

Addendum 1 verzoek instemming winningsplan Geothermie Delft

Indiener: Geothermie Delft B.V.

d.d.: 7 november 2022

Locatie-specifieke seismische risico analyse

Achtergrond

Geothermie Delft B.V. (GTD) heeft op 8 september 2022 onder kenmerk GTD220908KHu final, in overeenstemming met Mijnbouwwet artikel 34 juncto Mijnbouwwet artikel 39 het Winningsplan Geothermie Delft ingediend. In het ingediende winningsplan heeft de beoordeling op seismiciteit voor het project plaatsgevonden op basis van het rapport: Defining the Framework for Seismic Hazard Assessment in Geothermal Projects V0.1 (Qcon en IF Technology, 5/10/2016). In dit document, ook benoemd als SHRA Quickscan evaluatie, staat een stappenplan met levels beschreven waarin de risico's voor bodembeweging behorende bij aardwarmte kunnen worden ingeschat. GTD beschrijft in het Winningsplan de dreiging van geïnduceerde seismiciteit als zijnde "laag" zoals dat is toegelicht in hoofdstuk 8 van het winningsplan.

Op nader verzoek van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) wordt middels voorliggend addendum de SHRA Quickscan uitgebreid met een locatie-specifieke seismische risico analyse.

Introductie

Het Geothermie Delft aardwarmte project wordt gerealiseerd in een geologisch gebied (genaamd het West Nederlandse Bekken) in een goed doorlaatbare zandsteen (genaamd de Delft zandsteen) op meer dan 2 km diepte. In dit gebied en voor deze zandsteen zijn door het KNMI-netwerk nooit aardbevingen waargenomen. Dit geldt voor de decennialange gaswinning, maar ook voor de meer recent ontwikkelde geothermische doubletten. Twee van deze doubletten bevinden zich in hetzelfde geologische blok als het Geothermie Delft project en opereren al meer dan 10 jaar. Ook geldt dat boven andere gasreservoirs uit de Jura en jongere tijdperken in Nederland nooit aardbevingen zijn geregistreerd. Het niet optreden van aardbevingen bij de al gerealiseerde geothermie projecten en de decennialange gas- en oliewinningen op meerdere plaatsen in dit gebied zijn een aanwijzing voor een lage seismische dreiging.

Tegelijkertijd is het zonder deze waarnemingen onmogelijk een gekalibreerd model op te stellen voor het optreden van seismiciteit in deze setting. Om toch een Locatie Specifieke Seismische Risico Analyse op te stellen voor het GTD-project is er daarom besloten om:

1. De kans op het optreden van een aardbeving kwalitatief te duiden.
2. De maximaal mogelijke theoretische magnitude die zou kunnen plaatsvinden deterministisch te berekenen op basis van de maximale grootte van het afgekoeld volume en de dimensies van breuken in het gebied.

Deze aanpak, waarin de maximale magnitude deterministisch wordt berekend, wordt onderschreven door de Kamerbrief van de staatssecretaris (20-10-2022) en het advies van het hooglerarenpanel in de bijbehorende bijlage¹.

Kans op optreden van een aardbeving

De kans op het optreden van een aardbeving wordt kwalitatief geduid op basis van de volgende informatie:

- De kans op seismiciteit bij geothermie is waarschijnlijker als deze plaatsvindt:
 - in diepere lagen, waar breuken aanwezig zijn die verbonden zijn met dieper gelegen kristallijn gesteente. Dit is voor het GTD project niet van toepassing.
 - nabij tektonisch actieve breuken. Dit is voor het GTD project niet van toepassing.
 - nabij gebieden waar andere mijnbouwactiviteiten plaatsvinden, aangezien de kans op bevingen daarmee kan worden verhoogd. Dit is voor het GTD project niet van toepassing.
- Eerdere ondergrond projecten in het West Nederlandse Bekken (zowel geothermische- als olie- & gas- projecten) hebben tot nu toe laten zien dat dit gebied niet seismogeen is. Met andere woorden, geothermische- of olie- & gas- ontwikkelingen in dit gebied hebben niet geleid tot voelbare en/of geregistreerde aardbevingen.
- Eerdere ondergrond projecten in de Delft zandsteen (zowel geothermische- als olie- & gas- projecten) hebben laten zien dat deze zandsteen niet seismogeen is. Met andere woorden, geothermische- of olie- & gas- ontwikkelingen in deze zandsteen hebben tot nu toe niet geleid tot aardbevingen.
- In Noord-Duitsland en Denemarken bestaan zeer vergelijkbare projecten waarin al enkele decennia aardwarmtewinning plaatsvindt en tot op heden zijn hier geen aardbevingen waargenomen.
- TNO heeft in 2019 een studie uitgevoerd naar de kans op seismiciteit bij geothermie projecten in Nederland en concludeert dat de kans op seismiciteit bij geothermie projecten minimaal te noemen is².

Op basis van deze informatie kan geconcludeerd worden dat er een minimale kans bestaat op het optreden van een aardbeving en er een lage kans op seismische dreiging is bij het GTD-project. Desalniettemin zullen de meetgegevens uit de putten uiteraard worden gebruikt om de modellen die de afkoeling beschrijven te kalibreren. Bovendien zal de seismiciteit rondom het Geothermie Delft project continu gemonitord worden en zal er een seismisch risico beheersplan in werking gesteld worden.

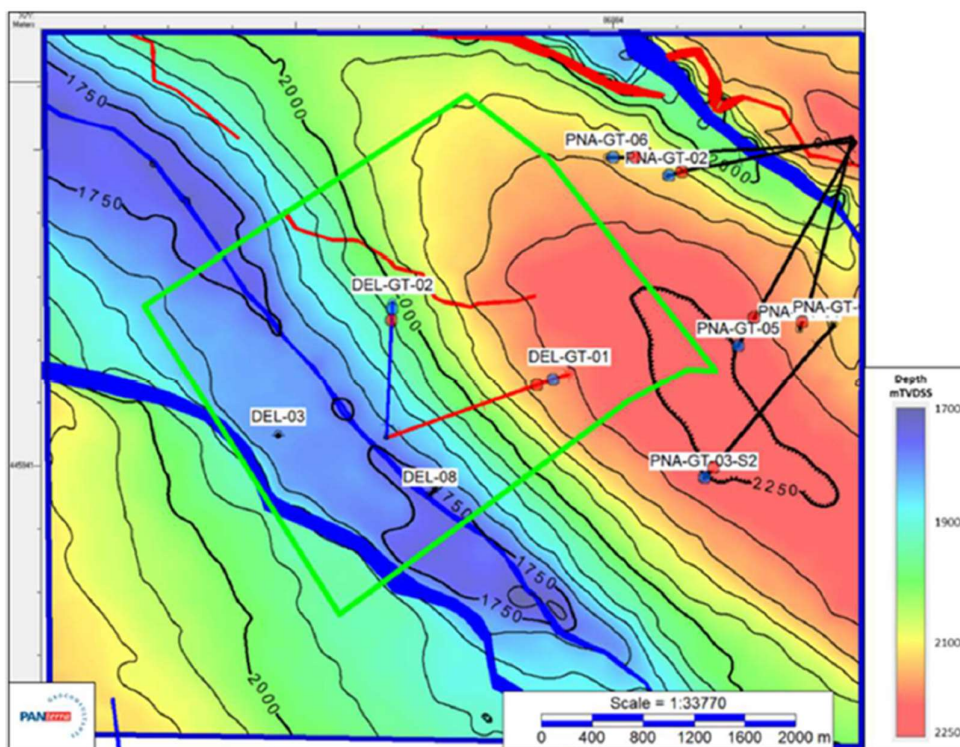
¹ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2022/10/20/beleidsbijlage-overzicht-en-toelichting-van-beleid-voor-het-omgaan-met-fysieke-risicos-en-onzekerheden-bij-geothermie>

² <https://kennisbank.ebn.nl/reviewstudie-seismiciteit-tno/>.

Maximaal mogelijke theoretische magnitude

De maximaal mogelijke theoretische magnitude die zou kunnen plaatsvinden kan berekend worden op basis van de dimensies van breuken in het gebied en de grootte van het maximale uitkoelingsvolume.

Figuur 1 laat een plattegrond zien van de locatie van de geplande putten DEL GT-01 (productieput) en DEL GT-02 (injector) met naburige breuken. Geothermie Delft heeft als doel om warm water te produceren uit het Delft Zandsteen Laagpakket en om het afgekoelde water met een laagst mogelijke temperatuur van 20°C terug in hetzelfde reservoir te injecteren. Wanneer het geïnjecteerde water een breuk bereikt kunnen de spanningen op die breuk veranderen en in theorie leiden tot breuk reactivatie, die vervolgens zou kunnen leiden tot een beving wanneer de reactivatie plotseling plaatsvindt.



Figuur 1: Locatie van de geplande putten DEL-GT-01 (productieput) en DEL-GT-02 (injectieput) met naburige breuken. Blauwe breuklijnen zijn naar het zuidwesten hellende breuken, rode breuklijnen zijn naar het noordoosten hellende breuken.

De hoeveelheid energie die vrijkomt bij een beving en daarmee de sterkte van een beving is gerelateerd aan het breukoppervlak dat kan bewegen. De beweging kan worden veroorzaakt door de afkoeling tgv geïnjecteerd water. De maximale afgekoelde zone is daarmee bepalend voor de sterkste beving die op die breuk kan plaatsvinden. Deze relatie wordt gegeven door (Kanamori, 2001; Stein en Wyssession, 2006):

$$M_0 = GAu = \frac{3\pi}{8} \Delta\sigma(w^2L)$$

waarbij M_0 het seismisch moment (maat voor de hoeveelheid energie) is dat bij een beving vrijkomt,

- G : de schuifmodulus

- A : (afgekoelde) breukoppervlakte
- u : verplaatsing over het breukvlak gedurende de beving
- $\Delta\sigma$: stress drop, oftewel de spanning die tijdens een beving is gerelaxeerd
- L : Lengte van de breuk
- w : hoogte van de breuk; dikte van het reservoir

De relatie tussen het seismisch moment M_0 en de magnitude M van een beving wordt gegeven door (Hanks and Kanamori, 1979):

$$\log_{10} M_0 = 9.1 + 1.5M$$

De stress drop is de reductie van de breuksterkte die door de beweging van de aardbeving wordt veroorzaakt. Voor gaswinning wordt deze conservatief gesteld op 5 MPa. Dit getal vloeit voort uit een maximale afname van de wrijvingscoëfficiënt die er voor zorgt dat de schuifspanning gerelaxeerd wordt (stress drop) tijdens de aardbeving. Voor geothermie zal bij een zelfde aanname voor de reductie van de wrijvingscoëfficiënt de stress drop kleiner zijn omdat de effectieve spanningen bij geothermie lager zijn; dit principe wordt ook beschreven in Buijze et al. (2021). De parameters gebruikt voor de berekening worden weergegeven in Tabel 1 en Tabel 2. De maximaal mogelijke theoretische magnitude wordt berekend voor verschillende afstanden tot de breuk het meest nabij de injectieput Del-GT-02, zoals aangegeven in figuur 1 is dit de rode breuklijn naar het noordoosten hellende. De afstand van Del-GT-02 tot deze breuk is niet exact vast te stellen vanuit de geologische data maar kan variëren tussen minimaal 100 meter en maximaal 400 meter. De maximaal mogelijk theoretische magnitude wordt daarom berekend voor de afstand 100m, 250m en 400m en na een verschillend aantal jaar van productie (3 jaar en 25 jaar). Figuur 2 en Figuur 3 laten de DoubletCalc2D berekeningen zien op basis waarvan de afgekoelde breuklengte gebaseerd is (de breuklengte is bepaald o.b.v. de 65°C contour). Tabel 3 laat de uitkomsten van de berekeningen zien: de maximaal mogelijke theoretische magnitude die zou kunnen plaatsvinden ligt tussen de $M_{2,6}$ en $M_{3,0}$. Ten aanzien van de overige in figuur 1 aangegeven breuklijnen geldt dat gezien de afstand van deze breuklijnen tot Del-GT-02 een beoordeling buiten beschouwing kan blijven.

Tabel 1: Gebruikte parameters voor berekening van maximaal mogelijke theoretische magnitude

$\Delta\sigma$	MPa	2.5
w	m	93
L	m	Zie Tabel 2

Tabel 2: Lengte van afgekoelde breuk op reservoir niveau

Na # jaar productie @360m ³ /h, 20°C injectie	Lengte van de afgekoelde breuk op reservoir niveau		
	Breuk @100m	Breuk @ 250m	Breuk @ 400m
3 jaar	375	0	0
35 jaar	1665	1530	1360

Tabel 3: Lengte van afgekoelde breuk op reservoir niveau met bijbehorende maximaal mogelijke theoretische magnitude

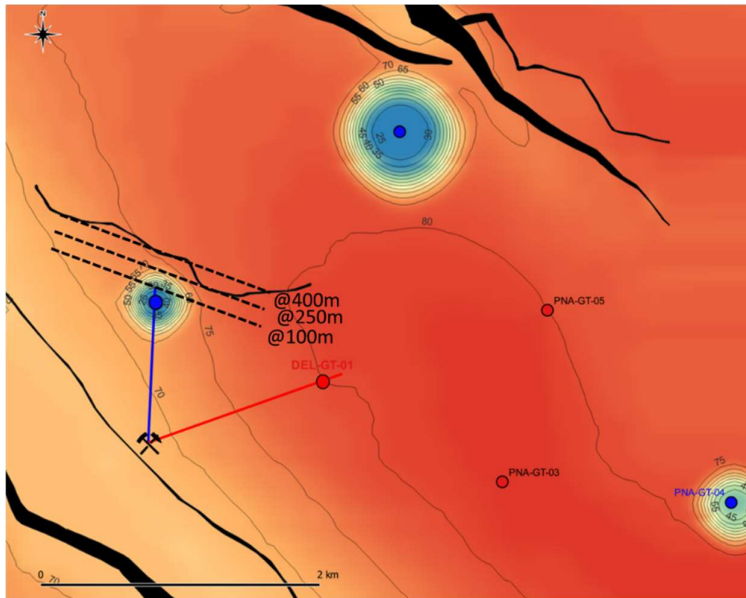
Na # jaar productie @360m ³ /h, 20° C injectie	Lengte van de afgekoelde breuk op reservoir niveau met bijbehorende maximaal mogelijke theoretische magnitude
--	--

	<i>Breuk @100m</i>	<i>M_{max}</i>	<i>Breuk @ 250m</i>	<i>M_{max}</i>	<i>Breuk @ 400m</i>	<i>M_{max}</i>
<i>3 jaar</i>	375	2,59	0	-	0	-
<i>35 jaar</i>	1665	3,02	1530	2,99	1360	2,96

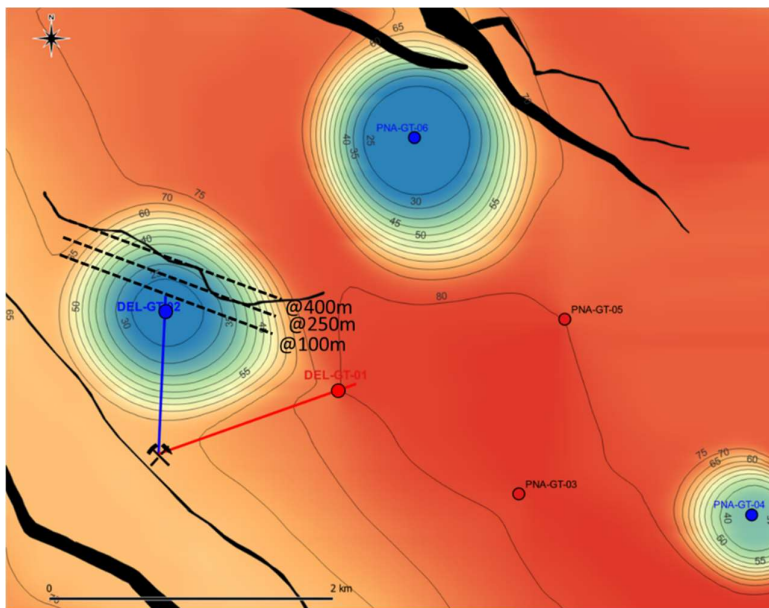
De maximaal mogelijke theoretische magnitude berekeningen zijn gebaseerd op zeer conservatieve aannames:

- Er wordt aangenomen dat de beweging in één keer seismisch zal plaatsvinden. Dit gedrag wordt echter niet geobserveerd in seismische actieve gebieden; de slip vindt normaal in kleine stappen plaats, resulterend in veel kleine bevingen en minder grotere bevingen. Dit gedrag wordt beschreven door de Gutenberg-Richter relatie. Hierdoor blijft er zowel minder energie over voor toekomstige bevingen. Bovendien zullen deze kleine bevingen gemonitord worden en kunnen op basis hiervan maatregelen genomen worden. Deze maatregelen zullen worden beschreven in een seismisch risicobeheersplan.
- De breuk is doorlatend en als gevolg hiervan wordt een maximale grootte van de afgekoelde zones aan weerszijden van de breuk bereikt.
- De bovengrens van de maximaal mogelijke magnitude wordt geschat op basis van de veronderstelling dat het formatiegesteente rond de breuk zich elastisch-bros gedraagt in reactie op door koeling veroorzaakte spanningsverstoringen. Dit betekent dat breuk gereactiveerd wordt, vervolgens verzwakt en daarmee versneld voortbeweegt. Nogmaals, deze condities lijken, op basis van observatie, niet te bestaan voor de breuken in de Delft Zandsteen.
- Er wordt geen rekening gehouden met veranderingen van breukrichting binnen het breukoppervlak die normaliter magnitudes beperken.
- Er wordt geen rekening gehouden met de heterogeniteit van de sterkte van het breukoppervlak die normaliter magnitudes beperken.

Deze aannames zorgen ervoor dat de berekende maximaal mogelijke magnitude conservatief (hoog) is.



Figuur 2: Temperatuur na 3 jaar GTD productie/injectie van $360\text{m}^3/\text{h}$ (en 10 jaar PNA-GT-03/04/05/06 productie/injectie) gemodelleerd met DoubletCalc2D. Verschillende breukafstanden tot de GTD injectieput (DEL-GT-02) zijn weergegeven (100, 250, 400m). De afgekoelde zones rondom de GTD injectieput (DEL-GT-02) en de PNA-GT-04 en PNA-GT-06 injectieputten beïnvloeden elkaar niet.



Figuur 3: Temperatuur na 35 jaar productie/injectie van $360\text{m}^3/\text{h}$ (en 45 jaar PNA-GT-03/04/05/06 productie/injectie) gemodelleerd met DoubletCalc2D. Verschillende breukafstanden tot de GTD injectieput (DEL-GT-02) zijn weergegeven (100, 250, 400m). De afgekoelde zones rondom de GTD injectieput (DEL-GT-02) en de PNA-GT-04 en PNA-GT-06 injectieputten beïnvloeden elkaar niet.

Conclusie

Voor het Geothermie Delft aardwarmte project er een Locatie Specifieke Seismische Risico Analyse uitgevoerd op basis van:

1. Een kwalitatieve duiding van de kans op het optreden van een aardbeving.
 - Op basis hiervan kan er geconcludeerd worden dat er een minimale kans bestaat op het optreden van een aardbeving en er een lage kans op seismische dreiging is bij het GTD project. Desalniettemin zullen de meetgegevens uit de putten uiteraard worden gebruikt om modellen te updaten en te kalibreren. Bovendien zal de seismiciteit rondom het Geothermie Delft project continue gemonitord worden en zal er een seismisch risico beheersplan in werking gesteld worden.
2. Een deterministische berekening van de maximaal mogelijke theoretische magnitude die zou kunnen plaatsvinden op basis van de dimensies van breuken in het gebied.
 - De maximaal mogelijke theoretische magnitude die zou kunnen plaatsvinden liggen tussen $M_{2,6}$ en $M_{3,0}$; dit is gebaseerd op zeer conservatieve aannames welke ervoor zorgen dat de berekende maximaal mogelijke magnitude te conservatief (hoog) is.

Referenties

- Hanks, T., and H. Kanamori (1979), *Moment magnitude scale*, *J. Geophys. Res.* 84, 2348-2350.
- Kanamori, H. (2001), *Energy budget of earthquakes and seismic efficiency*, in *Earthquake Thermodynamics and Phase Transformations in the Earth's Interior*, edited by R. Teisseyre, pp.293-305, Academic, Wlatham, Mass.
- Stein, S. and Wysession, M. (2003) *An Introduction to Seismology, Earthquake, and Earth Structure*. Blackwell Publishing, Oxford.
- Buijze, L., Fokker, P., Wassing, B. (2021) *Quantification of induced seismicity potential of geothermal operations. Analytical and numerical model approaches*
- Kamerbrief: *Beleid voor verantwoord omgaan met fysieke risico's en onzekerheden bij geothermie*, J.A. Vijlbrief, staatssecretaris van Economische Zaken en Klimaat, 20 oktober 2022
 - *Beleidsbijlage. Overzicht en toelichting van beleid voor het omgaan met fysieke risico's en onzekerheden bij geothermie*