

Duiding WarmingUp rapport *Quantification of induced seismicity potential of geothermal operations – Analytical and numerical model approaches* door Loes Buijze, Peter Fokker, Brecht Wassing, TNO, 10 december 2021.

24.03.2022

Dit rapport is het resultaat van onderzoek dat is uitgevoerd als onderdeel van het Innovatieplan WarmingUp. Eén van de doelen van WarmingUp is het versnellen van de ontwikkeling van geothermieprojecten voor duurzame warmte in de gebouwde omgeving, inclusief inpassing in collectieve warmtenetten. Thema 4B van WarmingUp richt zich hierbij op de betrouwbaarheid en veiligheid van aardwarmtewinning, oftewel op het kwantificeren, beheersen en monitoren van seismiciteit en milieueffecten.

Waarom is dit onderzoek gedaan?

Geothermie is sterk in ontwikkeling in Nederland. Net als iedere activiteit brengt ook deze ondergrondse activiteit risico's met zich mee. Eén van de mogelijke risico's is het ontstaan van door mensen veroorzaakte aardbevingen, oftewel geïnduceerde seismiciteit. Hierbij treden verschuivingen op langs bestaande, natuurlijke breuken. Het is niet wenselijk dat deze aardbevingen dusdanig groot zijn dat zij aan het aardoppervlak gevoeld worden en/of schade kunnen veroorzaken. Een randvoorwaarde voor een veilige en verantwoorde opschaling van geothermie in Nederland is dat dit risico op (voelbare) seismiciteit voldoende beheerst en gemitigeerd wordt.

Het bepalen of uitrekenen van de kans op een door geothermie veroorzaakte aardbeving is niet gemakkelijk. Er zijn meerdere onzekerheden en onbekendheden in de ondergrondse parameters die een rol spelen.

Er is al veel onderzoek gedaan naar de oorzaken en mechanismes van aardbevingen als gevolg van gaswinning – zoals in Groningen. De mechanismes waardoor breuken kunnen worden gereactiveerd bij geothermie zijn echter anders dan bij gaswinning. Bij gaswinning kunnen bevingen ontstaan doordat na jaren productie een grote drukdaling optreedt in het reservoir. Als gevolg hiervan drukt het bovenliggende gesteente het reservoir samen en kunnen spanningen op breuken in de ondergrond ontstaan. Wanneer die spanning vrijkomt, kan dit een aardbeving veroorzaken. Bij aardwarmtewinning uit de zandsteenlagen in Nederland wordt water opgepompt uit een reservoir. Een belangrijk verschil: nadat het water door een warmtewisselaar is gegaan wordt het opgepompte water meteen weer geïnjecteerd in dezelfde aardlaag. Hierdoor blijven de drukverschillen in het reservoir over het algemeen klein. Bij aardwarmte kan afkoeling van het gesteente de spanning op een breukvlak doen toenemen. Ook is er al veel onderzoek gedaan naar de oorzaken en mechanismes van aardbevingen als gevolg van geothermie in (actieve) breuksystemen – zoals in Basel (Zwitserland) en in Pohang (Zuid-Korea). Het type gesteente waaruit in Nederland momenteel aardwarmte wordt gewonnen (inmiddels een twintigtal projecten) is echter anders dan bij de projecten waar voelbare seismiciteit is waargenomen. Bij de in Nederland actieve projecten wordt aardwarmte niet gewonnen uit breuksystemen. Twee eerdere projecten van geothermie in een actief breuksysteem in Limburg (Californië) zijn stilgelegd vanwege kleine bevingen. Momenteel wordt aardwarmte alleen gewonnen uit doorlatende zandsteenlagen, waar het door de aarde opgewarmde water zich bevindt in de poriën tussen de zandkorrels. Dit warme water wordt middels een productieput onttrokken aan de zandsteenlaag, en na afkoeling door gebruik aan de oppervlakte terug geïnjecteerd in dezelfde laag middels een injectieput. Samen worden deze putten een doublet genoemd. Alhoewel bij deze projecten geen winning uit een breuk(zone) plaatsvindt, kunnen breuken in de omgeving van het doublet wel beïnvloed worden. Dit kan bijvoorbeeld door afkoeling van het gesteente. Daardoor kan mogelijk verschuiving langs een breuk, en daarmee een aardbeving, gegenereerd worden.

In zowel Nederland als bij vergelijkbare projecten in het buitenland zijn er tot op heden geen voelbare aardbevingen waargenomen bij aardwarmtewinning uit dit type gesteente¹. Het is dan ook de verwachting dat het seismisch risico laag is bij deze projecten, waarbij weggebleven wordt van actieve breukzones. Het aantal projecten en hun looptijd is echter nog beperkt, en het is daardoor van belang deze verwachting ook met onderzoek en data te staven. Onderzoek naar de mechanismes van seismiciteit in doorlatende zandsteenlagen is daarom belangrijk.

Wat is er onderzocht?

Deze studie door TNO-experts is gericht op het verkrijgen van kennis over mechanismes die seismiciteit zouden kunnen veroorzaken bij aardwarmtewinning uit poreuze zandsteenlagen. Daarvoor zijn in deze studie meerdere modellen ontwikkeld waarmee bepaald kan worden hoe de condities in de ondergrond veranderen ten gevolge van productie van warm water en injectie van koud water in doorlatende zandstenen. De modellen beschrijven de verandering van druk en temperatuur in de ondergrond, de hieraan gerelateerde spanningsveranderingen en de mogelijkheid dat hierdoor een breuk in de invloedssfeer van het doublet gereactiveerd wordt. Ook is bekeken welke magnitude – oftewel sterkte van een aardbeving – dat zou kunnen opleveren.

In deze studie is onder andere aandacht besteed aan de volgende belangrijke vragen: Hoe groot is het ondergrondse gebied dat gedurende de levensduur van een geothermisch doublet afkoelt? Welke spanningsveranderingen kan dit opleveren en onder welke omstandigheden leiden deze tot reactivering van de breuk en voelbare seismiciteit? Welke eigenschappen van de ondergrond zijn belangrijk? En welke operationele factoren van doubletten dragen bij aan de spanningsveranderingen?

Wat zijn de resultaten?

Afkoeling van het gesteente is de belangrijkste oorzaak van spanningsveranderingen die mogelijk kunnen leiden tot reactivatie van een bestaande breuk. Dat is anders dan bij gaswinning, waar de drukval een grotere rol speelt.

De afgekoelde zone bevindt zich voornamelijk rondom de injectieput. Hoe verder deze injectieput van een bestaande breuk verwijderd is, hoe kleiner de mogelijkheid tot reactivatie van deze breuk. Hiermee wordt momenteel al rekening gehouden in het ontwerp van doubletten.

Dit onderzoek heeft beter gekwantificeerd welke factoren de meeste invloed hebben op de spanningsveranderingen door afkoeling, hoe groot de afgekoelde zone ongeveer is en wat het effect is van de injectietemperatuur en de breukeigenschappen. Hiervoor zijn meerdere modellen ontwikkeld waarmee de mogelijke seismiciteit in een vroeg stadium voorafgaand aan de aardwarmtewinning ingeschat kan worden. Dit betere begrip van de spanningsveranderingen rondom geothermiedoubletten, de omstandigheden waaronder bestaande, natuurlijke breuken kunnen reactiveren en de mogelijke magnitude van geïnduceerde bevingen is cruciaal in de ontwikkeling van locatiespecifieke risicoanalyses en de ontwikkeling van beheersmaatregelen.

Wat speelt er nog meer naast deze studie?

De partijen die bijdragen aan de ontwikkeling van geothermie in Nederland hebben samen de ambitie om een industriestandaard seismiciteit bij geothermie te ontwikkelen. Deze industriestandaard bevat standaarden voor een risicoanalyse (SHRA, oftewel Seismic Hazard and Risk Assessment), monitoring van trillingen, afspraken wanneer en hoe ingegrepen wordt bij het overschrijden van drempelwaardes voor trillingen en afspraken hoe – mochten omwonenden van een geothermieproject denken dat zij toch schade hebben door de activiteiten – schadeclaims onafhankelijk en snel afgehandeld worden.

¹ Zie review studie Buijze et al, 2019 <https://kennisbank.ebn.nl/reviewstudie-seismiciteit-tno/>

Deze WarmingUp studie is relevant voor deze ontwikkelingen, omdat de inzichten en modellen kunnen bijdragen aan de ontwikkeling van de seismische risicoanalyse.

Welke beperkingen heeft de studie?

De resultaten van de studie kunnen niet direct gebruikt worden voor risicoanalyse van specifieke geothermieprojecten in Nederland. De eigenschappen van de ondergrond zijn veelal onzeker en kunnen zowel regionaal, als tussen de verschillende typen zandsteenlagen waaruit aardwarmte wordt gewonnen, sterk verschillen. In het rapport is een zeer brede onzekerheidsbandbreedte meegenomen. Deze grote bandbreedte geeft een brede spreiding van mogelijke magnitudes en schetst daarmee een conservatief scenario. Deze bandbreedte kan worden aangescherpt door aanvullend onderzoek en locatiespecifieke eigenschappen mee te nemen.

Daarnaast zijn in een deel van de berekeningen aannames gedaan die het meest conservatieve scenario schetsen, zoals de aanname dat een breuk in de koudebel ligt, terwijl het doublet in de praktijk juist zo ontworpen wordt dat de koudebel de breuk niet of slechts gedeeltelijk zal raken. Daarnaast is het de verwachting dat de breuk niet in één keer gereactiveerd wordt, maar geleidelijk (in stapjes) als de koudebel met de tijd over de breuk beweegt. Deze reactivatie kan leiden tot trillingen, maar de beweging over het breukoppervlak zou ook zonder productie van seismiciteit kunnen plaatsvinden.

Monitoring van trillingen is belangrijk, zodat tijdig ingegrepen kan worden indien de breuk gaat verschuiven en er lichte seismiciteit waargenomen wordt.

Wat zijn de vervolgstappen?

Dit onderzoek is een goede eerste stap om met meer zekerheid in te kunnen schatten of een geothermieproject in een doorlatende zandsteen geïnduceerde seismiciteit kan veroorzaken. Vervolgonderzoek is nodig zodat het risico met meer zekerheid berekend kan worden. Vragen die daarbij spelen zijn onder andere: Hoe beweegt een breuk bij een koufront dat geleidelijk de breuk passeert? Hoe kunnen modelvoorspellingen gekalibreerd en gevalideerd worden? Hoe kan een seismisch monitoringssysteem daarbij ingezet worden, zowel bij het valideren van de analyse als voor het mogelijk vroegtijdig ingrijpen indien toch (nog niet voelbare, maar wel meetbare) seismiciteit optreedt?

Binnen enkele maanden zullen nog een aantal studies worden gepubliceerd, die ook vallen onder het WarmingUp-programma. Hierin wordt onder meer onderzocht hoe onzekerheidsmarges in ondergronddata verkleind kunnen worden door gebruik van gesteentedata uit het laboratorium. Dit is relevant, omdat er veel regionale verschillen in ondergrondse parameters zijn, zowel door de ouderdom van de gesteentes als het milieu waarin ze zijn afgezet. Tevens wordt een betere analyse gemaakt van het tektonische spanningsveld in de ondergrond en hoe dit varieert per regio of per gesteentetype. Met de uitkomsten van deze studies kunnen in de toekomst de geomechanische modelberekeningen beter geïnformeerd worden.

Daarnaast wordt onderzocht hoe een betere locatiebepaling van seismische trillingen, en daarbij een inschatting van de onzekerheid van deze locatiebepaling, te maken is. Dit onderzoek kan leiden tot een kosteneffectieve optimalisatie van seismische meetnetten.