 3) jaar, in 1% van de modeluitkomsten slechts bij één breuksegment omstandigheden kunnen ontstaan waar breukreactivatie mogelijk is. TNO-AGE concludeert op basis van deze evaluatieresultaten dat het nagenoeg kan worden uitgesloten dat er binnen 2 (of 3) jaar condities ontstaan waarbij breukreactivatie kan optreden. Echter, na 35 jaar productie laten meerdere modellen het ontstaan van condities voor breukreactivatie zien. Dit resultaat komt overeen met dat van de vergunninghouder. TNO-AGE adviseert om bij de aanvraag van de vervolgv vergunning een nieuwe SHA in te laten dienen, waarbij nieuwe data uit boringen en productieprognoses, én cumulatieve effecten van nabij gelegen doubletten zijn meegenomen. Daarnaast geeft TNO-AGE ter overweging mee om nu al lokale seismische monitoring te installeren. Dit kan van nut zijn indien de resultaten van de boringen bevestigen dat op de lange termijn inderdaad condities voor breukreactivatie ontstaan.

SodM vindt - op basis van de analyses van zowel de uitvoerder als TNO-AGE - de hoofdconclusie aannemelijk dat er op de langere termijn een reële kans op breukreactivatie als gevolg van de aardwarmtewinning is. Echter, kan SodM de tussenconclusies van de SHA niet beoordelen. De reden hiervoor is dat de in de studie gemaakte aannames, parameterkeuzes en onzekerheden niet voldoende onderbouwd zijn. De belangrijkste verbeterpunten zijn opgenomen in Bijlage 1.

Uitkoeling is de belangrijkste oorzaak van breukreactivatie en daarmee seismiciteit. In de eerste twee jaar van de winning (de duur van dit winningsplan), is de kans hierop aanzienlijk lager. Vanwege de huidige onzekerheden en het feit dat de uitvoerder dit zelf niet onderzocht heeft, is echter niet met enige mate van zekerheid te zeggen of het risico voor de duur van het tijdelijke winningsplan inderdaad verwaarloosbaar is. SodM is daarom van mening dat ook in deze periode de monitoring en beheersing van mogelijk optredende seismiciteit (i.e. het seismisch risico beheersplan, verder: SRB) moet ingesteld zijn op een reëel risico. SodM adviseert om een SRB voor een reëel risico te hanteren, op basis van de SRB-richtlijn (2022) van SodM¹.

Bij de aanvraag van een vervolgv vergunning zal een nieuwe locatie-specifieke SHA studie en daarop aangepast SRB ingediend moeten worden. Daarbij dient gebruik te worden gemaakt van de dan geldende technische standaard. Ook dienen aanvullende gegevens die tot die tijd verzameld worden (bijvoorbeeld metingen

¹ <https://www.sodm.nl/sectoren/geothermie/documenten/richtlijnen/2022/07/25/seismisch-risico-beheersplan-richtlijn-voor-geothermie>

die tijdens de boringen worden gedaan), en de in Bijlage 1 genoemde verbeterpunten hierin te worden opgenomen. SodM zal de herziene studie bij de aanvraag voor de vervolgvergunning opnieuw beoordelen. De uitvoerder dient zich ervan bewust te zijn dat de beoordeling van de vervolgvergunning kan afwijken van de huidige conclusies.

Seismische risico beheersing

Elke uitvoerder dient een seismisch risico beheersplan (SRB) te hanteren, waarin beschreven staat hoe eventuele seismiciteit gemonitord wordt en welke acties volgen bij het optreden ervan. SodM adviseert hiertoe een voorwaarde op te nemen. De eisen die SodM minimaal stelt aan het SRB zijn terug te vinden in de eerder genoemde richtlijn. Het SRB voor Maasdijk is te vinden in appendix 7.5 van het winningsplan.

Monitoring

De uitvoerder geeft aan dat er seismische monitoring plaatsvindt via het reguliere monitoringsnetwerk van het KNMI. Dit netwerk heeft in de omgeving van Maasdijk een lokalisatiegrens (ook wel magnitude of completeness, MoC, genoemd) die ligt tussen 0,5 en 1,0. Dit betekent dat bevingen van magnitudes tussen 0,5 en 1,0 op de schaal van Richter gelokaliseerd kunnen worden.

Voor een geothermieproject waarbij het risico op seismiciteit reëel is acht SodM het noodzakelijk dat een lokalisatiegrens van $M=0,5$ wordt behaald¹. Daarmee is er voldoende ruimte om eventuele trends in magnitude of frequentie van aardbevingen waar te nemen. Wanneer de lokalisatiegrens van $M=0,5$ niet behaald wordt, zoals bij Maasdijk het geval is, dienen er strengere eisen aan de maatregelen voor beheersing van eventuele seismiciteit te worden gesteld en zal het systeem sneller in niveau rood belanden. Het TLS voor de specifieke situatie van Maasdijk wordt verder behandeld in de paragraaf over het traffic light system (TLS).

Het is verder onduidelijk welk gebied als "invloedsgebied" wordt beschouwd, i.e. waar ligt de grens waarbinnen eventuele seismiciteit wordt geacht mogelijk door de aardwarmtewinning veroorzaakt te zijn? Niet alleen dient de uitvoerder automatisch een melding te krijgen bij een event binnen de grenzen van het gebied waarvoor de winningsvergunning geldt, maar ook binnen een rand van 500 m rondom het gebied waarvoor de winningsvergunning geldt. Hiermee is de onzekerheid in plaatsbepaling van een beving meegenomen. SodM adviseert dit op te laten nemen in het SRB.

Traffic Light System (TLS)

In het SRB geeft de uitvoerder een stoplichtsysteem (TLS) dat beschrijft bij welke magnitude er welke acties volgen. Kort samengevat beschrijft het TLS dat bevingen van magnitude 1,0 of lager in niveau groen vallen, bevingen met een magnitude tussen 1,0 en 2,0 in niveau geel en bevingen met magnitude van 2,0 of hoger vallen in niveau rood. Niveau geel vraagt om een her-evaluatie van de risicoanalyse en bij niveau rood wordt daar bovenop de productie stil gelegd. Het

aantal bevingen per jaar is ook meegenomen (zie Tabel 2 uit het SRB van de uitvoerder).

Het TLS en bijbehorende maatregelen dat de uitvoerder voorstelt, voldoet in grote lijnen aan de eisen die SodM stelt bij een lokalisatiegrens tussen 0,5 en 1,0. SodM is daarom van mening dat kan worden ingestemd met het door de uitvoerder voorgestelde TLS, mits de acties volgend uit de verschillende niveaus worden uitgebreid: bij niveau groen is geen actie vereist. Bij oranje moeten een her-evaluatie van de risicobeoordeling en aanpassingen aan het systeem plaatsvinden (bijv. verlaging van debiet en druk en verhoging van de injectietemperatuur). Bij niveau rood wordt het systeem stil gelegd, vindt een her-evaluatie van de risicobeoordeling plaats en kan de winning pas weer opgestart worden als aangetoond is dat dit veilig kan en SodM hier akkoord op heeft gegeven. Daarnaast dient er in het middelste niveau bij twee in plaats van drie bevingen al geëscaleerd te worden naar niveau rood. SodM adviseert bij een eventueel instemmingsbesluit een voorwaarde op te nemen dat een TLS wordt geïmplementeerd zoals weergegeven in Tabellen 1 en 2.

TLS	Actie
$M \leq 1.0$	Geen
$1.0 < M < 2.0$	Her-evaluatie en aanpassen systeem
$M \geq 2.0$	Stop, her-evaluatie, pas door bij akkoord SodM

Tabel 1: TLS vereisten, geadviseerd door SodM ter vervanging van het voorstel van de uitvoerder.

Aantal bevingen in één jaar			
	1 beving	2 bevingen	3 bevingen of meer
$M \leq 1.0$			
$1.0 < M < 2.0$			
$M \geq 2.0$			

Tabel 2: Escalatie bij meer dan 1 beving per jaar, geadviseerd door SodM ter vervanging van het voorstel van de uitvoerder.

Communicatie

De bedoeling van het responsprotocol is dat er snel en adequaat gehandeld kan worden in het geval van een beving. De verantwoordelijkheid hiervoor ligt bij de uitvoerder, deze dient een adequaat calamiteitenplan te hebben. Alle informatie dient compleet, overzichtelijk en in één oogopslag begrijpelijk te zijn. Ook dient direct duidelijk te zijn wie en op welke manier geïnformeerd moet worden. Contactgegevens moeten specifiek maar ook algemeen zijn (dus wanneer mogelijk geen nummers van personen, maar bijvoorbeeld een calamiteitsnummer). Daarnaast dient duidelijk in het SRB beschreven te worden binnen welke termijn SodM (en andere partijen) geïnformeerd worden.

Niet alle boven genoemde punten zijn duidelijk beschreven in het SRB, of volgens de richtlijnen van SodM. SodM adviseert een voorwaarde op te nemen dat het SRB op het gebied van communicatie wordt verbeterd volgens de eerder genoemde richtlijn die teruggevonden kan worden op de website van SodM.

SodM concludeert dat het project in de seismisch risico categorie "midden" valt en dat de SHA laat zien dat de kans op seismiciteit niet verwaarloosbaar is. Daarom adviseert SodM om de volgende voorwaarden op te nemen in het besluit:

De uitvoerder hanteert ten allen tijden een adequaat SRB, met daarin:

- *Een aangepast TLS volgens tabellen 1 en 2.*
- *Verbeteringen van het SRB (invloedsgebied en communicatie) zodat deze aan de richtlijn van SodM voldoet.*

Daarnaast dient bij de aanvraag van de vervolgvergunning een herziene versie van de SHA ingediend te worden, volgens de op dat moment geldende technische standaard en met tijdens de boring/winning vergaarde data.

b) Bodemdaling/stijging: controle op bodemdaling/stijging prognoses en indien vereist beoordeling inschatting effecten en beheersmaatregelen

Bij het winnen van aardwarmte uit een geothermisch systeem wordt er water uit een watervoerende laag opgepompt en na afkoeling teruggepompt in de oorspronkelijke watervoerende laag. Er is dus in principe geen sprake van (grote) netto onttrekkingen zoals bij delfstofwinning. Wel kan het injecteren van afgekoeld water lokaal voor krimp zorgen met mogelijk bodemdaling tot gevolg. Ook kan er bodemdaling of bodemstijging ontstaan als er onvoldoende drukcommunicatie tussen de putten is.

De uitvoerder stelt dat er geen netto onttrekking plaats zal vinden waardoor de druk in het reservoir ook niet significant zal afnemen. Om die redenen wordt er nauwelijks bodemdaling of bodemstijging als gevolg van aardwarmte winning verwacht boven het winningsgebied. De uitvoerder heeft de verwachte bodemdaling als gevolg van aardwarmtewinning bepaald middels DoubletCalc2D. Deze bedraagt na 30 jaar winning 6 mm wanneer alleen uit de Alblasserdam Member gewonnen zal worden en 5 mm wanneer zowel uit de Delft als de Alblasserdam Member gewonnen zal worden.

TNO-AGE heeft de bodemdaling als gevolg van aardwarmte winning voor het winningsgebied nagerekend. Op basis van deze berekeningen concludeert TNO-AGE dat de maximale bodemdaling na 3 jaar productie naar verwachting circa 1 mm en na 35 jaar productie circa 7-8 mm zal zijn. De door TNO-AGE berekende bodemdaling door aardwarmtewinning aan de rand van het dichtstbijzijnde Natura2000 gebied is circa 6 mm.

SodM sluit zich aan bij de berekeningen van TNO-AGE en vindt het aannemelijk dat de bodemdaling als gevolg van aardwarmte winning zeer beperkt en zelfs niet meetbaar is.

SodM concludeert dat de totale bodemdaling in het winningsgebied van Maasdijk als gevolg van de aardwarmtewinning naar verwachting beperkt zal zijn.

c) Gebalanceerd systeem

De in paragraaf 1a en 1b getrokken conclusies zijn alleen geldig onder de voorwaarde dat het geothermie systeem gebalanceerd is en blijft. Daarom vindt SodM het in de eerste plaats noodzakelijk dat de uitvoerder aantoont dat er drukcommunicatie is tussen de productie- en injectieput middels een interferentie test. De uitvoerder geeft ook aan dit te gaan doen. Dit is van belang ter verificatie van de conclusie dat de bodemdaling verwaarloosbaar zal zijn en ook van de gekozen score in de SRA quickscan. SodM adviseert dit als voorwaarde op te nemen in het instemmingsbesluit.

Daarnaast plaatst SodM een kanttekening bij het feit dat er mogelijk (indien de opbrengst tegenvalt) gelijktijdig zal worden gewonnen uit verschillende reservoirs, namelijk de Lower Alblasterdam Member en de Delft Member. Deze worden onderling gescheiden door de relatief slecht doorlaatbare Upper Alblasterdam member. Er is een kans op onder- of overproductie tussen de reservoirs in het geval dat bijvoorbeeld één reservoir van mindere kwaliteit is dan het andere, of door verstoppingen in de put. Als gevolg hiervan kan de vloeistofdruk per reservoir veranderen met mogelijk seismiteit en/of bodemstijging/-daling als resultaat. SodM adviseert daarom bij een eventuele instemming een voorwaarde op te nemen waarmee de uitvoerder door middel van onderzoek aantoont dat het systeem per reservoir gebalanceerd is en blijft. Er moet dus per reservoir een evenwicht zijn tussen de injectie- en productievolumes om nadelige effecten te voorkomen. De uitvoerder dient dit in ieder geval aan te tonen bij de aanvraag voor een vervolgvergunning.

SodM adviseert om een voorwaarde op te nemen waarmee de uitvoerder een interferentietest uitvoert en aantoont dat het systeem per reservoir gebalanceerd is en blijft.

2. Nadelige gevolgen voor het milieu

Bij het beoordelen van nadelige gevolgen voor het milieu wordt er gekeken naar de put- en reservoirintegriteit en het gebruik van hulpstoffen. Beoordeling van andere nadelige gevolgen voor het milieu vindt plaats bij andere vergunningen dan dit winningsplan, zoals de omgevingsvergunning.

a) Putintegriteit

De uitvoerder heeft de plicht om schade en nadelige gevolgen voor het milieu te voorkomen. Daartoe is onder meer een deugdelijke inrichting en afwerking van de put vereist. Hiertoe is door brancheorganisatie Geothermie Nederland een industrie standaard duurzaam putontwerp gepubliceerd². Daarnaast dient de integriteit van de put te worden geborgd met de aanwezigheid en implementatie van een degelijk Well Integrity Management System (Put integriteit management systeem: WIMS). In dit WIMS wordt beschreven hoe de putintegriteit bewaakt wordt en wat het plan van aanpak is als er problemen worden geconstateerd. Gebreken aan de put moeten direct worden gemeld aan SodM. SodM ziet toe op het gebruik van het WIMS en controleert deze steekproefsgewijs.

Toetsing putontwerp

² https://geothermie.nl/downloads/Industriestandaard_Duurzaam_Putontwerp_GNL.pdf

De boringen van de putten voor het project Maasdijk zijn gestart in het tweede kwartaal van 2022. In het winningsplan is een visualisatie van de putten gegeven. De uitvoerder beschrijft dat de putten worden uitgerust met een dubbele verbuizing tot een bepaalde diepte, zodat ondiepe waterhoudende lagen beschermd zijn. De binnenbuis wordt vanaf het oppervlak tot reservoir diepte afgewerkt met corrosiebestendig (Glassfiber Reinforced Epoxy, GRE) materiaal. Daarnaast is er, tot de diepte van de dubbele verbuizing, een monitorbare annulus aanwezig. De dimensionering van de putten in relatie tot de benodigde maximum drempelinstellingen voor de debieten is zodanig dat op basis van de stroomsnelheden geen erosie kan worden verwacht.

SodM verwacht dat, met het huidige putontwerp op grotere diepte dan de dubbele verbuizing, problemen zullen gaan optreden met betrekking tot (het monitoren van) de putintegriteit. De dubbele verbuizing zal niet tot op reservoirdiepte aanwezig zijn. Het diepere deel van de put zal uit een enkele gecementeerde met glasvezel beklede verbuizing bestaan. Dit is weliswaar corrosiebestendig materiaal, maar deze kan – als er onverhoopt toch schade optreedt – niet vervangen worden. De integriteit van het gecementeerde deel kan tijdens de levensduur van de put niet door middel van annulus monitoring gecontroleerd worden. In de olie- en gasindustrie worden dergelijke verbuizingen gebruikt als tubing, die bij gefaalde putintegriteit vervangen kan worden. Het winningsplan geeft niet aan wat de risico's zijn van het gebruik van een gecementeerde verbuizing met betrekking tot putintegriteit, noch op welke specifieke wijze dit tijdens het gebruik gemonitord wordt, en welke maatregelen genomen kunnen worden in geval van gefaalde putintegriteit. Het incident in Emlichheim in Duitsland waarbij ca 200.000 m³ afvalwater in de bodem is geïnjecteerd, is een voorbeeld van een milieurisico van het gebruik van beklede verbuizingen in combinatie met het ontbreken van doelmatige monitoring.

De uitvoerder voldoet met het voorgestelde putontwerp aan de eisen van de industrie standaard duurzaam putontwerp, maar de risico's van het ontwerp met een gecementeerde met GRE beklede verbuizing tijdens de levenscyclus van de put zijn onvoldoende beschreven. De uitvoerder dient de risico's van het gebruik van een gecementeerde met GRE beklede verbuizing tijdens de levenscyclus te evalueren en te documenteren, en te onderbouwen op welke wijze de integriteit daarvan gemonitord zal worden. Dit dient opgenomen te worden in het putintegriteit zorgsysteem (WIMS).

Beheersing putintegriteit

De uitvoerder beschrijft in het winningsplan dat er een WIMS conform ISO 16530 aanwezig is voor de putten in het project. De uitvoerder dient een adequaat WIMS geïmplementeerd te hebben voor aanvang van de boorwerkzaamheden. SodM adviseert om bij een eventuele instemming als voorwaarde op te nemen dat de integriteit van de putten bewaakt wordt door een degelijk WIMS volgens de geldende technische standaard. Daarbij dient de uitvoerder de risico's van het gebruik van een gecementeerde met GRE beklede verbuizing tijdens de levenscyclus te evalueren en te documenteren, en te onderbouwen op welke wijze de integriteit daarvan gemonitord zal worden. Daarnaast worden in het WIMS ten minste de volgende maatregelen en beschrijvingen opgenomen:

- Inspectie en analyse van de buiswanddikte met een onderbouwing van de geplande inspectiefrequentie;
- Analyse van regelmatige waterkwaliteitsmetingen voor het monitoren van de putintegriteit, bv.:
 - ionen en zoutgehaltes;
 - pH;
 - ijzergehalte;
 - zandproductie;
 - elektrisch potentiaal;
 - temperatuur en systeemdruk.
- Prestatienormen voor minimaal toegestane wanddiktes en voor maximale penetratie als gevolg van beschadiging en/of lokale corrosie;
- Reactieplan met corrigerende maatregelen ter voorkoming en herstel in het geval van gefaalde putintegriteit.

Monitoringsvoorwaarden en rapportage

Om de putintegriteit en de waterkwaliteit te kunnen monitoren verwacht SodM van de uitvoerder dat die de uitkomsten van de bovengenoemde maatregelen verwerkt in de jaarlijkse rapportage aan SodM. Deze jaarrapportage bevat in ieder geval de volgende onderdelen:

- overzicht van reparatie en onderhoudswerkzaamheden;
- afwijkingen in injectiedruk, temperatuur en debiet;
- de injectiviteitsindex over de tijd;
- afwijkingen in de annulaire druk;
- mechanische problemen;
- eventuele incidenten of lekkages in het injectiesysteem;
- de laatst gemeten minimale wanddikte (percentage) en de diepte;
- tijdstip van de meting;
- afgeleide corrosie/erosiesnelheid in percentage wanddikte per jaar;
- verwacht moment van volledige penetratie, verwacht moment dat niet voldaan wordt aan de prestatienormen;
- geplande maatregelen om volledige penetratie te voorkomen.

De jaarrapportage dient binnen drie maanden na afloop van elk kalenderjaar ingediend te worden bij de Inspecteur-generaal der Mijnen.

Toetsing aanwezigheid kwetsbare gebieden

In het vergunningsgebied bevindt zich een klein deel van het Natura 2000 gebied "Solleveld & Kapittelduinen". De volgens het winningsplan beoogde projectlocatie en putpaden liggen buiten dit gebied. De geplande geothermieputten doorboren geen drinkwater houdende lagen binnen een grondwaterbeschermingszone, waterwingebied, of strategische voorraad/reserve.

SodM adviseert bij een eventueel instemmingsbesluit een voorwaarde op te nemen waarmee de uitvoerder ervoor dient te zorgen dat er bij het winnen schade wordt voorkomen door middel van een deugdelijke inrichting en afwerking van de put volgens de industriestandaard. De integriteit van de put wordt tijdens de levenscyclus bewaakt door middel van een WIMS dat voldoet aan de geldende technische standaard en dat de bovengenoemde aspecten bevat. Hierbij zijn de

risico's van het gebruik van een gecementeerde met GRE beklede verbuizing een belangrijk onderdeel voor de WIMS voor het project Maasdijk. Tevens adviseert SodM dat de uitvoerder in een jaarlijkse rapportage verslag doet over de put integriteit aan de hand van de hierboven genoemde onderwerpen.

b) Reservoirintegriteit

Bij het beoordelen van reservoirintegriteit wordt er gekeken naar onder andere de maximale injectiedruk die veilig kan worden toegepast. Tevens wordt de injectietemperatuur getoetst. Door verhoogde poriëndruk en/of afkoeling kan er een spanningstoestand ontstaan waardoor er scheuren in het intacte gesteente kunnen vormen en eventueel krimscheuren kunnen ontstaan. Als er breuken in de nabijheid van het aardwarmte systeem zijn kan de breuk instabiel raken zodra het koud-water temperatuurfront de breuk bereikt heeft, of de poriëndruk hoger wordt. De druk en temperatuur moeten binnen een veilige marge blijven zodat de integriteit van de afsluitende laag gewaarborgd blijft en de bestaande breuken stabiel blijven.

SodM is van mening dat vanuit het oogpunt van veiligheid scheurgroei in de afsluitende lagen niet toegestaan kan worden (zie toezichtsignaal aan het ministerie van Economische Zaken en Klimaat, 26 november 2020, kenmerk 20230994³). Samengevat kan gesteld worden dat de gevolgen van het scheuren van de afsluitende laag onzeker zijn, het proces moeilijk te controleren is als het plaats zou vinden, en de gevolgen onomkeerbaar zijn waardoor extra voorzichtigheid geboden is. Het bestaande wettelijk kader onderschrijft dit ook.

De uitvoerder vermeldt dat het debiet maximaal 325 m³/uur zal zijn en dat het injectiewater een temperatuur van minimaal 35 °C zal hebben. Dit geeft een maximaal temperatuurverschil van 60 °C bij een initiële reservoir temperatuur van 95 °C.

Bij een temperatuurverschil van meer dan 40 °C dient de injectiedruk ofwel nader onderbouwd te worden met behulp van geomechanische modellering, ofwel gecorrigeerd te worden met 1 bar per graad extra afkoeling (zie toezichtsignaal). De uitvoerder geeft in het winningsplan aan dat scheurvorming in het reservoir te verwachten is. Om de aangevraagde injectiedruk (welke hoger is dan volgens het protocol zou zijn toegestaan) te onderbouwen en te onderzoeken of de integriteit van de afsluitende laag geborgd blijft, heeft de uitvoerder bij het winningsplan een onderbouwing (fracture containment study) ingediend.

In de fracture containment study zijn de injectie in de Lower Alblasterdam en Delft los van elkaar gemodelleerd. Er is voor verschillende scenario's (onder andere voor verschillende afstanden tussen de basis van de seal en het injectiepunt) onderzocht of en hoe veel scheurvorming op kan treden in de onderliggende (Altena), tussenliggende (Upper Alblasterdam) en overliggende (Rodenrijs) afsluitende lagen. In de studie wordt er van uitgegaan dat de hoofd-

³ Zie toezichtsignaal integriteit afsluitende laag:
<https://www.sodm.nl/documenten/brieven/2021/01/19/toezichtsignaal-integriteit-afsluitende-laag-geothermie>

afsluitende laag de 76-87 m dikke Rodenrijs is. Echter wordt de onderkant van deze laag gezien als niet volledig afsluitend en behandeld als een "waste zone". De conclusie van de studie is dat in een aantal gevallen (fall-back scenario) scheurvorming plaats kan vinden, zowel in de waste zone van de Rodenrijs, als in de Upper Alblasterdam. De extensie van de scheurvorming hangt onder meer af van de hoogte van het injectiepunt. De uitvoerder concludeert dat het in alle gevallen slechts om een beperkt aantal meters gaat ten opzichte van de totale dikte van de (hoofd) afsluitende laag en dat de integriteit daarom geborgd is.

TNO-AGE concludeert op basis van een eigen analytisch model, waarbij er ook van wordt uitgegaan dat de Rodenrijs de hoofd afsluitende laag is, dat productie volgens de productieprognoses zoals beschreven in het winningsplan in alle gevallen kan leiden tot condities waarbij scheurvorming in de bovenliggende afsluitende laag mogelijk is. In 90% van de gevallen is de scheurvorming niet meer dan 27% van de hoogte van de afsluitende laag. TNO-AGE concludeert op basis daarvan dat de integriteit van de afsluitende lagen behouden blijft. Wel benadrukt zij dat productie uit alleen de Delft formatie effect heeft op de analyse (zowel fracture containment study als de SHA) en dit scenario dus niet toegestaan kan worden.

SodM is van mening dat de fracture containment study plausibele scenario's laat zien. Echter, is het door de onzekerheden in inputparameters (met name gesteenteparameters en minimale spanningsgradient (Shmin)) en gedane aannames (met name wat betreft de afsluitende lagen) niet mogelijk om vast te stellen of de beschreven scenario's de juiste zijn om te bepalen of de injectie veilig kan plaatsvinden. De belangrijkste redenen hiervoor zijn als volgt:

- De gekozen waarden voor met name de Young's Modulus en Poisson's Ratio zijn onvoldoende onderbouwd, omdat er weinig data beschikbaar is. Hiermee hebben deze parameters een grote onzekerheid. Het is in een dergelijk geval van belang om de sensitiviteit van de parameters te onderzoeken, dit is in de gegeven studie niet gedaan.
- De gebruikte puttesten geven een onzekere inschatting van de minimale spanningsgradiënt (Shmin). Er is voor deze parameter, die erg cruciaal is voor de resultaten, geen sensitiviteitsanalyse gedaan.
- Mede door bovenstaande punten zijn er nog veel onduidelijkheden over de ondergrond: welke laag/lagen fungeren echt als afsluitend? Zowel de Rodenrijs als de Upper Alblasterdam bevatten zowel klei- als zandlagen, waardoor de mate van afsluiting moeilijk te bepalen is. Mocht er als gevolg van scheurvorming leak-off naar andere lagen plaatsvinden, dan zou er een ongebalanceerd systeem kunnen ontstaan. De mogelijke nadelige gevolgen hiervan zijn niet beschreven.

Het kan vanwege bovenstaande redenen niet met enige mate van zekerheid worden vastgesteld dat er geen nadelige gevolgen kunnen optreden door de voorgestelde winning. Dit vergt meer kennis van de eigenschappen in de ondergrond.

Bovenal zijn de uitkomsten van zowel de uitvoerder als TNO-AGE, dat scheurvorming in de afsluitende lagen mogelijk plaats zal vinden, voor SodM niet acceptabel gelet op het bovengenoemde algemene standpunt van SodM. Hoewel de uitvoerder slechts het bovenste deel van de Rodenrijs als afsluitende laag ziet, is SodM van mening dat de gehele Rodenrijs en de Upper Alblasterdam de afsluitende lagen zijn, immers liggen deze direct boven de beoogde reservoirs. SodM vindt vanuit het oogpunt van de veiligheid de gegeven onderbouwing niet toereikend en adviseert daarom om de voorgestelde winning op basis van de geleverde informatie niet toe te staan. SodM adviseert om in plaats daarvan de injectiedruk te beperken op basis van het injectiedruk protocol. Op basis van het injectiedruk protocol (zie tabel 3 uit het advies van TNO-AGE, ook terug te rekenen via de geomech tool⁴) is het maximaal toelaatbare injectiedrukverschil op top reservoirniveau per doublet en scenario, inclusief temperatuurcorrectie, als volgt:

	Base-case	Fall-back
Doublet 1 (MSD-GT-02)	68 bar	68 bar
Doublet 2 (MSD-GT-03)	73 bar	69 bar
Doublet 3 (MSD-GT-06)	69 bar	68 bar

Tabel 3: maximaal toelaatbaar injectiedruk verschil op top reservoir niveau, op basis van het injectiedruk protocol, inclusief een temperatuurcorrectie van 20 °C.

SodM adviseert om bovenstaande tabel over te nemen in het instemmingsbesluit. Daarbij mag de injectietemperatuur niet lager dan 35 °C zijn en is het maximale debiet voor alle putten 325 m³/uur. Indien de uitkoeling minder dan 60 °C zal zijn kan voor iedere graad minder uitkoeling 1 bar bij de druk opgeteld worden. Indien de verschildruk op injectieniveau niet zal of kan worden gemeten, en slechts indirecte metingen van de injectiedruk op maaiveld niveau (tubing head pressure, THP) worden gedaan, moeten deze indirecte metingen worden omgerekend van drukverschil op injectieniveau naar THP met een rekentool. Op dit moment wordt hiervoor door TNO, in opdracht van SodM, een omrekentool ontwikkeld. Deze zal naar verwachting eind 2022 gepubliceerd worden en gaan dienen als standaard voor de berekening van verschildruk op top reservoir niveau naar THP. De uitvoerder dient, middels deze tool, in ieder geval in de jaarlijkse rapportage⁵ aan te tonen dat de toegepaste drukken onder de maximale injectiedruk verschil op top reservoir niveau blijven. Indien de uitvoerder een eigen rekenmethodiek wil hanteren moet hiermee voorafgaand aan de winning ingestemd worden via een wijziging winningsplan.

SodM adviseert om de maximale verschildruk op top injectieniveau te limiteren volgens Tabel 3. De uitvoerder dient aan te kunnen tonen dat de verschildruk op top reservoirniveau niet overschreden wordt door middel van de rekentool. In ieder geval in de jaarlijkse rapportage dient de uitvoerder deze onderbouwing te overleggen. Verder adviseert SodM een minimale injectietemperatuur van 35 °C,

⁴ https://www.nlog.nl/sites/default/files/geomech_v2.xlsx

⁵ De jaarlijkse rapportage dient elk jaar binnen 3 maanden na start van het kalenderjaar te worden ingediend ten genoegen van de Inspecteur-generaal der Mijnen

en een maximaal debiet van 325 m³/uur per put op te nemen in een eventueel instemmingsbesluit.

c) Gebruik van hulpstoffen

Daar waar materialen zijn toegepast die kunnen corroderen in contact met de geproduceerde of geïnjecteerde vloeistoffen is het mogelijk een corrosie remmer (corrosion inhibitor) toe te passen. Om afzetting van zouten aan de binnenbuis tegen te gaan kunnen aanslagremmers (scaling inhibitors) toegepast worden. Tot slot kan het noodzakelijk zijn om biociden toe te passen tegen hechting van micro-organismen. Een gedegen putontwerp kan ervoor zorgen dat hulpstoffen niet nodig zijn.

Bij het gebruik van hulpstoffen treden additionele risico's op, zoals H₂S vorming in het reservoir en schade aan het milieu als er een lekkage optreedt. Ook het transport en opslag van deze stoffen leveren aanvullende risico's op. Daarom dient het gebruik van hulpstoffen zo veel als mogelijk beperkt te worden. De toegepaste middelen moeten voldoen aan alle vigerende stoffenregelgeving zoals REACH en biocidenregelgeving. Ook mogen er geen andere dan de met het eigen geothermisch systeem geproduceerde vloeistofstromen in de ondergrond gebracht worden. Ik adviseer om hierover een voorwaarde op te nemen bij een eventueel instemmingsbesluit.

Omdat de putten corrosiebestendig zijn ontworpen wordt geen corrosie inhibitor ingebracht. Op dit moment heeft de uitvoerder nog niet besloten of scale inhibitor of biocide geïnjecteerd zal worden. Indien dit gebeurt, dan zal dit zijn in de productieput of net na de ontgasser met een maximum volume van 0,05 l/m³ scale inhibitor en een maximum volume van 13 m³/jaar biocide.

De uitvoerder dient maandelijks aan TNO-AGE de hoeveelheden hulpstoffen die gebruikt worden te rapporteren, conform het document 'Aanlevering productie gegevens aardwarmte'⁶ (versie december 2016). Dit dient verstuurd te worden aan rapportage-mijnbouwwet@tno.nl.

SodM adviseert om een voorwaarde op te nemen bij een eventuele instemming dat de toevoeging van hulpstoffen zoveel mogelijk beperkt dient te worden, met een maximale concentratie van 0,05 l/m³ scale inhibitor en een maximum volume van 13 m³/jaar biocide in de productieput of net na de ontgasser, en dat andere toevoegingen aan de vloeistofstroom niet toegestaan zijn.

Conclusie en aanbevelingen

SodM heeft dit winningsplan beoordeeld op de veiligheid van omwonenden en schade aan gebouwen of infrastructurele werken als gevolg van bodembeweging (bodemtrilling en bodemdaling/stijging). Ook heeft SodM de nadelige gevolgen voor het milieu beoordeeld: putintegriteit, reservoirintegriteit en gebruik van hulpstoffen.

⁶ Gegevensverstrekking aan de overheid | NLOG: <https://www.nlog.nl/gegevensverstrekking-aan-de-overheid>

SodM adviseert om de volgende voorwaarden in een eventueel instemmingsbesluit op te nemen:

1. Het debiet is maximaal 325 m³/uur.
2. De injectietemperatuur is minimaal 35 °C.
3. De verschildruk op injectieniveau in het reservoir is maximaal:

	Base-case	Fall-back
Doublet 1 (MSD-GT-02)	68 bar	68 bar
Doublet 2 (MSD-GT-03)	73 bar	69 bar
Doublet 3 (MSD-GT-06)	69 bar	68 bar

Voor iedere graad minder uitkoeling dan 60 °C kan 1 bar per graad bij de druk opgeteld worden.

De uitvoerder dient aan te kunnen tonen dat de verschildruk op top reservoirniveau niet overschreden wordt door middel van de rekentool. In ieder geval in de jaarlijkse rapportage dient de uitvoerder deze onderbouwing te overleggen.

4. De uitvoerder hanteert ten alle tijden een adequaat SRB volgens de richtlijn van SodM. Hierin zijn de volgende aanpassingen opgenomen:
 - Een TLS met aangepaste maatregelen en escalatietrap:

TLS	Actie
$M \leq 1.0$	Geen
$1.0 < M < 2.0$	Her-evaluatie en aanpassen systeem
$M \geq 2.0$	Stop, her-evaluatie, pas door bij akkoord SodM

Aantal bevingen in één jaar			
	1 beving	2 bevingen	3 bevingen of meer
$M \leq 1.0$			
$1.0 < M < 2.0$			
$M \geq 2.0$			

- Verbeteringen van het SRB (invloedsgebied en communicatie) zodat deze aan de richtlijn van SodM voldoet.
5. De uitvoerder voert een interferentietest uit en toont aan dat het systeem van meerdere reservoirs gebalanceerd is en blijft tijdens de winning.
 6. De uitvoerder dient een adequaat Well Integrity Management System (WIMS) volgens de geldende technische standaard te hebben voor de putten in het winningsplan. Daarbij zijn de risico's van het gebruik van een gecementeerde

met GRE beklede verbuizing een belangrijk onderdeel. In de WIMS worden verder ten minste de volgende maatregelen en onderdelen opgenomen:

- Inspectie en analyse van de buiswanddikte met een onderbouwing van de geplande inspectiefrequentie;
 - Analyse van regelmatige waterkwaliteitsmetingen voor het monitoren van de putintegriteit, bv.:
 - ionen en zoutgehaltes;
 - pH;
 - ijzergehalte;
 - zandproductie;
 - elektrisch potentiaal;
 - temperatuur en systeemdruk.
 - Prestatienormen voor minimaal toegestane wanddiktes en voor maximale penetratie als gevolg van beschadiging en/of lokale corrosie;
 - Reactieplan met corrigerende maatregelen ter voorkoming en herstel in het geval van gefaalde putintegriteit.
7. De uitvoerder dient een jaarlijkse rapportage in over de putintegriteit met daarin ten minste de volgende onderdelen:
- overzicht van reparatie en onderhoudswerkzaamheden;
 - afwijkingen in injectiedruk, temperatuur en debiet;
 - de injectiviteitsindex over de tijd;
 - afwijkingen in de annulaire druk;
 - mechanische problemen;
 - eventuele incidenten of lekkages in het injectiesysteem;
 - de laatst gemeten minimale wanddikte (percentage) en de diepte;
 - tijdstip van de meting;
 - afgeleide corrosie/erosiesnelheid in percentage wanddikte per jaar;
 - verwacht moment van volledige penetratie, verwacht moment dat niet voldaan wordt aan de prestatienormen;
 - geplande maatregelen om volledige penetratie te voorkomen.
8. De toevoeging van hulpstoffen wordt zo veel mogelijk beperkt, met een maximale concentratie van 0,05 l/m³ scale inhibitor en een maximum volume van 13 m³/jaar biocide in de productieput of net na de ontgasser. Andere toevoegingen aan de vloeistofstroom zijn niet toegestaan.
9. Indien wordt geconstateerd dat de situatie van de ondergrond afwijkt van de aanvraag voor het winningsplan, dient dit zo spoedig mogelijk te worden gemeld bij SodM.

SodM adviseert voor het toezicht op de naleving van de voorschriften dat afschriften volgend uit bovenstaande voorschriften worden toegezonden aan de Inspecteur-generaal der Mijnen. SodM stelt daarvoor de volgende voorwaarden voor:

10. De volgende stukken worden aan de Inspecteur-generaal der Mijnen via info@sodm.nl voorgelegd:

- a. Uiterlijk 6 maanden na de datum van het definitieve instemmingsbesluit: een afschrift van het gestelde in voorschrift 6;
- b. Uiterlijk 3 maanden na afloop van elk kalenderjaar: het rapport met daarin de informatie zoals bedoeld in voorschriften 3 en 7;

Ik ga ervan uit dat uw adviesvraag hiermee is beantwoord. Vanzelfsprekend ben ik bereid dit advies nader toe te lichten.

Met vriendelijke groet,

De Inspecteur-generaal der Mijnen,
namens deze:



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

senior adviseur afdeling Vergunningen

Bijlage 1: Verbeterpunten voor de SHA

De locatie-specifieke seismische risicoanalyse (SHA) voor Maasdijk kan door onvoldoende onderbouwing van aannames, parameterkeuzes en onzekerheden niet beoordeeld worden. SodM ziet graag verbetering op de volgende punten bij aanlevering van een risicoanalyse bij de vervolvergunning:

- Onzekerheden als gevolg van de **gebruikte seismiek** zijn onvoldoende mee genomen. Niet alleen is onbekend wat de kwaliteit van de seismiek is (wellicht is de processing ooit met focus op een andere formatie gedaan dan het huidige reservoir), maar is het ook voor meerdere interpretaties vatbaar: zo kan bijvoorbeeld in figuur 5.4 van de SHA breuk F7 ook vlakker getekend worden, waardoor de afstand tot de put MSD-GT-03 meer dan 100 m (de gekozen onzekerheidsband) afwijkt.
- De **aannames** die gemaakt worden - bijvoorbeeld dat alle breuken niet-afsluitend zijn, en dat apart van elkaar modelleren van de twee beoogde reservoirs een conservatieve benadering is - worden onvoldoende beargumenteerd. SodM kan niet nagaan of deze aannames gegrond zijn.
- Als gevolg van de onvolledige onderbouwing van de aanname dat de breuken niet-afsluitend zijn, wordt ook de interpretatie van het **temperatuurverloop bij de breuk** onvoldoende beargumenteerd. Wat is de kans dat de breuk afsluitend is en er stroming langs de breuk optreedt en wat is het effect daarvan op de afkoeling van het gesteente en de breuk?
- SodM oordeelt dat de resultaten van de analyse sterk afhankelijk zijn van de **ingevoerde parameters**, die binnen een vooraf gedefinieerde bandbreedte gevarieerd worden. Op enkele punten is dit parameter-bereik niet goed gekozen, of ontbreekt de onderbouwing ervoor.
 - o Voor de **minimale horizontale spanningsgradiënt** (Shmin) wordt een inschatting gedaan op basis van trendlijnen die bepaald zijn op basis van verschillende datasets van "leak-off" drukken en integriteitstesten. Op basis van de twee uitersten in steilheid van de mogelijke trendlijnen, wordt gekozen voor een bandbreedte tussen de 0,148 en 0,189 bar/m. Echter, deze bandbreedte is niet representatief voor de trend die kan worden afgelezen op de diepte van de Delft en Lower Alblasserdam reservoirs (2534 m and 2611 mTVD). De steilere trendlijn op deze dieptes duidt op een lagere waarde voor de minimale horizontale spanningsgradiënt, wat vervolgens een lagere spanningsratio tot gevolg heeft. Daarmee wordt de stabiliteit van de ondergrond minder dan in dit rapport wordt aangenomen. Daar komt bij dat de waarde voor Shmin deels gebaseerd is op Formation Integrity Tests (FIT) van een nabij gelegen doublet. Echter, kan de Shmin pas goed bepaald worden als een Leak-Off Test (LOT) gedaan is. Om bovenstaande redenen is de onzekerheid van deze parameter hoogst waarschijnlijk groter dan waarmee rekening is gehouden in de studie. Deze onzekerheid kan beperkt worden wanneer de Shmin gemeten wordt tijdens/na de boringen. SodM raadt aan om een LOT in de betreffende reservoirs uit te voeren, zodat er een locatie specifieke en minder onzekere waarde in de vervolgstudie gebruikt kan worden.

- In de benadering is gekozen om **cohesie** toe te passen met een driehoeksverdeling tussen 0 en 30 bar. De keuze voor een driehoeksverdeling is niet goed, aangezien daardoor de mogelijkheid van geen cohesie, wat een realistisch scenario is dat zeker meegenomen moet worden, niet is mee genomen in de modelleringen. In de Mohr-Coulomb figuren worden daardoor '*failure envelopes*' (de scheidslijn tussen een stabiele spanningstoestand onder de lijn en een mogelijk instabiele toestand boven de lijn) getekend waarbij in elk van de gevallen uitgegaan wordt van cohesie. Daarmee heeft deze cohesie parameter een relatief grote invloed op de berekeningen. SodM vindt dat de onzekerheid in de cohesie daarom niet goed meegenomen is in de analyse en er in de SHA onvoldoende argumenten zijn beschreven om er vanuit te gaan dat de breuken inderdaad cohesie hebben. De kans op activatie van breukbewegingen wordt volgens SodM onderschat.
- Uit de aangeleverde gegevens valt niet op te maken hoe de **verschuivingen van de Mohr cirkels** bepaald zijn. Daarmee is de analyse in de basis niet verifieerbaar. Echter, ervan uitgaande dat de breuken zich in de afgekoelde zone bevinden, geldt de formule uit Buijze et al. (2019) waarin wordt gesteld dat:

$$\Delta\sigma_h = \Delta\sigma_v = \Delta\sigma T = \frac{2E}{3(1-\nu)} * \lambda \Delta T .$$

De waarden voor de Poisson ratio (ν) en de lineaire thermale expansie coëfficiënt (λ) worden in het rapport niet toegelicht maar kunnen geschat worden op respectievelijk $\sim 0,18$ en $1 \cdot 10^{-5} \text{C}^{-1}$. De Youngs modulus is $E = 12 \text{ GPa} = 1,2 \cdot 10^5 \text{ bar}$. De stressverschillen die hieruit berekend kunnen worden gelden voor zowel de horizontale als de verticale normaalspanning, en leiden dus tot een totale verschuiving van de Mohrcirkel, naar links. Uit de SHA valt niet op te maken waarom gekozen is om de verticale spanning vast te zetten en niet de gehele cirkel te verschuiven.
- Er is **onvoldoende uitleg** hoe figuren zoals 6-5 gelezen moeten worden. Met name de groene, blauwe en rode stippen (SCU in relatie tot P10/90-waarde) zijn moeilijk te interpreteren. Een uitgebreidere uitleg van de methode en interpretatie van deze figuren is wenselijk.
- **De conclusies** die aan het probabilistische onderdeel van de SHA analyse worden verbonden duiden op een 'hoge' kans op breukreactivatie in de Delft formatie, en een 'lage' tot 'hogere' kans op breukreactivatie in de Lower Alblasserdam formatie. Wegens bovenstaande onduidelijkheden en onzekerheden kan niet met enige mate van zekerheid vastgesteld worden dat de studie voldoende conservatief is en er niet een nog hogere kans op breukreactivatie zou kunnen bestaan. Daarom biedt het huidige advies van SodM ook geen garanties voor toekomstige adviezen op basis van een herziene studie.