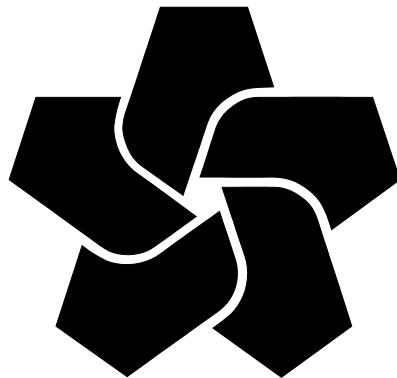


Addendum
Waterinjectie Management Plan



NAM

**Protocol seismische activiteit
door waterinjectie**

kenmerk EP201502216336, d.d. 26 februari 2015

Seismische activiteit door waterinjectie

Het productiewater dat vrijkomt bij de oliewinning in Schoonebeek wordt geïnjecteerd in de diepe ondergrond in een drietal leeggeproduceerde gasvelden (Tubbergen-Mander, Tubbergen en Rossum-Weerselo) in Twente. De waterinjectie is begonnen in januari 2011. Actueel wordt 4000-5000 m³ per dag water geïnjecteerd. Volgens de oorspronkelijke planning werd verwacht dat er momenteel ca. 12.500 m³ per dag geïnjecteerd zou worden. De reden voor het lagere volume is dat de oliewinning in Schoonebeek langzamer plaatsvindt dan voorheen verwacht.

Wereldwijd is gebleken dat waterinjectie in incidentele gevallen aardbevingen kan veroorzaken. Studies hebben aangegeven dat dergelijke aardbevingen voornamelijk gerelateerd zijn aan gevallen waarbij de reservoirdruk uitstijgt tot boven de oorspronkelijke reservoirdruk, iets wat in Nederland niet gebeurt omdat in vergunningen druklimieten zijn opgenomen. In Nederland wordt door NAM al tientallen jaren zonder problemen water geïnjecteerd op diverse locaties (bv. Borgsweer, Pernis, Rotterdam, Schoonebeek). Er is in Nederland slechts 1 geval bekend waarbij vermoedelijk door waterinjectie een lichte aardbeving heeft plaatsgevonden. Dit was in november 2009 nabij Weststellingwerf in een gasveld van Vermilion. Deze beving had een kracht van 2,8 op de schaal van Richter.

Hoewel er in Twente zowel gedurende de 55 jaar van gasproductie als gedurende de eerste 4 jaar van waterinjectie geen bevingen zijn geregistreerd en de lange termijn verwachting is dat de kans op bevingen onwaarschijnlijk is (MER en Ref 1¹), heeft Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) NAM verzocht om het risico op aardbevingen door waterinjectie in Twente nader te beschrijven (Ref 1). Daarnaast heeft SodM verzocht om een protocol aan het Water Management Plan voor Twente toe te voegen waarin vast wordt gelegd hoe het risico op mogelijke bevingen beheerst wordt en hoe te handelen mocht er onverhoopt wel een beving optreden.

De mogelijke bedreigingen en mechanismen die in verband worden gebracht met het mogelijk optreden van bevingen gedurende injectie zijn vastgelegd in NAM rapport EP201502207168 (Ref 1). Hierin wordt ook, conform de bevindingen in de MER, geconcludeerd dat seismiciteit in Twente niet verwacht wordt. Omdat bodembewegingen nooit volledig uitgesloten kunnen worden, heeft bovengenoemd rapport een aantal aanbevelingen opgenomen zoals het aanleggen van een verbeterd seismisch netwerk en een accelerometer netwerk boven de injectievelden. Eventuele metingen kunnen gekoppeld worden aan een seismisch risico management systeem.

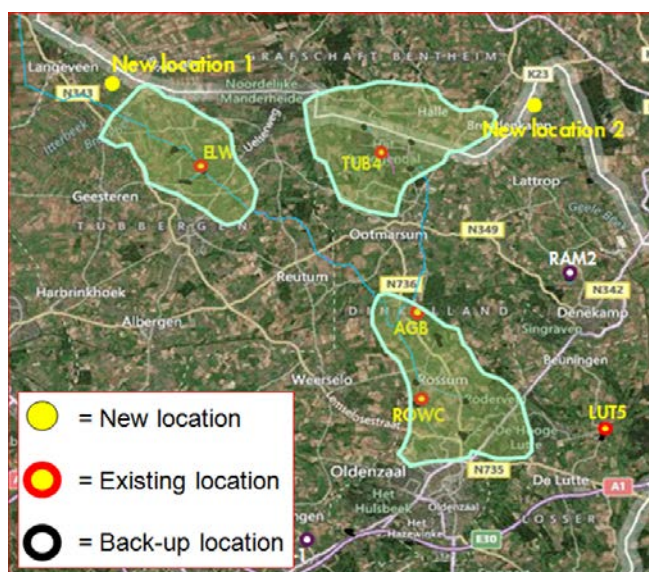
Momenteel beheert het KNMI 2 seismometerstations nabij Venebrugge (Hardenberg) en Winterswijk. Echter gezien de afstand tot de Twente gasvelden is de detectie- en locatienauwkeurigheid van deze stations niet voldoende accuraat voor met name kleine bevingen. SodM heeft NAM verzocht het gefoonnetwerk boven haar gasvelden in Twente uit te breiden. Hierdoor wordt het mogelijk om eventuele bevingen met een sterkte ('lokale magnitude', M_L) van minimaal 1,5 te detecteren en te lokaliseren met

¹ Ref 1: "Threat assessment for induced seismicity in the Twente water disposal fields" NAM Report nr. EP201502207168 (Februari 2015)

een accuratesse van ± 50 m horizontaal en ± 200 m verticaal. Met dit uitgebreide gefoonnetwerk wordt het mogelijk om bij een eventuele beving te bepalen of er een verband is met de waterinjectie. Bovendien wordt zo een beter begrip verkregen over de relatie tussen de positie van breuken in de diepe ondergrond en de locatie van mogelijke bevingen.

Een gedetailleerde studie is uitgevoerd waarin de detectie accuratesse en gevoeligheid van verschillende gefoonnetwerken is gemodelleerd en, in overleg met KNMI, geëvalueerd (Ref 2²). Daaruit is gebleken dat een netwerk in Twente bestaande uit 7 gefoonputten alle seismische activiteit met een $M \geq 1,5$ voldoende nauwkeurig kan waarnemen in alle reservoirs waarin waterinjectie plaatsvindt. De gefoons worden geïnstalleerd nabij (net daarbuiten) vijf bestaande NAM locaties (Elsweg (ELW), Tubbergen (TUB4), Agelerbrug (AGB), Rossum-Weerselo (ROWC) en De Lutte (LUT5)) en op twee nieuwe locaties (zie figuur 1). Indien nodig is het mogelijk ook de NAM locaties Deurningen en Rammelbeek-2 te gebruiken.

Voor de installatie van het netwerk wordt op iedere locatie een 200 m diepe put geboord waarin op elke 50 m een gefoon wordt afgehangen. Op dezelfde locaties worden tevens aan de oppervlakte accelerometers geplaatst om de versnellingen van mogelijke bevingen in kaart te brengen. Deze gefoonputten hebben exact hetzelfde ontwerp en dezelfde specificaties als de putten die in 2014-15 in Noord Nederland geïnstalleerd worden, om een evenredige dekking over geheel Noord Nederland te verkrijgen. Het netwerk zal worden overgedragen aan het KNMI dat voor de operatie en het onderhoud van het netwerk zorgt en voor de verwerking van gemeten data. Op dit moment is de verwachting dat de installatie van het netwerk in juli 2015 kan beginnen en dat het in oktober 2015 gereed is voor gebruik.



Figuur 1 – Gefoonlocaties in Twente

² Ref 2: “(Micro-)seismic monitoring array design study for Schoonebeek produced water disposal at Tubbergen-Manders, Tubbergen and Rossum Weerselo” NAM Report nr. EP201502215592 (Maart 2014)

Om het risico van seismische activiteit, die veroorzaakt zou kunnen worden door waterinjectie, te beheersen wordt op advies van Staatstoezicht op de Mijnen het 5-stappenplan van Zoback³ gevolgd:

1. Vermijd injectie in actieve breuken

Aan criterium 1 wordt voldaan. Uit een geologische studie van de diepe ondergrond in Twente (NAM rapport EP201310201845) wordt geconcludeerd dat tektonisch actieve breuken niet aanwezig zijn. Alleen direct ten oosten van het Tubbergen-Mander veld loopt een breuk die 21,5 miljoen jaar geleden voor het laatst activiteit vertoonde (De Gronau Breuk). De dichtstbijzijnde injectieput bevindt zich op ruime afstand (ongeveer 2000m) van deze inactieve breuk.

2. Voorkom dat de reservoirdruk te snel toeneemt

Aan criterium 2 wordt voldaan. Ieder jaar wordt in alle injectieputten de lokale reservoirdruk gemeten. De gemeten druk wordt vergeleken met de gemodelleerde druk, die is gebaseerd op de hoeveelheid gas die oorspronkelijk uit dat reservoir is geproduceerd. Als de druk significant sneller toeneemt dan verwacht, dan wordt de waterinjectie in die put aangepast. Zo is op basis van deze druk monitoring in 2014 besloten om voorlopig de putten TUM1, TUM2 en ROW3 niet te gebruiken voor waterinjectie, terwijl in put TUM 3 minder water wordt geïnjecteerd. Daarnaast is een maximale injectiedruk vastgesteld die de integriteit van de afsluitende bovenlaag waarborgt en zal de injectie worden gestopt als de oorspronkelijke reservoirdruk wordt bereikt.

3. Installeer een seismologisch netwerk

Aan criterium 3 zal eind 2015 voldaan zijn. Zoals eerder beschreven wordt in Twente een gefoonnetwerk aangelegd bestaande uit 7 meetstations. Dit netwerk zal voldoende nauwkeurig de sterkte van eventueel optredende seismische activiteit en de locatie daarvan weergeven. Het KNMI beheert het netwerk en zal de metingen registreren en waargenomen seismische activiteit (onder meer aan NAM) rapporteren.

4. Stel een protocol op waarin maatregelen zijn aangegeven als een seismische activiteit wordt gemeten

Aan criterium 4 wordt middels dit addendum voldaan. Een 'verkeerslicht'-protocol (Figuur 2) is opgesteld, waarin is aangegeven welke maatregelen zullen worden genomen als enige seismische activiteit wordt waargenomen. De te nemen maatregel hangt af van de magnitude van de seismische activiteit.

³ Mark D. Zoback "Managing the seismic risk posed by wastewater disposal", Arma e-newsletter, volume 2, issue 2, spring 2012 (http://www.armorocks.org/documents/newsletters/2012_02_02_spring.pdf)

Code Groen $M \leq 1,5$	Waterinjectie wordt voortgezet volgens plan
Code Geel $1,5 < M \leq 2,5$	<p>Waterinjectie wordt voortgezet volgens plan. Met SodM vindt overleg plaats.</p> <p>De door de geofoons en accelerometers gemeten seismiciteit wordt geanalyseerd en vergeleken met de op dat moment beschikbare 'Ground Motion Prediction Equations (GMPE)'. Deze analyse wordt met SodM gedeeld.</p> <p>Met SodM wordt een mogelijke aanpassing van de GMPE besproken. Voorts wordt afgestemd met SodM of de magnitudes die de grenswaarden vormen voor dit protocol dienen te worden aangepast.</p>
Code Oranje $2,5 < M \leq 3,0$	<p>De waterinjectie in de put die het dichtst bij de locatie ligt waar de activiteit is waargenomen wordt teruggenomen. Met SodM vindt overleg plaats.</p> <p>De door de geofoons en accelerometers gemeten seismiciteit wordt geanalyseerd en vergeleken met de op dat moment beschikbare 'Ground Motion Prediction Equations (GMPE)'. Deze analyse wordt met SodM gedeeld.</p> <p>Met SodM wordt afgestemd of de waterinjectie in deze put die het dichtst bij de locatie ligt waar de activiteit is waargenomen blijvend aangepast moet worden.</p>
Code Rood $M > 3,0$	<p>De waterinjectie in de put die het dichtst bij de locatie ligt waar de activiteit is waargenomen wordt stopgezet. Met SodM vindt overleg plaats.</p> <p>De door de geofoons en accelerometers gemeten seismiciteit wordt geanalyseerd en vergeleken met de op dat moment beschikbare 'Ground Motion Prediction Equations (GMPE)'. Deze analyse wordt met SodM gedeeld.</p> <p>Met SodM wordt afgestemd of waterinjectie gecontinueerd kan worden en/of aanvullende maatregelen noodzakelijk zijn, zoals bijv. het controleren van de put integriteit en de procesinstallatie.</p>

Figuur 2 - 'verkeerslicht'-protocol

5. Wees voorbereid op te nemen maatregelen

Aan criterium 5 is middels dit addendum voldaan. De te nemen maatregelen bij het overschrijden van magnitudes na gemeten seismische activiteit zijn hierboven in het 'verkeerslicht'-protocol beschreven.