

Ondergrondse Gasopslag Norg seismisch risicobeheerssysteem

[blanco]

pag. 2

1 Inhoudsopgave

1	Inhoudsopgave.....	3	pag. 3
2	Inleiding.....	4	
3	Korte beschrijving van de UGS.....	5	
4	Risicoanalyse omtrent geïnduceerde bevingen.....	6	
4.1	Inleiding seismiciteit	6	
4.2	Seismische risico inventarisatie	7	
4.2.1	Seismische dreiging (linker kant van de bow-tie)	8	
4.2.2	Maatregelen om de gevolgen van seismische groundbeweging te beperken	10	
4.2.3	Mogelijke consequentie van een beving (rechterkant van de bow-tie)	11	
5	Seismisch beheersplan.....	13	
5.1	Seismisch risico coördinatieteam (RCT).....	13	
5.2	Metingen.....	13	
5.3	Seismisch risicobeheerssysteem.....	14	
5.3.1	Groen (normaal werkgebied).....	14	
5.3.2	Geel (seismische activiteit)	15	
5.3.3	Oranje (verhoogde seismische activiteit, kans op schade)	15	
5.3.4	Rood (buitenverwachting hoge seismische activiteit, verhoogde kans op schade)	15	
5.4	Rapportage.....	16	
6	Communicatieprotocol	17	
6.1	Acties na melding van beving M=0,5 tot 2,0.....	17	
6.2	Acties na melding van beving M=2,0 tot 2,5.....	17	
6.3	Acties na melding van beving boven 2,5.....	17	
7	Referenties.....	18	
	Bijlage 1 SEISMISCHE RISICOANALYSE	19	
	Bijlage 2 SEISMISCH MEETNETWERK	21	
	Bijlage 3 KWALITEITSBORGING	24	

2 Inleiding

Bij besluit van 26 juni 2014, kenmerk DGETM-EM/14102640, heeft de Minister van Economische Zaken (De “Minister”) ingestemd met een gewijzigd opslagplan ondergrondse gasopslag Norg (UGS Norg) waarbij het maximale werkvolume is uitgebreid van 3 miljard Nm³ naar 7 miljard Nm³.

Bij besluit van 6 augustus 2015, kenmerk DGETM-EO/15103827, heeft de Minister ingestemd met een wijziging van dit opslagplan met betrekking tot de gemiddelde reservoirdruk in een deel (compartiment 2) van het reservoir en zijn aanvullende voorwaarden en beperkingen gesteld. pag. 4

In artikel 10 van dit besluit wordt voorgeschreven dat NAM voor 1 juni 2016 een seismisch netwerk moet inrichten en operationaliseren en, ten genoegen van de Inspecteur-generaal der mijnen, een seismisch risicobeheerssysteem dient op te stellen en functioneel hebben. In een notitie van 26 oktober 2016 (ref. EP201610200550) ter invulling van artikel 12 uit het Instemmingsbesluit van augustus 2015 geeft NAM aan dat het seismisch netwerk is geïnstalleerd en in gebruik genomen is.

Dit document beschrijft het seismisch risicobeheerssysteem, hierin wordt een overzicht gegeven van de mogelijke seismische dreigingen en consequenties doormiddel van een bow-tie analyse. In deze analyse wordt tevens uitleg gegeven over de inschatting van de dreigingen en mogelijk consequenties en een overzicht van de barrières die de dreiging dan wel de consequenties dienen te verminderen.

3 Korte beschrijving van de UGS

De Ondergrondse Gasopslag Norg (UGS Norg) wordt gebruikt voor het leveren van productiecapaciteit ter ondersteuning van het Groningen veld. Daarmee heeft de UGS Norg een cruciale rol in het belevan van de markt op momenten van hoge vraag naar aardgas.

De UGS Norg bestaat uit een bovengrondse gasbehandelingsinstallatie nabij Langelo. Hier wordt het geproduceerde gas behandeld in twee productietreinen en staan drie compressoren opgesteld om het gas te injecteren. In 2014 is begonnen met het uitbreiden van de productie en injectiecapaciteit ter compensatie van de dalende piekcapaciteit van het Groningenveld als gevolg van drukdaling (depletie).

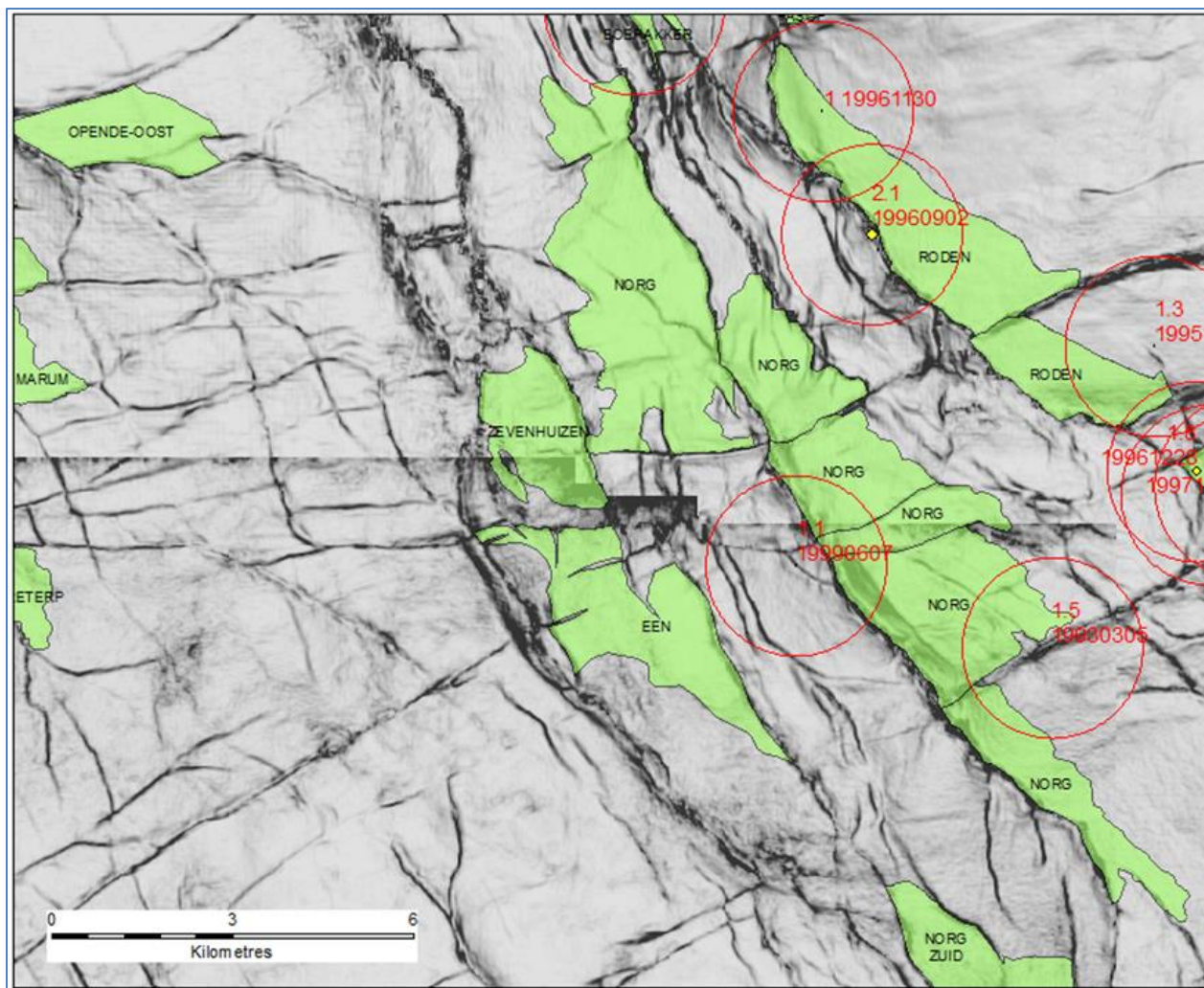
Uit het gasveld Norg is tussen 1983 en 1995 gas geproduceerd, de depletiefase. Na het stopzetten van de gasproductie is het geschikt gemaakt voor ondergrondse gasopslag door het terug op druk te brengen met Groningen gaskwaliteit gas. In 1997 is UGS Norg in bedrijf genomen.

Er zijn twee kleine, niet voelbare bevingen geregistreerd die met een grote waarschijnlijkheid toe te schrijven zijn aan het gasveld Norg. De eerste beving vond plaats tijdens de productieperiode (in maart 1993) en de tweede tijdens het terug op druk brengen (in juni 1999).

4 Risicoanalyse omtrent geïnduceerde bevingen

4.1 Inleiding seismiteit

Aardbevingen kunnen ontstaan door spanningsveranderingen als gevolg van productie of injectie van gas in de diepe ondergrond. Bestaande breukzones in het reservoir kunnen gereactiveerd worden door deze spanningsveranderingen. Wanneer deze re-activatie plotseling plaatsvindt zal dit leiden tot een aardbeving. Er zijn twee kleine bevingen geregistreerd (op 5-3-1993 tijdens de depletiefase met een sterkte van $M=1,5$ en een op 7-6-1999 tijdens de eerste fase van injectie met een sterkte van $M=1,1$) welke toe worden geschreven aan de UGS Norg (Figuur 1). Deze bevingen zijn door niemand gemeld en liggen onder grenswaarden om schade te kunnen veroorzaken. De onzekerheid van de locatie van het epicentrum is relatief groot en ligt rond 1500 meter in dit gebied voor de kleinere bevingen. Met het uitgebreide seismische monitoring netwerk is de onzekerheid van de plaatsbepaling van het epicentrum van een aardbeving verkleind naar ongeveer 500 meter. Ook kunnen met dit netwerk nog kleinere bevingen worden gedetecteerd.



Figuur 1; epicentrum van de twee kleine aardbevingen boven de Norg UGS. De onzekerheid van de locatie ligt rond de 1500 m aangegeven door de rode cirkels in het figuur.

Zolang de gasopslag wordt geopereerd binnen eerder voorgekomen reservoir drukken worden geen trillingen verwacht. De onderbouwing van deze uitspraak wordt toegelicht in het Opslagplan¹ en de bijlagen aan dit Opslagplan. Belangrijk hierin is het feit dat in de afgelopen 17 jaren geen bevingen zijn geregistreerd. Het kan echter niet worden uitgesloten dat bevingen kunnen optreden gedurende de toekomstige operationele fase van de UGS Norg. Daarom is het belangrijk om een beheersplan te zijn overeengekomen voor het geval er toch een beving optreedt.

pag. 7

4.2 Seismische risico inventarisatie

In dit beheersplan is de keuze gemaakt om de inventarisatie van mogelijke seismische dreigingen en gevolgen weer te geven volgens een zogenoemde bow-tie (vlinderdas) model figuur 2 en bijlage 1. Een vlinderdasanalyse (Engels “Bowtie analysis”) is een veelgebruikt instrument om een analyse te maken van gevaren en de gevolgen van gevaren die vrijkomen. Verder maakt het de dreigingen, barrières en consequenties van deze gevaren inzichtelijk en kan op deze manier gevaren beheersbaar maken. De analyse, gegeven in dit risicobeheersplan, beschrijft de dreigingen, barrières, mitigerende maatregelen en mogelijke gevolgen van het vrijkomen van het gevaar van ondergrondse spanningsopbouw in en rondom het voorkomen. In dit geval wordt er specifiek gekeken naar het vrijkomen van deze spanning langs bestaande breukoppervlakken wat kan leiden tot seismische activiteit met mogelijk merkbare seismische groundbeweging.

Ter verduidelijking voor het volgende hoofdstuk en Figuur 2 zullen er een aantal definities in meer detail worden beschreven:

- **Gevaar:** het gevaar is een bron of situatie met de potentie schade of letsel te veroorzaken. In dit geval is het gevaar het opbouwen van spanning in de ondergrond rondom het voorkomen als gevolg van injectie en productie van gas. Het gevaar veroorzaakt pas schade of letsel op het moment dat het vrijkomt, in Bowtie terminologie het beschreven onder het “Top Event”. Er wordt duidelijk onderscheid gemaakt tussen het gevaar en het vrijkomen van het gevaar aangezien het vrijkomen van het gevaar kan worden voorkomen door het aanbrengen van barrières.
- **Top Event:** het vrijkomen van het gevaar dat kan leiden tot letsel of schade, in dit geval een voelbare seismische groundbeweging. Dit vormt het hart of de knoop van de vlinderdas.
- **Dreigingen:** zijn alle situaties of activiteiten die het gevaar tot gevolg kunnen hebben. Op deze situaties kunnen barrières worden aangebracht die het gevaar kunnen voorkomen of verminderen of het vrijkomen van het gevaar kunnen verhinderen. De dreigingen staan altijd links van de vlinderdas weergegeven (rode vlakken in Figuur 2). Tussen de dreigingen en het “top event” van de vlinderdas staan de barrières of preventieve maatregelen vermeld die van toepassing zijn op iedere dreiging (bruine vlakken in Figuur 2).
- **Gevolgen of consequenties:** Gevolgen of consequenties resulteren op het moment dat het gevaar vrijkomt oftewel het “Top Event” heeft plaats gevonden. In dit geval beslaat dit de gevolgen van merkbare seismische groundbeweging als gevolg van gasinjectie en/of productie in de vorm van

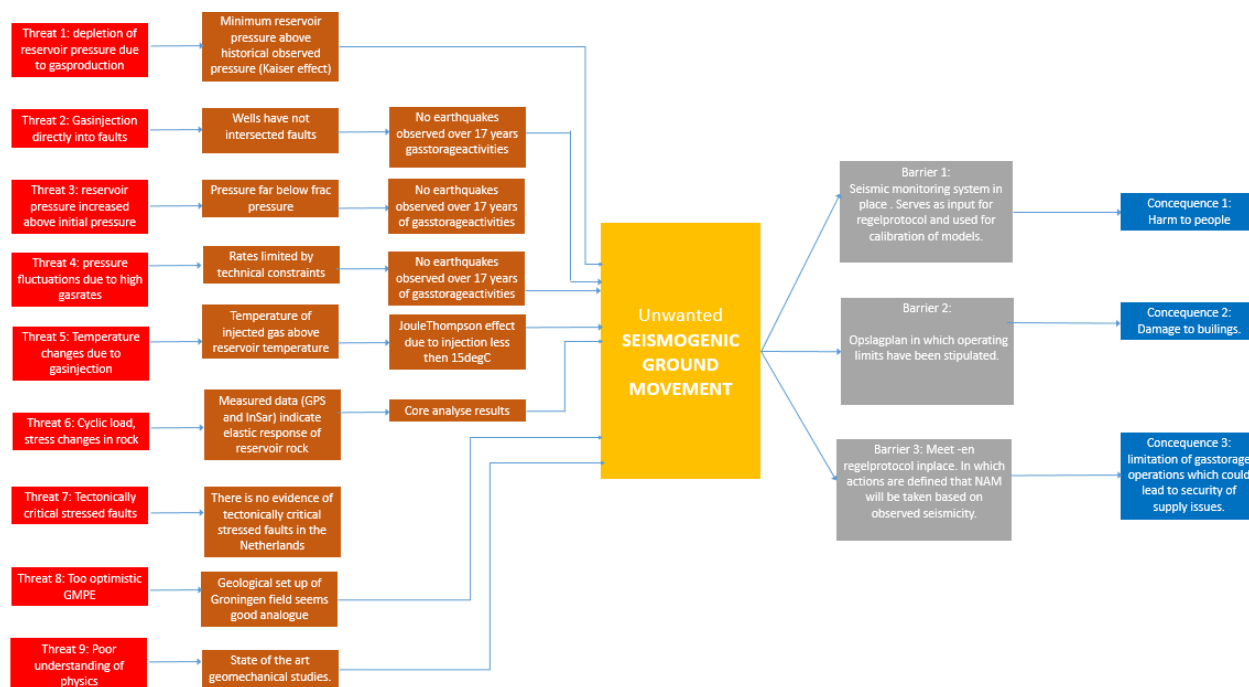
¹ Hier wordt gerefereerd naar het in 2016 herziene UGS Norg Opslagplan.

letsel of schade. Deze gevolgen staan schematisch weergegeven in de blauwe vlakken van Figuur 2.

- Maatregelen: maatregelen worden genomen om te voorkomen dat het vrijkomen van het gevaar kan leiden tot de gevolgen of consequenties (grijze vlakken in Figuur 2).

Het vlinderdas model bevat in dit beheersplan aan de linkerkant de seismische dreiging die wordt bepaald door ondergrondse factoren. De knoop van de vlinderdas wordt beschreven door het optreden van een voelbare seismische trilling. De rechterkant toont de mogelijke gevolgen in het onwaarschijnlijke geval er toch een zwaardere beving optreedt. De ondergrondse dreigingen staan in rood en de gevolgen worden beschreven in de blauwe vakjes aan de rechterkant. De bruine vakjes geven de preventieve maatregelen weer die gelden voor de ondergrond of actief worden ingebracht in het beheersplan om de kans van optreden van een specifieke dreiging te reduceren. De grijze vlakjes tonen de maatregelen om de gevolgen te beperken.

Iedere dreiging in de bow-tie is volgens een beredeneerde kans ingeschat. Vervolgens is gekeken naar de actieve barrières die ingebouwd kunnen worden om ervoor te zorgen tot de uiteindelijk gevolgen een verwaarloosbare tot lage kans krijgen.



Figuur 2; Bow-tie risico analyse seismisch event.

4.2.1 Seismische dreiging (linker kant van de bow-tie)

Dreiging 1: depletie van reservoirdruk door gasproductie kan leiden tot spanningsopbouw op de in reservoir aanwezige breuken. Wanneer deze breuken kritisch gespannen zijn kan deze spanning ontladen worden middels bevingen, wat leidt tot het genereren van een seismische grondbeweging. De eerste barrière welke dient ter verkleining van de kans op het opbouwen van spanning op breuken is het hanteren

van een minimum reservoirdruk. De minimaal te hanteren reservoirdruk wordt beschreven in het Opslagplan.

Dreiging 2: injectie van aardgas in een bestaande breuk in het reservoirgesteente kan leiden tot destabilisatie van deze breuk een aardbeving genereren. Directe injectie in een breuk dient daarom vermeden te worden. Voor UGS Norg wordt vastgesteld dat geen van de in het voorkomen geboorde putten een breukvlak doorkruist in het reservoir. Verder geldt dat de minimale afstand tot een (seismologisch zichtbare) breuk voor alle putten minimaal 100 meter bedraagt. Er wordt niet verwacht dat de breuken seismisch gereactiveerd zullen worden. Basis voor deze verwachting is het feit dat er gedurende de afgelopen 17 jaren van gasopslagactiviteiten in UGS Norg gas is geïnjecteerd in de putten en dat dit in deze periode niet heeft geleid tot seismische grondbeweging. Daarnaast kan op basis van de reservoir eigenschappen van UGS Norg worden berekend dat, als gevolg van de radiale uitstroming, ongeveer 80 procent van het verschil tussen de putdruk en de gemiddelde reservoirdruk is vereffend op een afstand van 25 meter van de put waardoor verwacht wordt dat de drukgradient ter hoogte van de breuk grotendeels vereffend is. pag. 9

Dreiging 3: de reservoirdruk overschrijdt de initiële reservoirdruk wat zou kunnen leiden tot beschadiging van de afdekkende gesteentelaag of van het reservoirgesteente. De maximale reservoirdruk ligt ver beneden de druk (minimale horizontale spanning) waarbij scheurvorming kan worden veroorzaakt in zowel de afdekkende gesteentelaag als ook in het reservoirgesteente. Gedurende de afgelopen 17 jaren van gasopslagactiviteiten in UGS Norg is de reservoirdruk hoger geweest dan de initiële reservoirdruk wat niet heeft geleid tot scheurvorming in de afdekkende gesteentelaag of seismische grondbeweging.

Dreiging 4: drukschommelingen als gevolg van hoge gasstroomsnelheden kan resulteren in spanningsverandering in het reservoirgesteente en zouden kunnen leiden tot seismische grondbewegingen. De gasstroomsnelheden worden gelimiteerd door het ontwerp van de putten en de bovengrondse installatie waarin zich de hoogste gassnelheden voordoen. De maximale productiecapaciteit neemt af naarmate de reservoirdruk lager wordt. De berekende gasstroomsnelheden nemen bij afnemende reservoir druk en gelijkblijvende capaciteit toe tot een maximumwaarde, waarna de gasstroomsnelheid (als gevolg van dalende capaciteit) weer afneemt. De gasstroomsnelheden die na de uitbreiding van de gasopslagcapaciteit in 2014 zijn opgetreden hebben niet geleid tot aardbevingen. Vergroting van het werkvolume leidt niet automatisch tot verhoging van de gasstroomsnelheid.

Dreiging 5: temperatuurveranderingen kunnen leiden tot spanningsveranderingen in het gesteente en zouden kunnen leiden tot aardbevingen. De temperatuur van het geïnjecteerde gas ligt net boven de temperatuur in het reservoir en daarmee zullen er geen thermische spanningen worden veroorzaakt waardoor het reservoir gevoeliger wordt voor bevingen. Afkoeling van het gas als gevolg van drukval en expansie (Joule Thomson effect) is beperkt tot maximaal 15 graden.

Dreiging 6: cyclische drukveranderingen zouden kunnen leiden tot spanningsveranderingen in het gesteente met als gevolg een seismische grondbeweging. De door GPS en InSar gemeten bodembewegingen wijzen op een elastisch gedrag van het gesteente waardoor de kans op aardbevingen kleiner wordt. Laboratoriumtesten van het gesteente bevestigen deze waarneming (Shell, 2008).

Dreiging 7: tektonisch kritisch gespannen breuken zouden kunnen worden getriggerd door de gasopslagactiviteiten. De kans op kritisch gespannen breuken is klein in Nederland en Norg wat wordt

bevestigd door de observatie dat de eerste bevingen in een depleterend gasveld pas optreden wanneer er een aanzienlijke drukval heeft plaatsgevonden (van Eijs et al, 2006).

Dreiging 8: de grootte van grondbeweging als gevolg van een aardbeving kan onderschat worden, door een onjuiste inschatting van het ondergrondmodel dat voorspelt hoe een aardbeving resulteert in trillingen aan het aardoppervlak. Dit model wordt beschreven door een “ground motion prediction equation (GMPE)”. Door het seismisch monitoring netwerk geregistreerde grondbewegingsdata zal gebruikt worden voor validatie van de GMPE. pag. 10

Dreiging 9: het aantal boven UGS Norg geregistreerde aardbevingen is te klein waardoor geomechanische modellen en seismologische modellen niet gekalibreerd en gevalideerd kunnen worden, daarmee is kwantificatie van seismisch risico lastig. Doormiddel van maatregelen die beschreven staan in het seismisch risicobeheerssysteem kan worden ingegrepen wanneer seismiciteit boven UGS Norg zou toenemen.

Threats	Reasoning for threat	Likelihood	Reasoning for likelihood	Barrier	Remaining likelihood	Reasoning for likelihood
1	induced seismicity is observed in depleted gas fields as well as in gas storage fields in the Netherlands. Historically two seismic events were registered above Norg field	high	seismic events observed in gas fields in the Netherlands	minimum reservoir pressure limitation in opslagplan	low	no seismicity observed during 17 years of gas storage operation
2	induced seismicity is observed in fields in which gas is injected	medium	few seismic events observed during injection in reservoirs in the Netherlands	maximum reservoir pressure limitation in opslagplan. Rates limited by surface constraints.	low	no seismicity observed during 17 years of gas storage operation
3	operation above initial pressure could lead to induced seismicity	low	seismicity due to over pressurisation observed in the world, not in UGS Norg	maximum reservoir pressure limitation set in Opslagplan, and maximum pressure limited by surface constraints.	low	no seismicity observed during 17 years of gas storage operation even in cycles with local pressure above initial reservoir pressure.
4	impact of strong pressure fluctuations on fault stability	low	no seismicity observed over 17 years of gas storage operation	seismic monitoring system including reporting	low	no seismicity observed during 17 years of gas storage operation
5	strong temperature changes of the rock could lead to stress changes.	low	injected gas is cooled down to temperatures equal to reservoir temperature. Joule Thompson effect is limited to maximum of 15degC.	monitoring and process safety controls	neglectable	
6	deterioration of rock strength due to cyclic loading	low	extensive core testing executed, no seismic activity observed	seismic monitoring system including reporting	low	no seismicity observed during 17 years of gas storage operation
7	(tectonically) critically stressed faults triggered by small stress changes	low	no tectonically critically stressed faults in Netherlands			
8	underestimation of the effect of an earthquake on ground motion	low	geological setting of Norg field (Rotliegendes with overlaying Zechstein salt) similar to Groningen field with calibrated GMPE.	seismic monitoring system including accelerometer and reporting	low	
9	wrong prediction of future behaviour	medium	first model based on fundamentals, earthquake catalogue to calibrate model is limited (2 events).	seismic monitoring system including reporting and possibility to update seismological models	low	

Tabel 1; Overzicht van de dreigingen die zijn voortgekomen uit de risicoanalyse en opgenomen in de bow-tie

4.2.2 Maatregelen om de gevolgen van seismische grondbeweging te beperken

Maatregel 1: er is een seismisch monitoring en seismisch beheersplan ingericht die bedoeld zijn om vroegtijdig trends te identificeren en hierop maatregelen te treffen. De maatregelen die NAM neemt worden beschreven in het seismisch beheersplan. De meetgegevens uit het seismische monitoringsysteem worden gebruikt om de relatie tussen aardbevingskracht en grondbeweging vast te stellen. Hiermee kan de GMPE worden gevalideerd.

Maatregel 2: in het Opslagplan zijn de limieten gedefinieerd waarbinnen de UGS Norg geopereerd kan worden. De limieten zijn gebaseerd op historische gegevens zoals gemiddelde voorkomen drukken en

drukken binnen verschillende compartimenten van het voorkomen. De gemiddelde druk in het voorkomen en de drukken in de verschillende compartimenten van het voorkomen zijn in de afgelopen decennia nauwkeurig bepaald door middel van observatieputten en drukken afgeleid uit injectie en productieputten. De balans over het veld wordt continue bewaakt waardoor drukverschillen binnen verschillende compartimenten beperkt blijven tot niveaus die eerder zijn gebruikt. Binnen deze drukgrenzen is gebleken dat de seismische activiteit laag is gebleven.

pag. 11

Maatregel 3: Wanneer wordt uit gegaan dat aardbevingen passen binnen een Gutenberg-Richter relatie² wordt het seismisch beheersplan en de acties die hierin beschreven staan gezien als een maatregel om gevolgen van seismische groundbeweging te beperken.

4.2.3 Mogelijke consequentie van een beving (rechterkant van de bow-tie)

Hoewel er sinds de start van de productie in 1983 geen bevingen zijn geregistreerd die tot schade konden leiden is kunnen mogelijke bevingen niet worden uitgesloten en is er in de analyse nagedacht over mogelijke gevolgen.

4.2.3.1 Veiligheid

De kans dat een mogelijke beving een gevaar oplevert voor de veiligheid wordt als zeer klein ingeschat. Allereerst wordt de kans op een mogelijke beving als zeer laag ingeschat, waarbij geldt dat de kans op een grote beving zelfs met enkele ordegrottes lager ligt, wanneer de aardbevingen passen binnen een Gutenberg-Richter relatie. De realistisch sterkste aardbeving is bepaald op basis van de methodes zoals genoemd in de leidraad Seismische Risico Analyse (SodM, 2016) en ligt tussen de magnitude 3,6 en 4,0. Bevingen van deze grootte hebben niet de potentie om gebouwen in te laten storten, mits de gebouwen in goede staat³ zijn en derhalve vormt instorting van gebouwen geen bedreiging voor de veiligheid. Daarnaast kan niet worden uitgesloten dat loszittende of wankelende objecten als gevolg van een aardbeving los kunnen komen en tot een veiligheidsrisico kunnen leiden, de kans hierop wordt als zeer klein ingeschat op basis van de analyse die is uitgevoerd in Groningen⁴. De kans dat de realistisch sterkste aardbeving daadwerkelijk optreedt in Norg is kleiner dan 1% op basis van observaties boven de Nederlandse gasvelden.

4.2.3.2 Schade

Geconstateerd wordt dat boven UGS Norg geen enkele beving groter dan $M=1,5$ heeft plaatsgevonden. De twee kleine bevingen die geregistreerd zijn gedurende de totale levensduur (34 jaren) van de UGS zijn voor zover bekend niet gevoeld en hebben niet geleid tot schademeldingen.

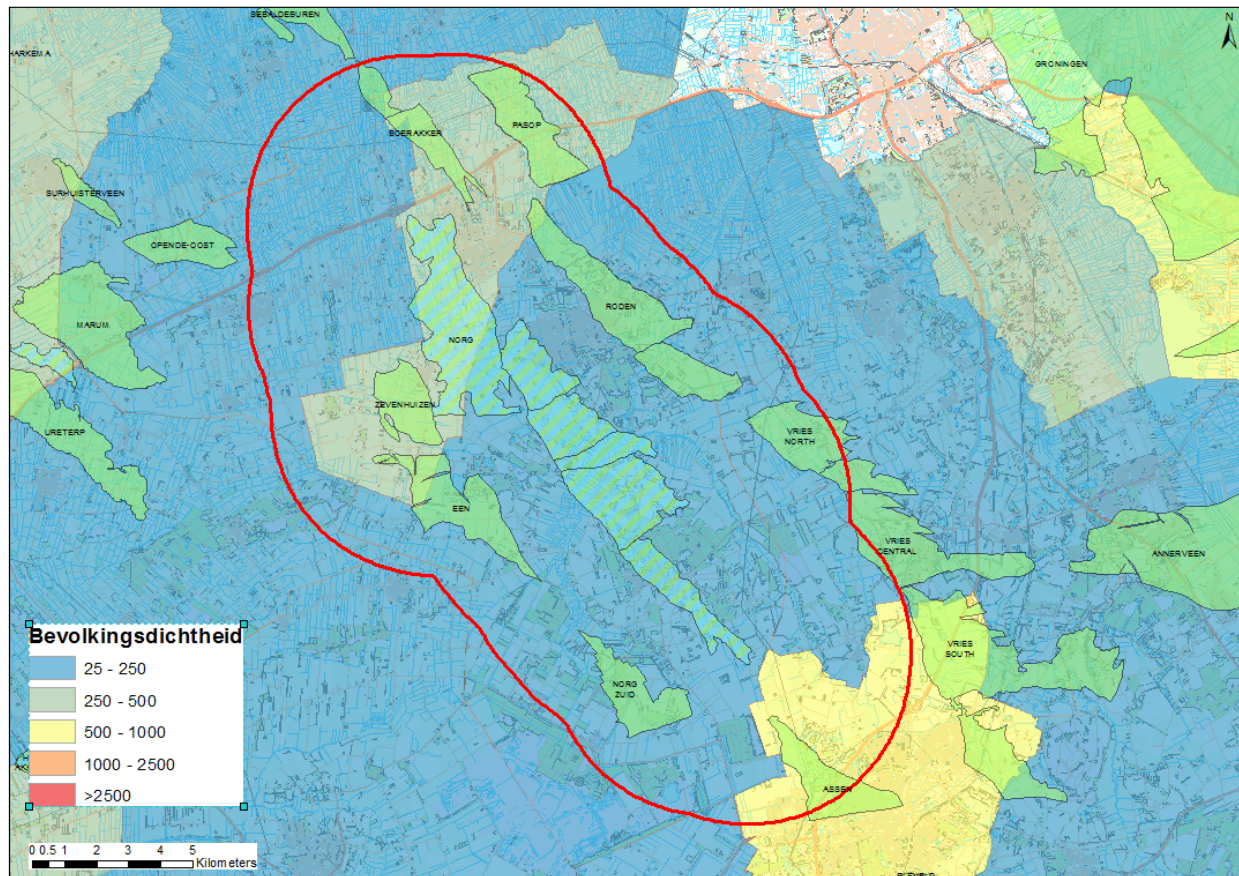
² Een algemeen geldige relatie tussen aardbevingsmagnitudes en frequentie van bevingen. Wanneer alle bevingen van de kleine velden bij elkaar één aardbevingscatalogus vormen, wordt aan deze relatie voldaan. Echter het Bergermeer veld is een voorbeeld waar slechts enkele zware bevingen zijn opgetreden zonder waarneming van vele lichtere bevingen. Uitzonderingen op de Gutenberg-Richter relatie kunnen dus voorkomen, maar zijn niet waarschijnlijk.

³ NAM gaat ervanuit dat gebouwen voldoen aan de minimale eisen met betrekking tot veiligheid zoals die gesteld zijn in het Bouwbesluit 2012 en zoals vernoemd in artikel 1b, lid 2 en artikel 2 van de Woningwet.

⁴ Hiervoor wordt verwezen naar het in het kader van het Groningen Study- en Data Acquisition Program opgestelde rapport *Risk Assessment of Falling Hazards in Earthquakes in the Groningen region* door T.Tai en F.Pickup (TTAC Ltd) uit maart 2016.

Hoewel de kans als zeer klein wordt geschat, kan schade als gevolg van seismiciteit niet geheel worden uitgesloten. Op basis van de huidige inzichten is daarbij de verwachting dat deze schade beperkt zal blijven tot kleine scheuren in de muren (niet structurele schade). In sommige gevallen kan dit leiden tot matige schade (lees, grotere scheuren in muren tot constructieve schade aan enkele gebouwen). Om te bevestigen dat er slechts in geringe mate seismische activiteit optreedt boven de UGS Norg heeft NAM het seismisch netwerk boven UGS Norg uitgebreid.

pag. 12



Figuur 3; Kaart van de bevolkingsdichtheid boven en rondom de Norg UGS.

5 Seismisch beheersplan

Het doel van een seismische beheersplan is om bodemtrillingen en mogelijke consequenties zo veel mogelijk te reduceren. In dit plan wordt vastgelegd wat er gemeten wordt, wat er met de gegevens wordt gedaan en welke situaties aanleiding geven tot het nemen van een mitigerende actie. Voor dit beheersplan is gekozen voor de aanpak met de zogenaamde "verkeerslicht" methode. Deze methode wordt ook gehanteerd bij de Ondergrondse Gasopslag Bergermeer en de Twente waterinjectie van geproduceerd water afkomstig van de oliewinning in het Schoonebeek veld en is wereldwijd breed gedragen. In het communicatieprotocol staat beschreven op welke manier met de omgeving en stakeholders wordt gecommuniceerd na registratie van een aardbeving.

pag. 13

De detectiegrens van het seismische netwerk is zodanig dat elke aardbeving vanaf 0,5 op de schaal van Richter geregistreerd en gelokaliseerd kan worden. De verwachting is dat een aardbeving kleiner dan $M < 1,5$ niet gevoeld zal worden en niet tot schade zal leiden. Aardbevingen groter of gelijk aan 2,0 kunnen mogelijk tot lichte schade leiden in enkele gebouwen, en aardbevingen groter of gelijk aan 2,5 mogelijk tot lichte schade in meerdere gebouwen. De maximale theoretische aardbeving is bepaald op basis van de methodes zoals genoemd in de leidraad Seismische Risico Analyse (SodM, 2016) en ligt tussen de magnitude 3,6 en 4.

5.1 Seismisch risico coördinatieteam (RCT)

Een multidisciplinair seismisch risico coördinatieteam (RCT) samengesteld uit experts van NAM houdt zich bezig met het meet-en regelproces als ook de rapportage hierover. Het RCT komt maandelijks en na elk geregistreerd seismisch event bij elkaar. Notulen van deze overleggen worden opgeslagen. De onderwerpen die in het maandelijks overleg worden behandeld zijn:

- Door KNMI geregistreerde en gelokaliseerd seismische activiteit analyseren met het doel om eventuele patronen tussen productie of injectie en de ligging van breuken in kaart te brengen.
- De waargenomen productie -en injectiegegevens als ook druk- en temperatuur gegevens worden vergeleken met de berekende drukken in de verschillende reservoir blokken.

Het RCT draagt zorg voor de rapportages waarin de gegevens van de gemeten parameters geïntegreerd zijn, inclusief mogelijke correlaties tussen de waargenomen bevingen, ligging van de breuken en drukken in het reservoir.

5.2 Metingen

De volgende meetgegevens worden gebruikt bij de analyse van bodemtrillingen boven het reservoir:

- Seismische activiteit gemeten met seismische meetstations van het KNMI bestaande uit geofoons die aardbevingen lokaliseren en acceleratiemeters die de versnelling aan het aardoppervlakte meten.
- Volumina, snelheden en temperatuur van gasinjectie en productie per put, de individuele (per put) als ook de totale injectie- en productiesnelheden worden permanent gemeten.
- Het reservoirmodel wordt gebruikt om maandelijks reservoirdrukken te berekenen en vergeleken met de gemeten (putmond) drukken.
- Meetgegevens opgenomen in de monitoringputten (druk -en waterniveaumetingen)

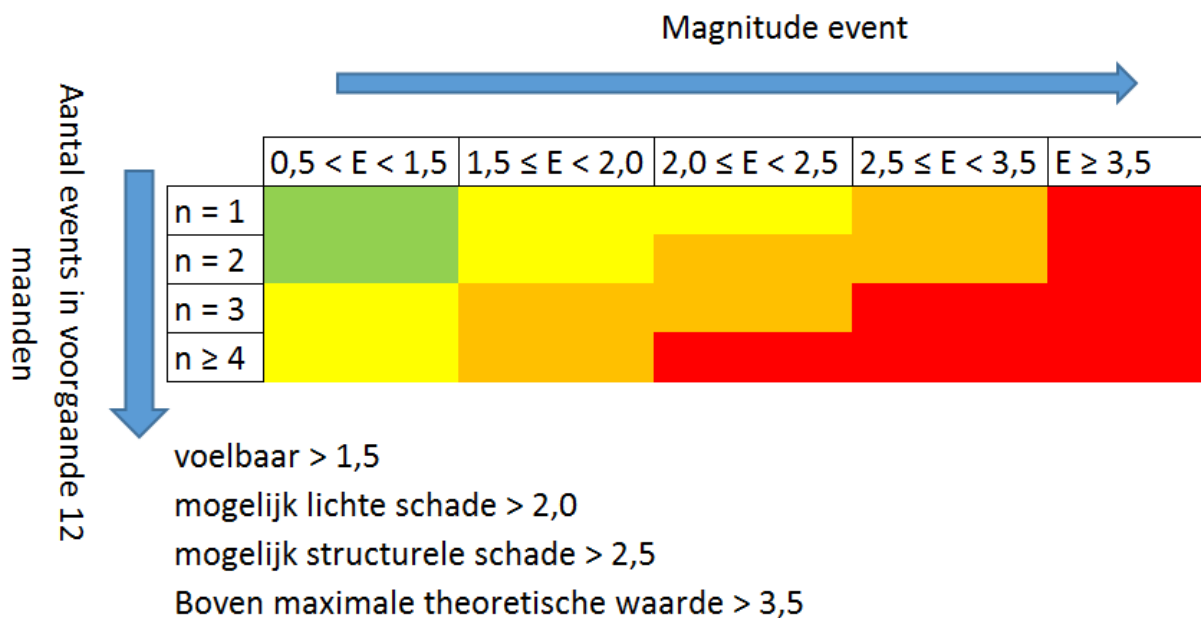
- Bodembewegingen aan de oppervlakte worden conform het Meetplan (volgens artikel 30 lid 6 Mijnbouwbesluit) gemeten met waterpassing, GPS en INSAR.

5.3 Seismisch risicobeheerssysteem

pag. 14

In dit seismische risicobeheerssysteem is vastgelegd welke acties genomen zullen worden wanneer een bepaalde mate van seismische activiteit gemeten wordt. De mate van seismiciteit wordt uitgedrukt door een combinatie te maken van het aantal waarnemingen in de voorgaande 12 maanden en de waargenomen magnitudes. Figuur 4 toont de matrix waarin de combinaties zijn vastgelegd, waarbij de horizontale as de waargenomen magnitude aangeeft en de verticale as het aantal bevingen in de voorgaande 12 maanden.

De kwaliteit van dit seismisch risicobeheerssysteem wordt geborgd door het NAM ISO 14001 bedrijfsvoeringssysteem. Het bedrijfsvoeringssysteem is voornamelijk gericht op de aantoonbare beheersing van de bedrijfsprocessen. Voor elk bedrijfsproces is een op risico's (waaronder risico's voor het milieu) gebaseerd raamwerk van beheersmaatregelen opgesteld (Process Management System). Nadere beschrijving van het borgingsysteem is opgenomen in bijlage 1.



Figuur 4; Seismische beheersplan matrix.

Hieronder wordt beschreven welke acties er worden genomen voor de verschillende kleuren in de matrix.

5.3.1 Groen (normaal werkgebied)

- NAM registreert en evalueert productie en injectiegegevens. Het RCT komt maandelijks bijeen.
- De seismische monitoringstations zijn operationeel en sturen continu data aan KNMI. Geregistreerde aardbevingen worden vermeld op de website van KNMI.

- Ontwikkelingen in het patroon van seismische waarnemingen (zoals het ontstaan van een trend van kleine niet voelbare trillingen) kunnen aanleiding zijn voor aanpassingen in het injectie/productie patroon in de meest ruime interpretatie, met als doel deze ontwikkelingen te veranderen.
- Het magnitude niveau $M=1,5$ geldt als bovengrens van niveau 'groen'.

pag. 15

5.3.2 Geel (seismische activiteit)

Bij bevingen met een magnitude groter dan $M \geq 1,5$ of als het patroon van de niet voelbare waarnemingen (magnitude, frequentie en locatie) daartoe aanleiding geeft, geldt niveau 'geel'. Op dat moment worden de volgende acties genomen:

- Binnen 48 uur of op de eerste werkdag nadat de aardbeving is geregistreerd boven de UGS Norg komt het RCT bijeen. De productie- en injectiegegevens, de gegevens van het seismische meetnetwerk en de reservoirmodeluitkomsten worden verzameld en geanalyseerd.
- De plaats van de aardbeving zal vergeleken worden met het geologische model, de locatie van putten en breuken.
- Rapportage van de analyse zal met SodM gedeeld worden en beschikbaar gemaakt op de NAM-website.

5.3.3 Oranje (verhoogde seismische activiteit, kans op schade)

Bij het optreden van aardbevingen boven de $M=2,5$ of als het patroon van de niet voelbare waarnemingen (magnitude, frequentie en locatie) daartoe aanleiding geeft, treedt niveau 'oranje' in werking. Op dat moment worden de volgende acties genomen:

- Het SBRT komt met grootst mogelijke spoed (binnen 24 uur) bij elkaar om aanbevelingen te formuleren.
- NAM informeert het ministerie van Economische Zaken en SodM.
- NAM treft voorbereidingen om het injectie/productiepatroon aan te passen.
- NAM verzorgt de communicatie volgens het communicatieprotocol naar de betrokken overheden en omwonenden. NAM kondigt aan hoe eventuele schade kan worden gemeld zoals is vastgelegd in haar schadeprotocol.
- Rapportage van de analyse zal met SodM gedeeld worden en beschikbaar gemaakt op de NAM-website.

5.3.4 Rood (buitenverwachting hoge seismische activiteit, verhoogde kans op schade)

Bij het optreden van aardbevingen boven de $M=3,5$ of als het patroon van de seismische waarnemingen (magnitude, frequentie en locatie) daartoe aanleiding geeft, treedt niveau 'rood' in werking. Op dat moment worden de volgende acties genomen:

- NAM informeert het ministerie van Economische Zaken en SodM.
- NAM zal de injectie of productie (wanneer de leveringszekerheid niet in gevaar wordt gebracht) tot nader order stoppen.
- Het RCT en CMT (Crisis Management Team) komen met grootst mogelijke spoed (binnen 24 uur) bij elkaar.
- Er wordt een herbeoordeling gemaakt van het seismisch risico. Aanvullende condities en beperkingen zullen worden formuleert en gecommuniceerd waarna NAM de injectie of productie zal hervatten.
- NAM verzorgt de communicatie naar de betrokken overheden en omwonenden. Daarbij kondigt NAM aan hoe eventuele schade kan worden gemeld zoals is vastgelegd in haar schadeprotocol.

5.4 Rapportage

NAM levert jaarlijks voor 31 december een rapportage aan het Ministerie van Economische Zaken en SodM met daarin het aantal en detailinformatie van geregistreerde aardbevingen boven de UGS Norg. Op basis van de seismische meetdata zal een analyse worden gemaakt, waarbij het productie en injectiepatroon als mede de reservoirdruk wordt betrokken. pag. 16

NAM levert een maandelijkse rapportage aan het Ministerie van Economische Zaken en SodM met daarin de bodembeweging meetresultaten (Continue GPS hoogtemetingen NAM Norg, GPS Meetregisters Norg, <http://nlog.nl/geodetische-meetregisters-en-gps-metingen>).

NAM levert een maandelijkse rapportage aan het Ministerie van Economische Zaken met daarin de totaal in de UGS Norg geproduceerde en/of geïnjecteerde volumes (volgens artikel 111 en 112 van het Mijnbouwbesluit).

NAM levert jaarlijks voor 31 december een rapportage aan het Ministerie van Economische Zaken en SodM waarin per maand en per put de gemeten productie- en injectiegegevens, putmondrukken en putmondtemperaturen, de maximuminjectiesnelheden, en de berekende reservoirdrukken zijn benoemd (volgens Instemmingsbesluit van augustus 2015, kenmerk DGETM-EO/15103827).

Jaarlijkse rapportage van waargenomen seismische activiteit, de resultaten van de analyses zullen worden overlegd aan het ministerie van Economische Zaken en beschikbaar gemaakt worden op de website van NAM.

NAM zal in de regio, indien daar behoefte voor bestaat, regelmatig bijeenkomsten organiseren over de bodembeweging boven de UGS Norg. Tijdens deze bijeenkomsten zullen de resultaten van de seismische monitoring en de interpretatie van de gegevens in relatie tot de gasopslag besproken worden met belanghebbenden in de regio.

6 Communicatieprotocol

NAM heeft een communicatieprotocol opgesteld waarin de acties en communicatiestappen worden beschreven nadat een aardbeving wordt geregistreerd.

6.1 Acties na melding van beving M=0,5 tot 2,0

Bij een melding van een aardbeving met een magnitude tussen 0,5 en 2,0 aan de NAM Centrale Meldkamer pag. 17 (CMK) worden de volgende stappen genomen.

- Emergency Crisis Team (ECT) en seismisch Risico Coördinatie Team (RCT) worden geïnformeerd.
- Op de KNMI-website (www.knmi.nl) verschijnt informatie over de geregistreerde aardbeving.

6.2 Acties na melding van beving M=2,0 tot 2,5

Het is aannemelijk dat een beving vanaf magnitude 2,0 voelbaar is voor inwoners en mogelijk schade aan gebouwen kan veroorzaken. Bij een melding van een aardbeving met een magnitude tussen 2,0 en 2,5 volgen de volgende stappen genomen

- ECT en RCT worden geïnformeerd.
- Op de KNMI-website (www.knmi.nl) verschijnt informatie over de geregistreerde aardbeving.
- NAM maakt melding van de aardbeving op haar website www.nam.nl en wijst op mogelijkheid voor melden van schade via www.nam.nl.
- NAM informeert autoriteiten
 - Gemeente(n) i.c. burgemeester in/ nabij het epicentrum.
 - SodM en Ministerie van Economische Zaken.
- De Veiligheidsregio en betrokken (crisis-)partners worden betrokken in de organisatie van aardbeving crisisbeheersing, e.e.a. conform het incidentbestrijdingsplan van de Veiligheidsregio.
- NAM laat schadegevallen onderzoeken door een extern expertisebureau.

6.3 Acties na melding van beving boven 2,5

Het is aannemelijk dat een beving vanaf magnitude 2,5 schade aan gebouwen veroorzaakt en wordt waargenomen door een groot aantal inwoners. Bij een melding van een aardbeving met een magnitude boven 2,5 volgen de volgende stappen

- ECT, Crisis Management Team (CMT) en CRT worden geïnformeerd.
- Op de KNMI-website (www.knmi.nl) verschijnt informatie over de geregistreerde aardbeving.
- NAM maakt melding van de aardbeving op haar website www.nam.nl en wijst op mogelijkheid voor melden van schade via www.nam.nl.
- NAM informeert autoriteiten
 - Gemeente(n) i.c. burgemeester in/ nabij het epicentrum.
 - SodM en Ministerie van Economische Zaken.
 - Gedeputeerde Provincie
- De Veiligheidsregio en betrokken (crisis) partners worden betrokken in de organisatie van aardbeving crisisbeheersing, e.e.a. conform het incidentbestrijdingsplan van de Veiligheidsregio.
- NAM activeert extra capaciteit voor schadeafhandelingen om meldingen goed af te handelen (bijvoorbeeld telefoonteam).
- NAM laat schadegevallen onderzoeken door extern expertisebureau.
- I.o.m. met betrokkenen (Veiligheidsregio) neemt NAM-actie op maat. NAM activeert response team dat na bevinding van zaken gerichte actie onderneemt op veiligheid, schade, en informatievoorziening voor inwoners in de dagen na de aardbeving.

7 Referenties

Shell (2008) Cyclic Compaction Experiments on Samples from Norg-5. EP 2008-5189

Van Eijs, R.M.H.E., Mulders, F.M.M., Nepveu, M., Kenter, C.J., Scheffers, B.C. (2006) Correlation between hydrocarbon reservoir properties and induced seismicity in the Netherlands. Engineering Geology, Volume 84, Issues 3–4, 16 May 2006, Pages 99-111

pag. 18

SodM (2016) Methodiek voor risicoanalyse omtrent geïnduceerde bevingen door gaswinning. Tijdelijke leidraad voor adressering mbb. 24.1.p, versie 1.2.

<http://www.nlog.nl/ge%C3%AFnduceerde-seismiciteit>

TNO-rapport NITG 04-171-C. Van Eijs, 2004. Deterministische hazard analyse voor geïnduceerde seismiciteit

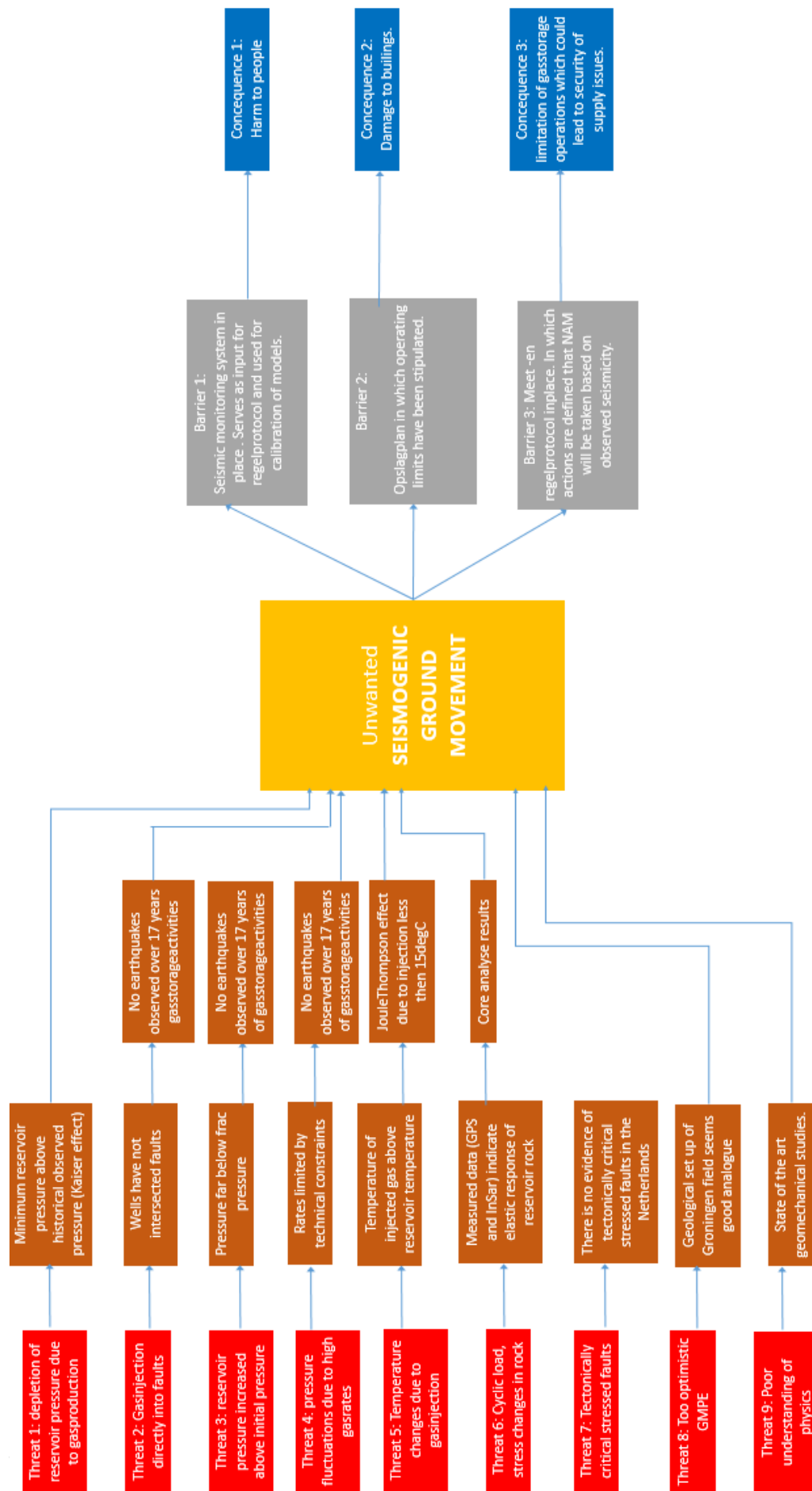
TNO-rapport 2012 R10198. Van Thienen, 2012. Deterministische hazard analyse voor geïnduceerde seismiciteit in Nederland.

Maandelijkse rapportage Continue GPS hoogtemetingen NAM Norg, GPS Meetregisters Norg,

<http://nlog.nl/geodetische-meetregisters-en-gps-metingen>

Bijlage 1 SEISMISCHE RISICOANALYSE

pag. 19



Bijlage 2 SEISMISCH MEETNETWERK

Seismisch meetnetwerk

Geïnduceerde seismiciteit is voor het eerst in 1986 geobserveerd in Nederland. De overheidsinstantie die zich bezighoudt met het meten en analyseren van seismische activiteit in Nederland is het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI). Zij registreert (geïnduceerde) seismische activiteit met behulp van diverse geofoon- en versnellingsmeternetwerken die in de afgelopen decennia uitgebreid en verbeterd zijn. Met het bestaande seismische meetnetwerk van KNMI zijn in 1993 en 1999 twee kleine aardbevingen geregistreerd die gerelateerd kunnen worden aan het voorkomen Norg. Er zijn geen meldingen bekend bij het KNMI van mensen die deze bevingen gevoeld hebben. pag. 21

Het KNMI opereert het seismische netwerk en rapporteert de meetgegevens daaruit. Voor elke beving die geregistreerd wordt, wordt de magnitude en de locatie van het epicentrum vastgesteld. Voor elke beving met een magnitude van $M \geq 2,0$ wordt naast magnitude en plaatsbepaling ook de grondversnelling (PGA of Peak Ground Acceleration) gerapporteerd.

In 2016 is het bestaande seismische meetnetwerk in de omgeving van de ondergrondse gasopslag Norg uitgebreid met een meetsysteem dat een vergelijkbare gevoeligheid en nauwkeurigheid biedt als het systeem dat boven het veld Groningen is geïnstalleerd. Ontwerpdoelstelling van dit meetnetwerk was het kunnen detecteren en lokaliseren van alle aardbevingen met een magnitude van $M \geq 0,5$ met een plaatsbepalingsnauwkeurigheid van 500 meter voor het epicentrum. Bovendien zijn de meetstations uitgerust met een versnellingsmeter om de relatie tussen grondversnelling en beving vast te kunnen stellen.

Het ontwerp van het meetnetwerk wordt beschreven in het Rapport “Report on the design calculations for a passive seismic monitoring array over Norg UGS”, uit september 2015. Op basis van het gerealiseerde ontwerp wordt geschat dat de detecteerbare magnitude rond het reservoir $M \geq 0,35$ is, en de verwachte nauwkeurigheid in de locatiebepaling van het epicentrum aanzienlijk lager dan 500 meter is.

Eventuele metingen met dit geofoonnetwerk zijn gekoppeld aan het seismisch risicomanagement systeem. Dit risicomanagement plan koppelt observaties (lees: geregistreerde bevingen) aan beschermende maatregelen (Fig. 4). Het op voorhand vaststellen wat, in het geval van een beving, mogelijke waarneembaar is aan de oppervlakte is zeer moeilijk omdat er voor dit gebied slechts twee seismische waarnemingen zijn. Op het moment dat een beving optreedt zou die vergeleken kunnen worden met op dat moment beschikbare ‘Ground Motion Prediction Equations (GMPE)’ om op basis daarvan een betere risicoanalyse te doen met betrekking tot schade en veiligheid.

Uitbreiding van het meetnetwerk

De uitbreiding van het meetnetwerk bestaat uit drie seismische meetstations, elk seismisch meetstation bestaat uit vier op diepte geplaatste (50, 100, 150 en 200 meter) 3-componenten geofoons, een bovengronds geplaatste versnellingsmeter en communicatieapparatuur, zie Tabel 2 en Figuur 5.

Code: NL.N01			
Latitude 53.1185 °			
Longituc 6.4733 °			
Level	Depth	Unit	Sensor
N010	0	M/S^2	EpiS
N011	50	M/S	SM6H
N012	100	M/S	SM6H
N013	150	M/S	SM6H
N014	200	M/S	SM6H

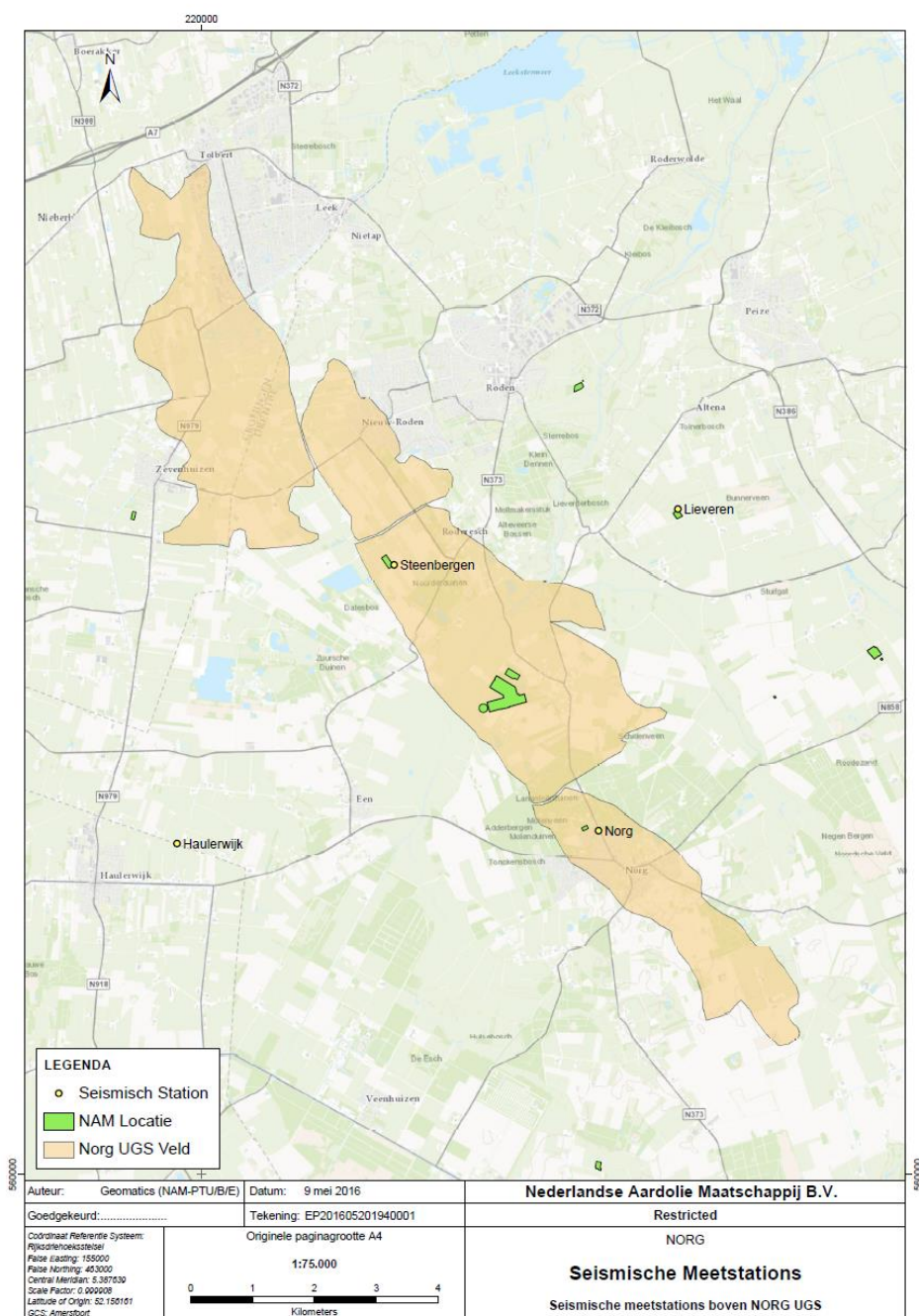
Code: NL.N02			
Latitude 53.072 °			
Longituc 6.453 °			
Level	Depth	Unit	Sensor
N020	0	M/S^2	EpiS
N021	50	M/S	SM6H
N022	100	M/S	SM6H
N023	150	M/S	SM6H
N024	200	M/S	SM6H

Code: NL.N03			
Latitude 53.111 °			
Longituc 6.4045 °			
Level	Depth	Unit	Sensor
N030	0	M/S^2	EpiS
N031	50	M/S	SM6H
N032	100	M/S	SM6H
N033	150	M/S	SM6H
N034	200	M/S	SM6H

ag. 22

Tabel 2 Gegevens van het nieuwe Norg seismisch monitoring netwerk.

Het seismische meetnetwerk wordt geopereerd en onderhouden door het KNMI in de Bilt. De meetdata worden "real-time" verstuurd naar het KNMI, waar de data wordt geïnterpreteerd, opgeslagen en toegankelijk gemaakt voor het publiek. Het seismisch en akoestisch internetportaal biedt toegang tot alle ruwe data- en station informatie van het seismische netwerk in Nederland <http://rdsa.knmi.nl/dataportal> en het zogenoemde RRSM-portaal geeft de mogelijkheid om aardbevingsinformatie zoals "peak ground accelerations (PGA)", "response spectral amplitudes" en ruwe aardbevingsdata te downloaden kort na een aardbeving <http://rdsa.knmi.nl/nl-rrsm>.



Figuur 5 Kaart met seismische meetstations

Bijlage 3 KWALITEITSBORING

NAM-milieuzorg volgens ISO 14001

Bij de NAM is milieuzorg volledig geïntegreerd in het bedrijfsvoeringsstelsel. Het bedrijfsvoeringsstelsel is voornamelijk gericht op de aantoonbare beheersing van de bedrijfsprocessen. Voor elk bedrijfsproces is een op risico's (waaronder risico's voor het milieu) gebaseerd raamwerk van beheersmaatregelen opgesteld (Process Management System). Voor elk proces is een Proces Eigenaar benoemd, die intern de naleving van de betreffende regelgeving bewaakt.

pag. 24

Het milieuzorgstelsel van de NAM is sinds 1996 gecertificeerd volgens de norm NEN-EN ISO 14001. Het milieuzorgstelsel staat voor een systematische beheersing van de milieuaspecten die een bepaalde mate van risico met zich meebrengen. Verstoring van bodem en ondergrond, inclusief bodembeweging, is door de NAM onderkend als een belangrijk milieuaspect.

Audits en reviews

Het auditsysteem is trapsgewijs opgebouwd en bestaat uit interne en externe audits.

Interne audits en reviews

Bij interne audits wordt nagegaan of het bedrijfsvoeringsstelsel werkt zoals bedoeld. Deze controle vindt periodiek plaats door:

- Systeemaudits door Shell Internal Audit met betrokkenheid van NAM
- Het controleren van de werking en kwaliteit van het opgestelde risicobeheerssysteem door middel van "peer reviews" op iedere stap zoals beschreven in hoofdstuk 5 van dit document.
- Interne milieuzorgaudits (EMS-audits), waarbij onder meer het functioneren van de verschillende elementen van het milieuzorgstelsel en de werking van de procedures, werkinstructies en meetprotocollen wordt gecontroleerd.

Externe audits ISO 14001

Externe audits op het milieuzorgstelsel van NAM worden door een onafhankelijke geaccrediteerde instelling uitgevoerd. Deze audits vinden plaats in het kader van de ISO 14001 standaard.