



> Retouradres Postbus 24037 2490 AA Den Haag

Californië Lipzig Gielen B.V.

T.a.v. [REDACTED]

Postbus 6140

5960 AC HORST

Staatstoezicht op de Mijnen

**Bezoekadres**

Henri Faasdreef 312  
2492 JP Den Haag

**Postadres**

Postbus 24037  
2490 AA Den Haag

T 070 379 8400  
F 070 379 8455

info@sodm.nl  
www.sodm.nl

**Behandeld door**

[REDACTED]  
[REDACTED]

**Ons kenmerk**

19282866

17 DEC 2019

Datum

Betreft Reactie op uw brief van 29 oktober 2019

Geachte [REDACTED],

Op 29 oktober 2019 heeft u mij een brief gestuurd inzake "winningsvergunning Californië Lipzig Gielen Geothermie BV". Daaropvolgend hebben wij op 18 november 2019 een gesprek gevoerd op kantoor van SodM, waarbij ook [REDACTED] en [REDACTED] aanwezig waren.

In uw brief en tijdens het gesprek gaf u aan het op prijs te stellen als SodM haar inhoudelijke bezwaren n.a.v. de beoordeling die met u gedeeld is op 20 juni 2019 (brief met kenmerk: 19150283) nader toelicht. Deze beoordeling is op basis van de volgende documenten opgesteld:

- "Koepelnotitie Aardwarmtewinning en Seismiciteit Californië Lipzig Gielen Geothermie BV" (d.d. 12/04/2019);
- "Interpretation of the Earthquakes Near the Californië Geothermal Site: August 2015 - November 2018" en;
- "Seismic Hazard Assessment for the CLG-Geothermal System - Study Update March 2019" (hierna gerefereerd als SHRA).

In het hierna volgende deel vat ik de standpunten uit uw rapporten samen en bespreek de betreffende hoofdpunten en/of inhoudelijke bezwaren van SodM.

Waarom is CLG van mening dat veilig produceren wel kan?

In uw koepelnotitie beschrijft u eerst het meest waarschijnlijke mechanisme wat de aardbevingen bij geothermie productielocaties van CWG en CLG in het tuinbouwgebied Californië veroorzaakt heeft. Op basis van deze analyse komt u tot conclusie dat er geen verdere seismiciteit wordt verwacht als alleen het doublet van CLG in gebruik zou zijn, en dat het voorgestelde TLS afdoende zou zijn om veilig warmte te kunnen winnen met gebruik van de putten CAL-GT-04 en CAL-GT-05.

U beschrijft de oorzaak van de bevingen als volgt: "De thermisch contractie van het reservoir, bij de CWG-injectieput, wordt geïdentificeerd als het meest waarschijnlijke mechanisme dat de seismiciteit in het onderzoeksgebied



*(tuinbouwgebied Californië) veroorzaakt heeft. De timing van de aardbevingen wordt verklaard door tijdelijke, productie gerelateerde, drukvermindering in de Tegelen-breuk.*" Daarnaast stelt u ook dat seismiciteit in het gebied alsnog kan voorkomen als gevolg van natuurlijke processen. U stelt als belangrijke conclusie voor het weer veilig kunnen opstarten dat, door het feit dat de injector van CLG (CAL-GT-05) niet uitkomt in de breukzone, er geen "grote spanningen en drukverschillen zullen optreden die tot geïnduceerde seismiciteit kunnen leiden".

U geeft aan dat uw adviseur (Q-con) u kenbaar gemaakt heeft dat er alsnog "enige mate van onzekerheid" bestaat omtrent de modellen die gebruikt zijn, en dat de geologische opbouw van de ondergrond complexer kan zijn dan bekend. Daarom houdt u het advies van Q-con aan om met een stoplichtsysteem (traffic light system, hierna TLS) te blijven werken.

*Heeft SodM een wetenschappelijk gefundeerde onderbouwing bij haar standpunten?*

In uw brief van 29 oktober 2019 staat geschreven dat u van SodM een wetenschappelijk gefundeerde onderbouwing van haar standpunten verwacht naast de technische analyse van juni 2019, en deze tot op heden niet heeft mogen ontvangen.

Het is de rol van SodM om de door u aangeleverde wetenschappelijke onderbouwing te toetsen. Het is niet de rol van SodM om aanvullende wetenschappelijke onderbouwing te leveren voor individuele casuïstiek. Deze verantwoordelijkheid ligt bij de uitvoerder. Bij het beoordelen van uw wetenschappelijke onderbouwing maakt SodM gebruik van interne kennis en ervaring, alsmede de huidige staat van de wetenschap. Bovendien heeft SodM in dit specifieke geval van CLG een onafhankelijk internationaal deskundige uw documenten laten beoordelen, om deze te verifiëren op juistheid, compleetheid en de huidige staat van de wetenschap in internationale context. Deze vorm is standaard procedure bij bijdragen aan wetenschappelijke vakbladen (peer-review). Ik ben daarom van mening dat SodM, ook vanuit wetenschappelijk oogpunt, zorgvuldig en objectief gehandeld heeft.

Desalniettemin ben ik bereid u te voorzien van nadere toelichting m.b.t. enkele technisch relevante aspecten. In het volgende gedeelte van deze brief geef ik antwoord op de volgende vragen:

1. Wat vindt SodM van de onzekerheden die volgen uit het geologische / structurele model?
2. Wat vindt SodM van de hydraulische connectie tussen het CLG doublet en de Tegelen breukzone?
3. Wat vindt SodM van de onzekerheden die er zijn m.b.t. de oorzaak van de bevingen?
4. Waarom vindt SodM dat er een risico bestaat op grotere bevingen dan  $M_L$  1.7?
5. Waarom vindt SodM een stoplichtsysteem in deze casus niet adequaat?

Tot slot deel ik mijn conclusie met u.

**Nadere toelichting op technische aspecten**

1. Wat vindt SodM van de onzekerheden die volgen uit het geologisch / structureel model?

Het geologisch model dat u presenteert is gebaseerd op twee, elkaar kruisende seismiek lijnen (2D) met strekkingen O-W en NW-ZO. Het project van CWG ligt nabij het kruispunt van de twee lijnen. Het project van CLG ligt ten noorden van de seismiek lijnen, met uitzondering van het uiteinde van de producer (CAL-GT-04) die op diepte onder de O-W seismiek lijn ligt. Het puttraject van de injector (CAL-GT-05) loopt in z'n geheel op enige afstand van de seismiek lijnen af (zie onderstaande figuur uit uw SHRA). Dit betekent dat de structuur van de ondergrond (lagen / breuken) ter hoogte van de injector geprojecteerd wordt op een vlak waar het puttraject in valt. Hiervoor wordt de structuur van de beschikbare 2D seismiek geëxtrapolerd, en moet gebruik worden gemaakt van put-data (log-gegevens) die verzameld zijn tijdens het boren, zoals informatie over de diepte en aanwezigheid van lagen. Dit zorgt ervoor dat het geologische

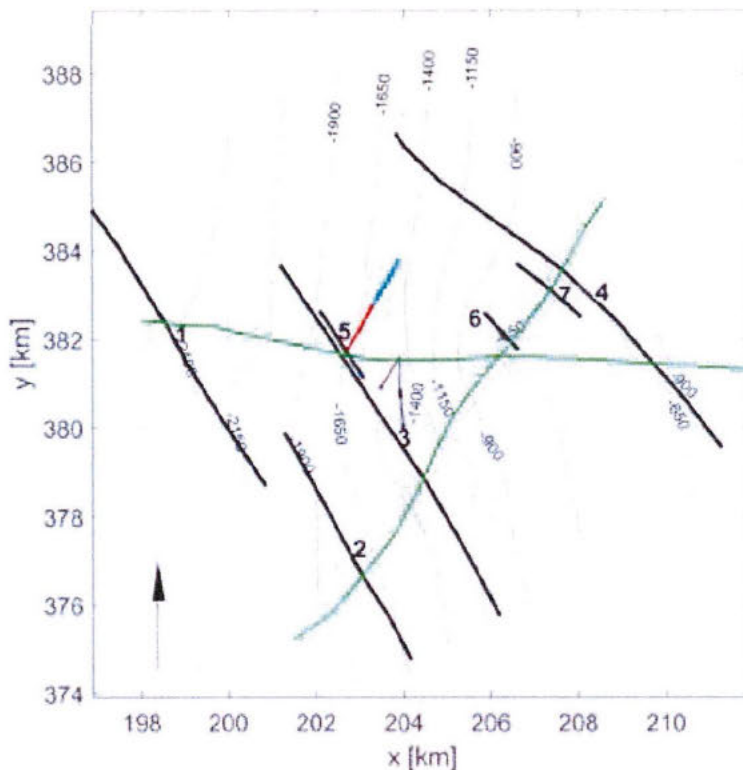


Figure 5: Trajectory of the faults in the vicinity of the reservoir at the Top of the Carboniferous Limestone Group (black lines). The well trajectories of the CWG (red: GT01, blue: GT03) are located close to the Tegelen fault zone (fault no. 3+5) which is the target for producing hot fluid from the subsurface. The well trajectories of the CLG doublet to the North of CWG are depicted in light red (GT04) and light blue (GT05). Seismic lines from seismic surveys are depicted in green color. Grey contour lines denote the depth level of the Top Carboniferous Limestone Group. RD coordinates in km.

model van de opbouw van de ondergrond mogelijk is, maar wel een grote onzekerheid met zich mee brengt.

Om breuken op seismiek te kunnen identificeren dient er sprake te zijn van een discontinuïteit van de ondergrondse gesteentelagen: de gesteentelagen aan weerszijden van de breuken zijn in verticale zin verplaatst. Dit wordt ook wel het verzet van de gesteentelagen over de breuk genoemd. De breuk kan samengesteld zijn door meerdere breuken met een kleiner verzet, zo'n breukzone kan versimpeld worden weergegeven als een enkele breuk met een groter verzet. Als er sprake is van breuken met verzet, worden hoogtelijnen (diepte-contouren) discontinue weergegeven (een diepte-contour kan de breuk niet doorsnijden). Op bovenstaand figuur zijn deze doorsnijdingen echter wel te zien. Dit zorgt er mede voor dat SodM haar vraagtekens heeft m.b.t. het geologisch model.

Daarnaast heeft SodM tijdens eerdere besprekingen (medio 2015) kennis genomen van het bestaan van meerdere, aanvullende breuken. Deze zijn onder andere zichtbaar in de seismische risico analyse die is uitgevoerd voor het geothermieproject CWG (Vörös et al., 2015)<sup>1</sup>, en ook uw SHRA. Het is mogelijk dat breuk 6, zichtbaar op de NW-ZO seismiek lijn, doorloopt naar het noordwesten, ter hoogte van uw injector (zie ook bovenstaand figuur). In uw SHRA is geen verdere informatie over de aanwezigheid van mogelijke breuken bij de injector van CLG, waar het voorkomen van seismiciteit (beving nr. 8) wel op duidt.

De onzekerheden in het geologische model worden door het onafhankelijke onderzoek van Reith (2018)<sup>2</sup> bevestigd. Dit onderzoek heeft als doel heeft een model van de ondergrond te bouwen en te verifiëren op basis van productie data. In de thesis wordt het probleem als volgt beschreven (p 31): "*The challenge is the lack of well/log data and seismic data. Consequently, a large set of assumptions and hypothesis is necessary to estimate the missing geological parameters and create a static model that estimates the reservoir geometry as good and realistic as possible.*" De studie stelt de geologische structuur ter discussie (p. 32) "*... the geometry and spatial development of each formation between the seismic lines and wells cannot be defined with great confidence with the currently existing data. Additional 2D or 3D seismic data is necessary to define to what extend each formation is continuous*". Daarop volgt in de eindconclusie (p 69): "*The large set of assumptions and uncertainties shows that the behavior of this reservoir cannot be captured with the limited amount of input data. If additional data is acquired, the Californië model can be optimized and validated, ...*".

Op basis van de externe onafhankelijke review van uw stukken, de bevindingen van Reith (2018) en eigen expertise is SodM van mening dat het geologisch / structureel model te veel onzekerheden bevat om als basis voor verdere argumentatie gebruikt te kunnen worden. Het model heeft zoveel vrijheidsgraden

---

<sup>1</sup> Vörös, R., Baisch, S. & Stang, H., (2015). Seismic Hazard Assessment for the Geothermal Project Californie Wijnen Geothermie. Prepared for: CWG. ref: CWG001\_150625.docx

<sup>2</sup> Reith, D. (2018). Dynamic simulation of a geothermal reservoir: Case study of the Dinantian carbonates in the Californië geothermal wells, Limburg, NL. MSc. Thesis TU Delft.

omdat er te weinig data is om een model te bouwen met een redelijke maat van zekerheid. Er zijn met deze hoeveelheid data vele verschillende modellen mogelijk die allemaal dezelfde mate van waarschijnlijkheid hebben.

2. Wat vindt SodM van de hydraulische connectie tussen het CLG doublet en de Tegelen breukzone?

De effecten van druk- en temperatuursveranderingen zijn een belangrijke factor in het door u aangedragen model. U concludeert daarbij dat de manier waarop het CLG doublet gesitueerd is anders is dan dat van CWG. Daaropvolgend concludeert u dat de injector van CLG geen drukverhoging kan veroorzaken in de breukzone, en dat er ook geen thermische effecten zijn. SodM is het niet eens dat dit effect uitgesloten is.

In 2018 is door CLG bij SodM kenbaar gemaakt dat er een hydraulische connectie is tussen de putten die allen in de Tegelen breukzone uitkomen, waaronder CAL-GT-01 (injector CWG) en CAL-GT-04 (producer CLG)<sup>3,4</sup>. Er is daarmee geen discussie over een hydraulische connectie is tussen de producer van CLG (CAL-GT-04) en de putten van CWG via de breukzone.

Als er een hydraulische connectie is tussen de injector en producer van CLG is er in principe daarmee ook een hydraulische connectie naar de breukzone. De hydraulische connectie tussen CAL-GT-05 en de andere putten staat ter discussie. In de door u aangeleverde rapportage (Broothaers & Vorage 2018)<sup>5</sup> is te lezen dat er bij CAL-GT-04 geen drukveranderingen meetbaar waren als gevolg van injectie bij CAL-GT-05. De debiet metingen in de injector put (PLT/spinner log) laten zien dat het water vooral in dezelfde stratigrafie geïnjecteerd wordt als de mud-loss zones die tijdens het boren bepaald werden. U schrijft dat het mogelijk is dat er een hydraulische connectie is, maar dit is niet aan te tonen is door de hoge permeabiliteit rondom de productieput en de korte duur van de test. Hetzelfde rapport laat zien dat er een injectiedruk van 30 tot 50 bar nodig is om een debiet van ca. 150 tot 230 m<sup>3</sup>/uur te halen. In de SHRA wordt in het model de Condroz formatie een permeabiliteit van  $1.9 \times 10^{-14}$  m<sup>2</sup> toegeschreven. Ter vergelijking: Bentheim zandsteen wat over het algemeen in de literatuur gezien wordt als hoog permeabel gesteente heeft een permeabiliteit van  $\sim 2 \times 10^{-12}$  m<sup>2</sup> (Baud et al., 2012)<sup>5</sup>, typisch reservoirgesteente in Nederland: Rotliegend / Slochteren ruwweg tussen de  $1 \times 10^{-16}$  en  $7 \times 10^{-13}$  m<sup>2</sup> (Pluymaekers et al., 2012)<sup>6</sup> en Delft Zandsteen tussen de  $2,5 \times 10^{-13}$  en  $2,0 \times 10^{-12}$  m<sup>2</sup> (e.g., Willems et al., 2017)<sup>7</sup>. De matrix-

<sup>3</sup> bron: email R. Vorage aan SodM d.d. 14.07.2018.

<sup>4</sup> Broothaers, M. & Vorage, R. (2018). Resultaten Extended Well Test CAL-GT-04 en CAL-GT-05, VITO-rapport ref: RMA/1310289/2017-0006 d.d. 23/02/2018

<sup>5</sup> Baud, P., Meredith, P., & Townend, E. (2012). Permeability evolution during triaxial compaction of an anisotropic porous sandstone. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 117(B5).

<sup>6</sup> Pluymaekers, M. P. D., Kramers, L., Van Wees, J. D., Kronimus, A., Nelskamp, S., Boxem, T., & Bonté, D. (2012). Reservoir characterisation of aquifers for direct heat production: Methodology and screening of the potential reservoirs for the Netherlands. *Netherlands Journal of Geosciences*, 91(4), 621-636.

<sup>7</sup> Willems, C. J. L., Nick, H. M., Goense, T., & Bruhn, D. F. (2017). The impact of reduction of doublet well spacing on the Net Present Value and the life time of fluvial Hot Sedimentary Aquifer doublets. *Geothermics*, 68, 54-66.

permeabiliteit van de Condroz-formatie is relatief laag, wat kan wijzen dat er ook secundaire porositeit / permeabiliteit is in de vorm van breukzones.

In de SHRA is te lezen: *"We do, however, acknowledge the uncertainty associated with our subsurface model. Most noticeably, seismicity could be induced on an undetected fault near the CLG injection well. Numerical simulation results demonstrate that hydraulic pressure conditions on any hypothetical fault close to the injector reached quasi-stationary conditions already during the test-ing phase"*. De stabiliteit van breuken, en daarmee kans op seismiciteit, wordt in het model berekend op basis van het spanningsveld en de lokale vloeistofdruk. Om dat te berekenen als gevolg van de vloeistofstroom is in dit model gebruik gemaakt van een reservoirmodel. Dit model is gebaseerd op het structureel model wat hierboven bij vraag 1 is beschreven. De onzekerheden die gelden voor het structureel model gelden ook voor dit reservoir model, en wordt ook beschreven in uw SHRA. De aardbeving met nr. 8 (M<sub>L</sub> 0.0, 25 aug 2018 16:43) suggereert de mogelijke aanwezigheid van een breuk(zone) bij de injector van CLG of het ontstaan van een nieuwe breuk bij de injector. De invloed van deze mogelijke breuk(zone) in zowel de lengte als diepte is niet meegenomen in het reservoir model.

Naast het effect van de structurele onzekerheid is er ook de onzekerheid van de permeabiliteitsverdeling. Een gedeelte van het debiet stroomt door de Zeeland formatie. Op basis van het type gesteente (kalksteen) is het aannemelijk dat er ter hoogte van de injector sprake is van secundaire porositeit. Deze vorm van porositeit is na de vorming van het gesteente ontstaan als gevolg van scheuren/of karstvorming. Voor karstvorming is initiële watercirculatie nodig, waardoor dit vaak vormt rondom breukzones doordat de matrix (primaire) porositeit (en daarmee permeabiliteit) te laag is voor circulatie (e.g., Goldscheider et al., 2010)<sup>8</sup>. Over het algemeen is de porositeit in kalksteen in de Nederlandse ondergrond erg laag, maar kan lokaal sterk variëren (e.g., Reijmer et al., 2017)<sup>9</sup>. In de modellen van Q-con (SHRA) zijn aan deze lagen een enkele matrix-permeabiliteit toegekend, wat geen rekening houdt met verschillen in permeabiliteit binnen de laag, bijvoorbeeld de stroming door breukzones of verkaste zones. De Tegelen breukzone is in de SHRA gemodelleerd als een 200 m dikke zone (gemiddeld) met een porositeit van 4% en een permeabiliteit van  $4.5 \times 10^{-13} \text{ m}^2$ . Ook deze benaderingswijze kan een preferentiële vloeistofstroming door een hoog permeabele structuur (i.e., breukzone) niet precies beschrijven.

Het ontbreken van de mogelijk preferentiële stromingspaden is belangrijk omdat bij zo'n preferentiële stroming het kou- en drukfront veel sneller bij de Tegelen breukzone (of een ander eventueel aanwezig breuksysteem) kan aankomen. Dit geldt zowel lateraal (ruwweg in hetzelfde diepte interval) als bij een mogelijke stroming naar diepere gedeelten van het breuksysteem. Zoals hierboven al

---

<sup>8</sup> Goldscheider, N., Mádl-Szőnyi, J., Erőss, A., & Schill, E. (2010). Thermal water resources in carbonate rock aquifers. *Hydrogeology Journal*, 18(6), 1303-1318.

<sup>9</sup> Reijmer, J. J., Johan, H., Jaarsma, B., & Boots, R. (2017). Seismic stratigraphy of Dinantian carbonates in the southern Netherlands and northern Belgium. *Netherlands Journal of Geosciences*, 96(4), 353-379.

aangegeven zijn er meerdere zorgen over het gebruikte reservoir model. De versimpeling van het hydraulische model zou in theorie een accuraat model kunnen opleveren, maar is niet verifieerbaar en daardoor onzeker. Dit zorgt ervoor dat SodM het model niet bruikbaar acht om aan te tonen dat de CLG injector (CAL-GT-05) geen invloed qua druk of temperatuur kan hebben op de aanwezige breuken. Dit geldt met name voor breuken die niet zijn meegenomen in het model die parallel lopen aan de Tegelen breukzone. Voor de volledigheid merken we nogmaals op dat de producer, CAL-GT-04 wel direct in verbinding staat met de breukzone.

### 3. Wat vindt SodM van de door CLG aangegeven oorzaak van de bevingen?

U beschrijft de oorzaak van de bevingen als volgt: "*De thermisch contractie van het reservoir, bij de CWG-injectieput, wordt geïdentificeerd als het meest waarschijnlijke mechanisme dat de seismiciteit. De timing van de aardbevingen wordt verklaard door tijdelijke productie gerelateerde drukvermindering in de Tegelen-breuk*". SodM concludeert dat de gepresenteerde oorzaak niet wordt onderbouwd door de aanwezige data. Daarnaast wijst SodM er op dat er ook andere mogelijke oorzaken zijn die niet behandeld worden in uw documenten.

Het proces waarbij afkoeling tot verandering van het spanningsveld voert en daarmee mogelijk seismiciteit tot gevolg heeft wordt door SodM onderschreven als een mogelijk proces wat plaats kan vinden bij geothermie systemen. Als dit het geval zou zijn bij de systemen van CWG en CLG dan zouden de bevingen op de diepte van het reservoir bij de injector van CWG moeten liggen. Q-con schrijft dat zij het aannemelijk acht dat de bevingen in het diepte-interval van 2.5 tot 3.0 km plaats hebben gevonden.

Er bestaat echter onzekerheid over de diepte van de waargenomen bevingen. De waargenomen bevingen worden op een diepte-interval gegeven van 5.4 – 6.1 km (absolute hypocentrum locaties, voor relatief aan beving nr. 11: 5.5 - 7.2 km). Onafhankelijke interpretatie van het KNMI plaatst de bevingen in een diepte-interval van 3.2 tot 9.2 km (Spetzler et al., 2018)<sup>10</sup>. Zowel in de bevindingen van Q-con als in die van het KNMI wordt duidelijk dat er onzekerheid bestaat over het juiste snelheidsmodel, te weten de combinatie van geometrie en golfsnelheid van de gesteentelagen. Volgens Q-con kunnen sterke contrasten in de geluidssnelheid ervoor zorgen dat de bevingen op reservoirdiepte (2.5 – 3.0 km) kunnen worden gelokaliseerd. Hierbij wordt door Q-con niet aangegeven of de benodigde contrasten ook mogelijk zijn, gegeven de aanwezige gesteentelagen in de ondergrond (het structurele model). De tijd-diepte conversie van de seismiek zou hiervoor aanwijzingen moeten bevatten. Hiervoor zouden snelheidsmetingen in de putten bruikbaar zijn.

Ondanks de discrepanties in diepte gaat Q-con verder onder de aanname dat de bevingen in het ondiepere gedeelte plaatsgevonden moeten hebben, nabij het uiteinde van de putten. Er wordt niet ingegaan op het scenario dat de bevingen

---

<sup>10</sup> Spetzler J., Ruigrok, E., Dost, B. & Evers, L. (2018) Hypocenter Estimation of Detected Event near Venlo on September 3rd 2018, KNMI Technical report no. 369

daadwerkelijk dieper plaats hebben gevonden. Oftewel dat de dieptes van de bevingen wel kloppen, maar er een andere mechanisme tot de aardbevingen heeft geleid.

Naast het uitgewerkte mechanisme voor het veroorzaken van de waargenomen aardbevingen zijn er ook andere mogelijke oorzaken voor de bevingen zoals door het poro-elastisch effect (Segall and Lu, 2015; Chang and Segall, 2016)<sup>11,12</sup>, of de mogelijkheid dat de bevingen veel dieper hebben plaatsgevonden door vloeistof stromingen in de breukzones dieper in de ondergrond (e.g., Keranen et al., 2013; Sumy et al., 2014; Ellsworth et al., 2019)<sup>13,14,15</sup>.

Hoewel de argumentatie van Q-con goed te volgen is en een mogelijk scenario vormt, is het niet het enige scenario. Het veroorzaken van bevingen op enkele kilometers onder de putten als gevolg van aardwarmtewinning of door andere mechanismes kan niet uitgesloten worden. Dit had (nader) uitgewerkt moeten worden als onderdeel van een seismic hazard assessment om aan te tonen dat veilig en verantwoord aardwarmte winnen zou kunnen.

#### 4. Waarom vindt SodM dat er een risico bestaat op grotere bevingen dan $M_L$ 1.7?

Een belangrijke conclusie dat er geen seismiciteit meer verwacht wordt is gebaseerd op: het feit dat de injector van CLG (CAL-GT-05) niet uitkomt in de breukzone; er geen grote spanningen en drukverschillen zullen optreden die tot geïnduceerde seismiciteit kunnen leiden en; de conclusie dat door het stoppen van de productie bij CWG de instabiliteit bij de injectieput van CWG de verstoring door de koeling verdwenen is. SodM kan deze conclusie niet onderschrijven.

In de documentatie waar de oorzaak van seismiciteit besproken wordt, is het Kaiser effect benoemd als reden dat seismiciteit niet verder kan escaleren. Dit effect houdt echter het volgende in. Stel men zet een stuk steen onder een belasting van 100 kN, dan kunnen er in de opbouw naar 100 kN microscheurtjes hoorbaar zijn (microseismiciteit). Als men vervolgens de belasting eraf haalt, en er daarna weer op zet, dan hoort men geen microseismiciteit totdat het oude niveau (100 kN) overschreden is. Het uitblijven van nieuwe microseismiciteit totdat het oude niveau overschreden is wordt "het Kaiser Effect" genoemd. Hierbij is het

<sup>11</sup> Segall, P., and S. Lu (2015), Injection-induced seismicity: Poroelastic and earthquake nucleation effects, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 120, 5082–5103, doi:10.1002/2015JB012060

<sup>12</sup> Chang, K. W., and P. Segall (2016), Injection-induced seismicity on basement faults including poroelastic stressing, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 121, doi:10.1002/2015JB01256

<sup>13</sup> Keranen, K. M., Savage, H. M., Abers, G. A., & Cochran, E. S. (2013). Potentially induced earthquakes in Oklahoma, USA: Links between wastewater injection and the 2011 Mw 5.7 earthquake sequence. *Geology*, 41(6), 699-702.

<sup>14</sup> Sumy, D. F., Cochran, E. S., Keranen, K. M., Wei, M., & Abers, G. A. (2014). Observations of static Coulomb stress triggering of the November 2011 Mw 5.7 Oklahoma earthquake sequence. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 119(3), 1904-1923.

<sup>15</sup> Ellsworth, W. L., Giardini, D., Townend, J., Ge, S., & Shimamoto, T. (2019). Triggering of the Pohang, Korea, Earthquake (M w 5.5) by Enhanced Geothermal System Stimulation. *Seismological Research Letters*, 90(5), 1844-1858



belangrijk te vermelden dat er tussen de belastingspieken geen omgevingsparameters veranderd worden, zoals druk in andere richtingen t.o.v. de belasting, de temperatuur en geometrie.

Omdat er, in het geval van CLG, wel sprake is van afkoeling en een andere geometrie (de breuk is immers verzet tijdens de aardbeving), gaat het Kaiser Effect voor de breukzone niet op bij CLG. Het effect gaat nadrukkelijk over microseismiciteit in intact materiaal (zie Lavrov 2003; Lehtonen et al., 2012)<sup>16,17</sup>.

Breukstabiliteit wordt versimpeld gezien als een perfect vlak met een bepaalde frictie-coëfficiënt: de maximale stabiele verhouding tussen de normaalspanning en schuifspanning op het breukvlak. Stel alleen de normaalspanning wordt verstoord (door injectie), dan zou de breuk steeds bij dezelfde injectiedruk bewegen, ervan uitgaande dat het externe spanningsveld rondom de breuk gelijk zou blijven. Maar door de complexe geometrie van het breukvlak (geen perfect recht vlak) kan er sprake van spanningsconcentratie zijn op sommige gedeelten van de breuk, terwijl er op anderen juist verlaging van de spanningstoestand kan zijn. Daarnaast kan er lokaal sprake zijn van rotatie van de spanningstoestand, en is er vaak niet sprake van een enkele breuk, maar een breukzone met meerdere breuken, waarvan niet duidelijk is op welke de verplaatsing plaatsvindt. Na elke breukbeweging is er sprake van een veranderde spanningstoestand die sterk varieert langs het breukvlak, waardoor nogmaals het Kaiser effect niet op gaat.

In de door u aangeleverde documentatie wordt gesuggereerd dat doordat CWG niet meer produceert en koud water injecteert, de thermische verstoring (i.e., lagere temperatuur) nabij het CWG doublet niet meer aanwezig is. Echter is het waarschijnlijk dat deze nog steeds aanwezig is. De afkoeling van dit gebied is veroorzaakt doordat het geïnjecteerde koude water het reeds aanwezige warme water als het ware wegduwt (advectie). Daarnaast speelt diffusie ook een rol, tezamen met advectie is dit convectie van de warmte. Daarnaast koelt het gesteente rond de injector van CWG af door conductie. Convectie is relatief snel t.o.v. conductie omdat er steeds nieuw koud water wordt geïnjecteerd. Na het stilleggen van de productie is er geen vloeistofstroming meer die verder afkoeling veroorzaakt. Opwarming vindt plaats door warmtestroom uit de diepere ondergrond via conductie. Van nature is er naar verwachting weinig vloeistofstroom in de breukzone, dusdanig dat convectie de thermische verstoring niet op zal lossen op korte termijn. De thermische verstoring kan lang van kracht blijven als gevolg van de thermische eigenschappen van gesteente, met name conductiviteit. Voor preciezere bepaling van het tijdsbestek is echter nader onderzoek nodig. Dit thermisch verstoord gedeelte kan daardoor langdurig een soort "zwakke zone" van de breukzone blijven.

---

<sup>16</sup> Lavrov, A. (2003). The Kaiser effect in rocks: principles and stress estimation techniques. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 40(2), 151-171.

<sup>17</sup> Lehtonen, A., Cosgrove, J. W., Hudson, J. A., & Johansson, E. (2012). An examination of in situ rock stress estimation using the Kaiser effect. *Engineering Geology*, 124, 24-37.

Omdat via de hydraulische connectie in de breukzone zelf een connectie is met de producer van CLG (en mogelijk door het gesteente ook met de injector van CLG) in combinatie met de aanwezige "zwakke zone" is SodM van mening dat een relatie tussen de bevingen (qua locatie nabij de injector van CWG) en de operaties bij CLG niet uitgesloten kan worden. Tenslotte is de Tegelen breukzone een van nature actieve breukzone. Dit betekent dat ook zonder geothermische activiteiten er spanning op deze breukzone wordt opgebouwd. Aangezien de Tegelen breukzone een grotere tektonische breukzone is, kunnen zwaardere bevingen van nature al optreden. Het is niet uit te sluiten dat door een kleine geothermische verstoring een natuurlijke beving met een sterkte groter dan 1,7 veroorzaakt wordt.

SodM is daarom van mening dat meer bevingen, ook met een hogere magnitude dan  $M_L$  1,7 niet uitgesloten kunnen worden.

#### 5. Waarom vindt SodM een stoplichtsysteem in deze casus niet adequaat?

U geeft aan dat uw adviseur (Q-con) u kenbaar gemaakt heeft dat er nog "enige mate van onzekerheid" bestaat omtrent de modellen die gebruikt zijn, en dat de geologische opbouw van de ondergrond complexer kan zijn dan bekend. Daarom houdt u het advies van Q-con aan om met een stoplichtsysteem (traffic light system, hierna TLS) te werken. SodM is van mening dat een TLS op dit moment op deze locatie geen goede mitigatie maatregel is om schade veroorzakende aardbevingen te voorkomen.

Om de optredende seismiciteit te kunnen beheersen met een TLS moet aan de volgende uitgangspunten worden voldaan (vrij vertaald uit Baisch et al, 2019)<sup>18</sup>:

1. de magnitude van aardbevingen neemt toe in de tijd als de activiteiten doorgaan;
2. het overschrijden van een grenswaarde wordt altijd voorafgegaan door kleinere bevingen;
3. er bestaan operationele maatregelen om escalatie van seismiciteit te voorkomen; en
4. de vertraging tussen ingreep en effectiviteit van de ingreep is dusdanig klein dat escalatie van de seismiciteit voorkomen wordt.

SodM acht het voorgestelde TLS niet bruikbaar voor deze situatie vanwege de volgende redenen:

Qua opbouw van seismiciteit (m.b.t. punten 1 en 2) is het van belang om de achterliggende aanname van een TLS te schetsen. Het TLS werkt onder de aanname dat een steeds groter gedeelte van een breukvlak beïnvloed wordt door de activiteiten. De hevigheid van een beving is direct gecorreleerd aan het oppervlak van de breuk dat beïnvloed wordt. Hoewel er enkele eerdere bevingen gemeten zijn is er geen duidelijke trend waar te nemen die duidt op een duidelijke

<sup>18</sup> Baisch, S., Koch, C., & Muntendam-Bos, A. (2019). Traffic Light Systems: To What Extent Can Induced Seismicity Be Controlled?. *Seismological Research Letters*, 90(3), 1145-1154.

opbouw van seismiciteit. Om deze reden vindt SodM het twijfelachtig of u voldoet aan punt 2.

Ook als de activiteiten stilgelegd kunnen worden, kunnen door na-ijl effecten (trailing effect) nog steeds bevingen voorkomen. Het is daarbij evenwel mogelijk dat zwaardere bevingen plaats kunnen vinden (e.g., Segall & Lu 2015)<sup>11</sup>. De hevigheid van bevingen in het gebied versprong van 0,0 naar 1,7 ( $M_L$ , bevingen 8 en 11), en specifiek nabij de Tegelen breukzone zelf versprong het van -0,8 naar -0,4 naar 1,7 ( $M_L$ , beving sequentie 9-10-11). In beide gevallen is er sprake van een relatief grote stap in magnitudepunt (1,7 en 2,1 resp.), en tevens groter dan waar uw voorgestelde TLS systeem op ingericht is (trailing effect 1,3 magnitude units). Dit wijst ook op dat het twijfelachtig is of sprake is van geleidelijke opbouw.

In uw casus wordt niet voldaan aan punt 3: er is geen operationele maatregel om escalerende seismiciteit te voorkomen. U beschrijft een operationele maatregel in de vorm van het stopzetten van de circulatie. Tevens schrijft u dat het stilleggen van de circulatie door u gezien wordt als de oorzaak van de eerder waargenomen bevingen. Hieruit volgt dat het stilleggen van circulatie geen geschikte operationele maatregel is.

Als beheersmaatregel schrijft u met een TLS op basis van een maximale grondsnelheid (Peak Ground Velocity, PGV) te willen werken. SodM herhaalt hier dat bij de aardbeving met magnitude  $M_L$  1,7 een PGV van 1,1 mm/s gemeten is, wat ver boven het niveau van 0,3 mm/s ligt wat u als maximale grondversnelling in uw voorgestelde TLS heeft opgenomen.

Ten slotte wordt er door u vanuit gegaan dat het TLS opnieuw begint omdat de geothermie van CWG momenteel stil ligt. Echter zoals bij vraag 4 beschreven is, is SodM van mening dat deze redenering niet klopt. De thermische- en spanningsverstoring nabij het CWG doublet in de breukzone is hoogstwaarschijnlijk nog steeds aanwezig. Het voorgestelde TLS-systeem moet dus bezien worden als voortzetting van de vorige winning in het gebied. In dat geval staat het stoplicht op rood. Er zijn geen significante veranderingen ten opzichte van het moment van de beving met de PGV van 1,1 mm/s. Er is daarom geen reden waarom het stoplicht nu op groen zou staan. Tevens zou een volgende beving een magnitude hoger dan 1,7 kunnen hebben, waarbij schade mogelijk is.

## Conclusie

Zoals bij vraag 1 beschreven is, bestaan er grote onzekerheden over de opbouw van de ondergrond. Daaropvolgend is bij vraag 2 beschreven dat, ondanks deze onzekerheden er een duidelijke hydraulische connectie is tussen de producer van CLG en de Tegelen breukzone. SodM is er niet van overtuigd dat er geen hydraulische connectie is tussen de injector van CLG en de Tegelen breukzone. Bovendien kan er een andere breuk nabij de injector zijn die seismisch actief is. De onzekerheden met betrekking tot de structuur van de ondergrondse geologie en hoe deze doorwerken naar mogelijke risico's zijn groot. Als gevolg van modellen met te veel vrijheidsgraden is het niet mogelijk om met meer zekerheid

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50

uitspraken te kunnen doen over de mogelijke risico's. Zoals bij vraag 3 beschreven, is het ook mogelijk dat de diepte van de bevingen wel accuraat bepaald zijn, waarmee er naar waarschijnlijkheid ook een andere oorzaak van de bevingen is. Daaropvolgend bestaan er ook scenario's waarbij de activiteiten kunnen leiden tot bevingen zwaarder dan wat tot nu toe gemeten is (vraag 4). Op basis van de behandeling van vraag 5 hiervan vindt SodM dat het TLS niet geschikt is voor de situatie waar CLG zich op dit moment in bevindt. Deze conclusies worden versterkt door de beoordeling van de externe technisch expert die een aantal aanvullende maatregelen aankaart.

Het is niet aangetoond dat het TLS in uw situatie geschikt is om escalerende seismiciteit te voorkomen, mede als gevolg daarvan kan CLG nu niet opgestart worden. SodM toetst primair op de veiligheid voor mens en milieu. In het geval van CLG speelt de mogelijkheid op schade en/of letsel door bodembeweging als gevolg van seismiciteit een duidelijke hoofdrol. De oorzakelijke vraag of breuken door CLG dan wel door CWG in een kritisch gespannen staat zijn gebracht is voor de afweging van SodM feitelijk minder relevant. In het geval van CLG gaat het er uiteindelijk om of de winningsactiviteiten van CLG een beving zouden kunnen veroorzaken als de breuk kritisch gespannen is. De conclusie van SodM is daarin ongewijzigd: er is niet voldoende zekerheid om aan te nemen dat de activiteiten bij CLG in combinatie met de door u voorgestelde maatregelen geen schadeveroorzakende beving kunnen veroorzaken. Het opstarten van de winning van aardwarmte, op veilige en verantwoorde wijze, is op dit moment dan ook niet mogelijk.

Ik hoop u hiermee op inhoudelijke punten nader te hebben toegelicht.

Hoogachtend,



T.F. Kockelkoren, MBA  
*Inspecteur-generaal der Mijnen*