



> Retouradres Postbus 24037 2490 AA Den Haag

De Minister van Economische Zaken
Ministerie van Economische Zaken
Directie Energie en Omgeving
T.a.v. [REDACTED]
Postbus 20401
2500 EK Den Haag

Staatstoezicht op de Mijnen

Bezoekadres
Henri Faasdreef 312
2492 JP Den Haag

Postadres
Postbus 24037
2490 AA Den Haag

T 070 379 8400 (algemeen)
F 070 379 8455 (algemeen)

sodm@minez.nl
www.sodm.nl

Behandeld door

T 070 378 [REDACTED]

Ons kenmerk
17163372

Uw kenmerk
171006

Bijlage(n)
3

Datum **27 AUG 2018**
Betreft Advies winningsplan Botlek

Excellentie,

U heeft Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) op 6 oktober 2017 om advies gevraagd voor de instemming met het gewijzigd winningsplan Botlek. De NAM wil de gaswinning tot uiterlijk eind 2030 verlengen door technische aanpassingen van de put tot lagere aanzuigdruk te produceren. Het plan is ingediend door de Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V. (verder: NAM) op 26 september 2017. Daarna heeft de NAM op 21 juni 2018 aanvullende informatie aan EZK aangeleverd met betrekking tot een locatie-specifieke duiding van het seismisch risico. Deze aanvulling is bij dit advies meegenomen.

De conclusie van het advies is dat de NAM de effecten van bodemdaling en gevolgen van de winning voor het milieu goed in beeld heeft gebracht en dat deze beperkt zijn. De kans op één aardbeving is klein maar is en blijft ook bij toekomstige winning mogelijk. Zo'n beving kan worden gevoeld in een dichtbevolkt gebied en zou kunnen leiden tot beperkte, niet constructieve schade. Het Botlek gasveld valt vooral door de hoge bevolkingsdichtheid en aanwezige industrie in de tweede seismische risicocategorie. Met deze classificatie is een passend risicobeheersplan vereist en is verbetering van het seismische meetnet nodig om ook kleine bevingen goed in beeld te kunnen brengen.

In dit advies leest u de adviesvraag, de toelichting op het advies van SodM en de conclusie. SodM onderbouwt haar advies met behulp van onafhankelijke expertise van TNO-AGE. Dit advies van TNO-AGE vindt u in de bijlage 1.

Adviesvraag

Om gas te kunnen winnen uit een gasveld, moet een onderneming een goedgekeurd winningsplan hebben. Om goed geïnformeerd te kunnen instemmen met een winningsplan vraagt de minister advies aan een aantal adviseurs, waaronder SodM. SodM toetst het winningsplan op de volgende onderdelen:

1. Planmatig gebruik en beheer van de ondergrond;
2. Bodemdalingsvoorspellingen en maatregelen om schade te beperken;
3. Risicoanalyse bodemtrilling en maatregelen om schade te beperken;
4. Nadelige gevolgen voor het milieu.

De beoordeling van de adviesvraag wordt behandeld in deze brief.

Het advies

Het winningsplan beschrijft de winning uit het gasveld Botlek, gelegen binnen de twee winningsvergunningen Rijswijk en Botlek II. De Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V. (verder: NAM) is eigenaar van deze winningsvergunningen. Het gasveld Botlek is een bestaand veld waaruit sinds 1992 wordt gewonnen. De productie vindt plaats met één put BTL-1 vanaf de NAM locatie Botlek.

Het gas wordt gewonnen uit een zandsteen laag op een diepte van 2500 m die behoort tot de Trias Bunter formatie. Zoals gebruikelijk bevindt het gas in deze zandsteen zich in de kleine poriën tussen de zandkorrels. De zandsteen met het opgeslagen gas wordt het reservoir genoemd. Boven dit diep gelegen reservoir bevinden zich van nature meerdere afsluitende kleisteen lagen die verhinderen dat het gas opwaarts kan stromen.

Het plan van de NAM is om de winning tot eind 2030 voort te zetten door aanpassing van de bovengrondse putinstallatie met extra compressoren. Hierdoor kan bij de verwachte zeer lage gasdruk toch gas uit het veld naar de put stromen. De NAM sluit niet uit dat één nieuw te boren put nodig is om de beoogde productie te realiseren. De effecten van de winning zullen, ongeacht de gebruikte technieken, moeten blijven binnen de in dit winningsplan door NAM gegeven prognose.

De effecten van de gaswinning zijn in het winningsplan beschreven. Hieronder adviseert SodM over de effecten van deze gaswinning op de vier bovengenoemde onderdelen.

1. Planmatig gebruik van de ondergrond

In deze paragraaf wordt getoetst of de voorgestelde winning planmatig en efficiënt zal worden uitgevoerd.

Tot eind 2016 heeft de NAM 11,4 miljard Nm³ uit het Botlek gasveld geproduceerd. Het gas kon makkelijk naar de put stromen doordat de doorlatendheid van de Bunter zandsteen van nature erg goed is. Om het resterende gas te kunnen produceren is het nodig om met compressoren de aanzuiging van de productieput te vergroten. De NAM verwacht de productie te kunnen voortzetten. Stimulatie van het reservoir is hier in het verleden niet nodig geweest en zal volgens de NAM in de toekomst niet nodig zijn.

De NAM verwacht met de technische aanpassingen aan de bestaande put en eventueel één extra put nog 807 miljoen Nm³ tot maximaal 1532 miljoen Nm³ gas te kunnen produceren uiterlijk tot en met 2030. De NAM komt in deze midden en hoge productiescenario's uit op een winningsfactor tussen de 94% en de 99%. Wanneer de technische aanpassingen geen productieverbetering opleveren komt de NAM volgens de laagste productiescenario's uit op 331 miljoen Nm³ in 2023.

TNO-AGE merkt op dat de NAM voor de high case dankzij het gebruik van extra compressoren denkt door te kunnen produceren tot een zeer lage aanvoerdruk van 3 bar bij de put. TNO-AGE acht de voorgestelde productiescenario's en de winningsduur tot en met 2030 daarmee zeer efficiënt.

SodM deelt de mening van TNO-AGE dat de beoogde midden en hoge productiescenario's door NAM erg efficiënt zijn. De winning is zeer effectief wanneer deze wordt gerealiseerd met technische aanpassingen van de bestaande putinstallatie. Het is niet uit te sluiten dat voor de beoogde productie mogelijk een extra, nieuw te boren put nodig zou kunnen zijn. Na instemming op dit winningsplan mag NAM in principe een nieuwe boring uitvoeren zolang de effecten daarvan vallen binnen de prognoses uit dit winningsplan. De NAM zal wel altijd voortijds volgens de gangbare vergunningenprocedures toestemming moeten vragen. Het SodM zal op het boorproces toezien met oog voor de veiligheid van mens en milieu. De goede doorlaatbaarheid in het gasveld is aangetoond en daarmee zal geen reservoirstimulatie nodig zijn.

SodM voorziet geen nadelige interactie van de voorziene gaswinning op andere ondergrondse gebruiksmogelijkheden. Op een diepte van 20 tot 300 meter wordt voor woningen en kantoorgebouwen regelmatig koude-en-warmte-opslag toegepast. Deze bodemwarmte zit dus in de bovenste 500 m. Dit is zeer ondiep in vergelijking tot de gaswinning op 2500 meter diepte en wordt daarvan gescheiden door meerdere impermeabele kleilagen. Bij echte geothermie wordt aardwarmte uit diepere gesteentelagen gewonnen vanaf ruim 2 km diepte. De vergunningen voor deze dieper gelegen aardwarmte en de positie van putlocaties ten opzichte van waterwingebieden bevinden zich op voldoende afstand.

SodM is van mening dat de voorgestelde winning naar de huidige kennis en technieken, planmatig en efficiënt uitgevoerd zal worden. SodM vraagt om in het besluit vast te leggen of de NAM de mogelijkheid wordt gegeven een extra put bij te boren. De NAM geeft aan dat een extra boring niet wordt verwacht, maar ook dat het niet kan worden uitgesloten. SodM heeft hier met het oog op de veiligheid van mens en milieu geen bezwaar tegen.

2. Bodemdalingsvoorspellingen en maatregelen om schade te beperken

Door gas te winnen daalt de druk in het gesteente waar het gas in zit opgesloten. Dit zorgt ervoor dat het gesteente onder het gewicht van de overliggende gesteentelagen wordt samengedrukt. Dit wordt ook wel compactie van het gesteente genoemd. Aan het aardoppervlak ontstaat bodemdaling doordat de overliggende lagen meebewegen.

In deze paragraaf wordt getoetst of de bodemdalingsvoorspelling goed is bepaald. Daarnaast wordt er gekeken of de voorgestelde maatregelen voldoende zijn om eventuele schade die ontstaat door bodemdaling te beperken.

Historische daling

In 2016 heeft de NAM voor het laatst de bodemdaling gemeten en vergeleken met de uitkomsten uit gemodelleerde bodemdaling. Hieruit blijkt dat de gaswinning heeft geleid tot een bodemdaling van maximaal 4 cm boven het Botlek gasveld.

De laatste metingen uit 2016 zijn onderdeel van een meetplan waarbij de bodemdaling in dit gebied om de 3 jaar wordt gemeten sinds een nulmeting in 1989 welke voorafging aan de gaswinning.

Toekomstige daling en effecten

De NAM verwacht dat nog maximaal 2 cm aan bodemdaling zal optreden boven het Botlek gasveld ten gevolge van de gaswinning over een periode van meer dan 10 jaar. Daarmee zal de bodemdaling als gevolg van winning uit het gasveld Botlek en omringende velden volgens de prognose van de NAM aan het eind van de productie in 2030 uitkomen op maximaal 6 cm in het diepste punt van de bodemdalingskom in geval van het hoge productiescenario. Dit is de totale bodemdaling vanaf de start van de winning in 1992 tot eind 2030.

Hierbij is wel goed om op te merken dat de niet aan de gaswinning gerelateerde oxidatie en inklinking in de bovenste 10-20 meter van de bodem tot lokale daling van het maaiveld kan leiden van maximaal 10 cm in de periode 2000-2050. De voorziene bodemdaling door de gaswinning zal dus kleiner zijn en gelijkmatiger verdeeld over het gebied boven het Botlek gasveld.

Conclusie NAM

De NAM verwacht geen schade als gevolg van de bodemdaling door gaswinning omdat dit een geleidelijk en gelijkmatig proces is. Binnen de invloedssfeer van het winningsplan Botlek bevindt zich het Natura 2000 gebied *Oude Maas* dat onder getijdeninvloed staat met ondiep-waterzones en platen die onderlopen en droogvallen. NAM verwacht dat de nog te realiseren bodemdaling van minder dan 2 cm hierop geen wezenlijke invloed zal hebben.

Advies TNO-AGE

De bodemdalingsprognose is door TNO-AGE geverifieerd. Zij kunnen zich vinden in de onderbouwing. TNO-AGE acht de voorspelde bodemdaling door NAM realistisch.

Advies SodM

Op basis van deze evaluatie vindt SodM het aannemelijk dat de totale bodemdaling boven het gasveld Botlek door de winning minder dan 6 cm zal bedragen. De nadelige gevolgen van bodemdaling zullen daarmee beperkt zijn.

De bodemdaling zal worden gemeten en gemonitord volgens de vaste frequentie die in het meetplan staat beschreven. De gevolgen en eventuele maatregelen van de bodemdaling voor de waterhuishouding en voor het Natura 2000 gebied *Oude Maas* zal verder worden beoordeeld door het waterschap als medeadviseur in deze procedure.

SodM vindt het aannemelijk dat de totale bodemdaling minder dan 6 cm zal worden. SodM ziet geen aanleiding aanvullende voorwaarden te adviseren omdat de nadelige gevolgen daarmee beperkt zijn.

3. Risicoanalyse bodemtrilling en maatregelen om schade te beperken

Door gasproductie kan de druk in het reservoirgesteente dalen. Op basis van de risicoanalyse wordt de kans ingeschat dat spanning zich opbouwt op breuken in en langs het reservoir. Deze spanningen zouden kunnen leiden tot plotselinge verplaatsingen langs breuken in de vorm van bevingen en tot schade.

Hieronder wordt getoetst of de risicoanalyse voor aardbevingen (seismiciteit) goed is uitgevoerd.

De NAM heeft de seismische risicoanalyse (SRA) uitgevoerd volgens de "Methodiek voor risicoanalyse omtrent geïnduceerde bevingen rond gaswinning", hierna aangeduid als de SRA leidraad. In het winningsplan heeft de NAM de scores bepaald voor ondergrondse en bovengrondse invloedfactoren. In een risicomatrix worden de scores van de ondergrondse en bovengrondse invloed factoren gecombineerd en gewogen.

Het risico van een aardbeving wordt allereerst bepaald door de kans dat een beving van een bepaalde magnitude kan plaatsvinden. De score van de ondergrondse invloedfactoren houdt daarom rekening met de kans op een beving, de magnitude van de 'realistisch sterkste beving' (Mmax) en gevoeligheid van de bodem voor opslingering. De bovengrondse factoren bepalen in hoeverre een eventuele beving kan leiden tot schade aan gebouwen, industrie en infrastructuur en in hoeverre gevolgrisco's spelen voor mens en milieu. De score van de bovengrondse invloedfactoren houdt onder andere rekening met de aanwezigheid van primaire dijken, met industriële inrichtingen en met publieke gebouwen binnen 5 km rond het veld.

In het onderstaande geef ik een extra toelichting op de door de NAM berekende bevingskans, de Mmax, en de duiding door de NAM van de bovengrondse effecten die als gevolg van een eventuele beving zou kunnen optreden.

Toelichting bevingskans

De NAM heeft als eerste stap van de SRA leidraad de bevingskans bepaald. Het gasveld wordt daarbij vergeleken met andere producerende gasvelden op land op basis van een aantal eigenschappen die voor het ontstaan van geïnduceerde aardbevingen van belang zijn.

Bij ongeveer 30 gasvelden van de ongeveer 170 op land gelegen gasvelden, waaruit is of wordt geproduceerd, zijn bevingen door het KNMI seismisch netwerk gemeten. Het Botlek gasveld heeft tijdens de productie niet gebeefd.

De gasvelden die tijdens de productie niet hebben gebeefd worden op basis van specifieke eigenschappen vergeleken met de velden die wel hebben gebeefd. Drie groepen worden hierbij onderscheiden:

- (1) verwaarloosbare kans: geen van de velden in deze groep heeft gebeefd.
- (2) kleine kans: 2 op de 10 velden in deze groep heeft ooit gebeefd.
- (3) reëel kans: 4 op de 10 velden in deze groep heeft ooit gebeefd.

De kans (P) op een beving als gevolg van het winnen uit het Botlek gasveld is volgens de NAM 19% op basis van de SRA leidraad. Dit percentage betekent dat het Botlek gasveld behoort tot een groep van velden waarvan naar verwachting 2 op de 10 velden gedurende de gaswinning zullen beven. Dit is niet een jaarlijks terugkerende kans maar de kans dat één of enkele bevingen kunnen plaatsvinden gedurende de hele periode van gaswinning.

Toelichting Mmax

De magnitudes (M) van de 'realistisch sterkste beving' (Mmax) vormt een tweede ondergrondse invloedfactoren die in de scores van risicomatrix zijn meegenomen. De NAM heeft de Mmax bepaald met behulp van twee verschillende rekenmethodes uit de SRA leidraad. In het winningsplan berekent de NAM op basis van de breuklengte methode een Mmax van $M=3,9$. Uit de energiebalans methode volgt een Mmax van $M=3,3$. De hoogste Mmax waarde van $M=3,9$ wordt in het winningsplan als mogelijke 'realistisch sterkste beving' aangehouden.

Hierbij is het goed om op te merken dat de kans op een beving met een magnitude van Mmax veel kleiner is dan de kans van 2 uit 10 op een beving met een meetbare magnitude over de levensduur van het veld. Een beving met een $M=3,0$ komt ongeveer 10 keer minder vaak voor dan een net voelbare beving van een $M=2,0$. Een beving met een $M=4,0$ komt ongeveer 100 keer minder vaak voor, maar kan als 'realistisch sterkste beving' niet worden uitgesloten.

Duiding bovengrondse effecten

De NAM geeft aan dat schade aan bebouwing in de directe omgeving van het epicentrum van een eventuele beving niet kan worden uitgesloten. In het winningsplan geeft de NAM een algemene duiding van de bovengrondse effecten. In geval van een beving in de nabijheid van het gasveld dient rekening te worden gehouden met lichte, niet constructieve schade aan meerdere gebouwen en matige constructieve schade (scheuren in muren) aan enkele gebouwen. Ook geeft de NAM op basis van een in 2010 door Deltares uitgevoerde studie aan dat schade aan buisleidingen klein zal zijn.

De NAM heeft na vragen van SodM extra toelichting gegeven per email¹ en in een extra aanvulling², bijgevoegd als bijlagen 2 en 3. In de aanvulling geeft de NAM een berekening van de maximale grondsnelheid (PGV) van een trilling voor bevingen met magnitudes $M=2,5$ en $M=3,9$. Door de Stichting BouwResearch (SBR) worden PGV grenswaardes beschreven in de trillingsrichtlijn A voor schade aan bouwwerken, ongeacht of de trilling van boven door de wind of van onder door een beving komt. Wanneer een beving, die een kleine kans heeft, zou plaatsvinden, dan heeft die beving waarschijnlijk een magnitude kleiner dan $M=2,5$. Dit zou binnen 2 km afstand van het epicentrum kunnen leiden tot een PGV van maximaal 3-10 mm/s. Dit is net boven de grenswaarde waarvoor bij 1%

¹ Verduidelijking rond mogelijke geïnduceerde seismiciteit, april 2018.

² Aanvulling, Locatie-specifieke duiding van het seismisch risico, 21 juni 2018.

van de zwakste huizen lichte schade zou kunnen optreden. Schade aan constructieve delen van een gebouw is bij een magnitude van $M=2,5$ zo goed als uitgesloten. In geval van een $M=3,9$ met een PGV van 70 mm/s kan echter wel lichte schade optreden aan constructieve delen van een gebouw. In bijlage 3 komt de NAM voor een $M=4,1$ uit op een PGV van 100 mm/s. Bij deze maximale grondsnelheid zullen naar verwachting minder dan 1% van de gebouwen de eerste tekenen van schade aan constructieve delen hebben.

Op basis hiervan stelt de NAM dat in het slechtste geval dat een magnitude 4 beving zich zou voordoen, de verwachte schade aan huizen beperkt is. Ook verwacht de NAM een verwaarloosbare kans op schade aan industrie en infrastructuur en daarmee een verwaarloosbaar vervolg- of ketenrisico.

Conclusie NAM

Op basis van de SRA analyse valt het Botlek gasveld in categorie 2 van de drie seismische risicocategorieën. Deze classificatie komt vooral door de hoge scores van bovengrondse invloedfactoren waaronder de bevolkingsdichtheid en industriële inrichtingen. Deze classificatie betekent dat de NAM met dit winningsplan een meer uitgebreide duiding moest geven van de mogelijke bovengrondse effecten.

De NAM benoemt beheersmaatregelen om gevolgen van een eventuele beving te reduceren. De NAM werkt momenteel aan de afronding van een seismisch risicobeheersplan. Bovendien geeft de NAM aan dat het KNMI is gevraagd het seismisch monitoringsnetwerk uit te breiden om in Zuid Holland een goede dekking te bereiken. Dan kunnen ook kleinere aardbevingen worden waargenomen. Deze uitbreiding zal naar verwachting van de NAM in 2018 operationeel worden.

Advies TNO-AGE

TNO-AGE heeft gecontroleerd dat de NAM de seismische risico analyse (SRA) correct en volgens de leidraad heeft uitgevoerd. TNO-AGE heeft de verschillende stappen van de risicoanalyse nagerekend en constateert twee kleine afwijkingen.

Voor de ondergrondse invloedfactor M_{max} scoort TNO-AGE 1 punt hoger. Zij komen op een grotere magnitude van $M=4,1$ voor de realistisch sterkste beving door een hogere inschatting van de lengte van de langste breuk. SodM heeft de NAM gevraagd om deze hogere magnitude in de duiding van bovengrondse effecten bij de berekening van de PGV te verwerken (bijlage 3). Dit is meegenomen in de berekening en in onze beoordeling.

Voor de bevolkingsdichtheid scoort TNO-AGE 1 punt lager doordat zij de dichtheid bepaalt op buurniveau terwijl de NAM deze bepaalt op gemeenteniveau.

Deze verschillen in score hebben geen invloed op de uitkomsten van de risico matrix en op de uiteindelijke classificatie van het veld. Ook TNO-AGE classificeert het veld als seismisch risico categorie 2.

Beoordeling SodM

SodM vindt dat het Botlek gasveld op correcte wijze is geclassificeerd als seismisch risicocategorie 2 veld op basis van de analyse van de NAM en advies van TNO-AGE.

Voor een goede duiding van de bovengrondse risico's was het van belang dat de NAM de magnitudes van de maximaal realistische beving vertaalde naar de maximale PGV dat een gebouw als trilling kan ondervinden. De NAM heeft dit in bijlagen 2 en 3 gedaan.

Op basis van de seismische risicoanalyse vindt SodM dat er rekening gehouden moet worden met een kans op bodemtrillingen. Afhankelijk van de intensiteit van de beving en de kwetsbaarheid van gebouwen kan in het slechtste geval matige constructieve schade optreden. De kans op een beving is aanwezig; bij 2 op de 10 velden in Nederland vergelijkbaar als de Botlek zijn bevingen door het KNMI meetnet geregistreerd.

In geval van een beving zal deze naar alle waarschijnlijkheid een magnitude hebben kleiner dan $M=2,5$. Zo'n beving wordt gevoeld. Echter, de kans op haarscheurtjes in enkele muren van de meest gevoelige huizen is minder dan 1%. Kleine stukjes pleisterwerk kunnen afbreken. De kans dat gedurende de winning één beving plaatsvindt met een magnitude van $M=4,1$ is zeer klein (minder dan 0,2% over de duur van de winning). Dat kan tot haarscheurtjes leiden in constructieve delen bij enkele van de meest kwetsbare gebouwen.

Op basis van beschikbare studies wordt het vervolg- of ketenrisico als gevolg van zulke schade als verwaarloosbaar ingeschat. Wel zullen veel mensen in de stedelijk omgeving rond de Botlek zo'n aardbeving kunnen voelen en mensen zullen daarop reageren. Ook is het goed om na te gaan of industriële installaties in de nabijheid van de Botlek die extra gevoelig zijn voor trillingen last kunnen hebben van een PGV van 100 mm/s in het slechtste geval van een beving van $M=4,1$. Decentrale overheden en hun adviseurs (omgevingsdienst, veiligheidsregio) kunnen deze inschattingen het beste maken.

De NAM moet een goedgekeurd plan hebben om het gasveld als categorie 2 te kunnen opereren. Op dit moment heeft de NAM een concept seismisch risicobeheersplan die afronding en instemming van SodM vereist. De seismische monitoring door het KNMI is in de omgeving van het Botlek gasveld op dit moment onvoldoende om kleine bevingen goed in beeld te hebben. De NAM is als operator verplicht te zorgen voor een afdoende seismisch meetnet.

Ik adviseer om de volgende voorwaarden op te nemen:

- De NAM dient per datum van het besluit op dit winningsplan te zorgen voor een werkend seismisch meetnet dat trillingen kan registreren en goed kan lokaliseren met een magnitude vanaf $M=1,5$ in het gebied rond het gasveld.
- De NAM dient per datum van het besluit op dit winningsplan een goedgekeurd risicobeheersplan te hebben met een locatie specifieke borging van de aan de winning verbonden risico's en het plan te hebben overlegd met de desbetreffende omgevingsdienst en veiligheidsregio.

4. Nadelige gevolgen voor het milieu

Met de beoordeling van de nadelige gevolgen voor het milieu is gekeken naar de mee geproduceerde stoffen, het afblazen of affakkelen van koolwaterstoffen en het gebruik van hulpstoffen. Advisering over andere nadelige gevolgen voor het milieu vindt plaats bij andere vergunningen dan dit winningsplan.

De milieueffecten als gevolg van bodemdaling en bodemtrillingen zijn door de NAM beschreven. Naar oordeel van SodM is de bodemdaling door de gaswinning gering. Negatieve effecten door de gaswinning worden daarom door SodM niet verwacht. De gevolgen en eventuele maatregelen van de bodemdaling voor de waterhuishouding en voor het Natura 2000 gebied Oude Maas zal verder kunnen worden beoordeeld door het Waterschap als medeadviseur in deze procedure.

De NAM geeft in het winningsplan aan dat er "in beginsel" tijdens normale productie geen gas wordt afgeblazen of afgefakkeld. Uit de openbare gegevens bij NLOG blijkt dat de afgelopen drie jaar maandelijks gemiddeld 10-40 duizend m³ gas vanaf de Botlek mijnbouwlocatie is afgeblazen. In vergelijking tot andere locaties zijn dit grote, maar geen uitzonderlijke hoeveelheden. Het aardgas wordt doorgaans afgeblazen bij het drukvrij maken van het systeem tijdens werkzaamheden.

Bij de gaswinning wordt formatiewater mee-geproduceerd dat per vrachtwagen naar de injectielocatie Pernis-West wordt vervoerd. Het geproduceerde water wordt vanaf deze locatie in de diepe ondergrond terug gepompt en is vergund middels een Wabo vergunning.

Op basis van deze informatie vindt SodM het aannemelijk dat het risico op nadelige gevolgen voor het milieu beperkt is en ziet daarom geen aanleiding om aanvullende voorwaarden op dit punt te adviseren.

Conclusie

De door SodM gecontroleerde risicobeoordelingen voor de bodemdaling is correct onderbouwd en de gebruikelijke monitoring is daarbij passend. De beschreven winning is planmatig en efficiënt. De gevolgen voor het milieu, voor zover daarop in dit advies op wordt getoetst, zijn over het algemeen goed beschreven en leiden niet tot onaanvaardbare risico's.

Het Botlek gasveld behoort tot seismische risicocategorie 2. De bevingskans is weliswaar klein, maar lichte niet structurele schade is in geval van een beving mogelijk. Voor de indeling in risicocategorie 2 speelt mee dat het gebied dichtbevolkt is met veel gebouwen, industrie en andere infrastructuur. In het slechtste geval zouden gebouwen lichte constructieve schade kunnen ondervinden

Staatstoezicht op de Mijnen

Ons kenmerk
17163372

wanneer een uitzonderlijke beving met de maximaal realistische magnitude van $M=4,1$ zou optreden.

Op basis van het bovenstaande adviseer ik u, wanneer u tot instemming besluit op het winningsplan Botlek, om de volgende voorwaarden op te nemen:

- De NAM dient per datum van het besluit op dit winningsplan te zorgen voor een werkend seismisch meetnet dat trillingen kan registreren en goed kan lokaliseren met een magnitude vanaf $M=1,5$ in het gebied rond het gasveld.
- De NAM dient per datum van het besluit op dit winningsplan een goedgekeurd risicobeheersplan te hebben met een locatie specifieke borging van de aan de winning verbonden risico's en het plan te hebben overlegd met de desbetreffende omgevingsdienst en veiligheidsregio.

Ik ga ervan uit dat uw adviesvraag hiermee heb beantwoord. Vanzelfsprekend ben ik bereid dit advies nader toe te lichten.

Met vriendelijke groet,



Directeur Ondergrond en Boren

Retouradres: Postbus 80015, 3508 TA Utrecht

Staatstoezicht op de Mijnen
T.a.v. [REDACTED]
Postbus 24037
2490 AA DEN HAAG

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

T +31 88 866 42 56

Onderwerp

Advies Winningsplan Botlek

Datum

27 oktober 2017

Onze referentie

AGE 17-10.100

Contactpersoon**E-mail**

[REDACTED]@tno.nl

Doorkiesnummer

+31 88 [REDACTED]

Geachte [REDACTED]

Naar aanleiding van uw adviesverzoek van 9 oktober 2017 (per email) omtrent de aanvraag tot instemming met het winningsplan Botlek van 26 september 2017 door Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V. (hierna: NAM), berichten wij u het volgende.

SodM heeft TNO-AGE gevraagd het winningsplan Botlek te beoordelen op de volgende onderdelen:

1. De toetsing van planmatig beheer van de winning met betrekking tot de huidige kennis en technieken (planmatig gebruik);
2. De controle van de bodemdalinginput parameters, prognoses en berekeningen (bodemdaling);
3. De beoordeling van de seismische risicoanalyse.

Beschrijving winning

Het Botlek gasvoorkomen wordt door de goede reservoir eigenschappen sinds 1992 vanaf de Botlek locatie door slechts één put geproduceerd (put BTL-01). Tot en met 2016 is 11,4 miljard Nm³ gas geproduceerd.

De actualisatie betreft een verlenging van productieperiode als gevolg van de installatie van een tweede-trap compressie op de Botlek locatie.

1. Planmatig gebruik

Het totale oorspronkelijk aanwezige volume gas (GIIP) wordt door de NAM geschat op 13.1 miljard Nm³. De winbaarheidsfactor (geproduceerde gas in verhouding tot GIIP) is op dit moment bijna 90%. In het meest gunstige productiescenario (high case) wordt een winbaarheidsfactor van 99% bereikt met een winningsduur tot en met 2030. TNO-AGE merkt op dat bij dit scenario de operator uitgaat van een zeer lage einddruk van 3 bar (blz. 48 Aanvraag).

Op opdrachten aan TNO zijn de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, zoals gedeponeerd bij de Griffie van de Rechtbank Den Haag en de Kamer van Koophandel Den Haag van toepassing. Deze algemene voorwaarden kunt u tevens vinden op www.tno.nl. Op verzoek zenden wij u deze toe.

Handelsregisternummer 27376655.

Datum

27 oktober 2017

Onze referentie

AGE 17-10.100

Blad

2/3

TNO-AGE acht het voorgestelde productiescenario met een winningsduur tot en met 2030 zeer efficiënt.

2. Bodemdaling

Doordat de grootste hoeveelheid gas inmiddels al gewonnen is, heeft de meeste bodemdaling door gaswinning al plaatsgevonden. De nog te verwachten bodemdaling door de toekomstige gaswinning uit dit voorkomen is minder dan 2 centimeter en valt binnen de onzekerheidsmarge van de berekening. De maximale gemeten bodemdaling door gaswinning boven het Botlek voorkomen was in 2016 (conform het meetplan) minder dan 6 cm (maximaal 4.3 cm).

TNO-AGE vindt de onzekerheidsmarge van 2 cm, op een resterende bodemdaling van minder dan 2 cm, ruim gekozen. In Figuur 7-4 van het winningsplan laat NAM een vergelijk zien van de gemeten bodemdaling (meetonzekerheid 4mm) en de berekende bodemdaling door gaswinning voor twee peilmerken boven het Botlek voorkomen. De prognose van de uiteindelijke bodemdaling door gaswinning is voor beide punten iets meer dan 5 cm. Op de kaart in figuur 7-6 is zichtbaar dat de uiteindelijke bodemdaling overal minder is dan 6 cm.

TNO-AGE acht de aanpak en de daaruit voortvloeiende resultaten van de voorspelde totale en nog resterende bodemdaling van minder dan 2 cm realistisch. TNO-AGE acht de bewering van NAM dat de maximale bodemdaling door gaswinning daarmee onder de 6 cm blijft, eveneens aannemelijk.

3. Seismische risico

DHAIS, risico op een beving

NAM heeft de Seismische Risico Analyse (SRA) uitgevoerd en komt in de eerste stap uit op een bevingkans van 19%. Conform de leidraad heeft de NAM de sterkte bepaald van de realistisch sterkste beving op basis van de breukgeometrie en energiebalans met magnitudes 3,9 en 3,3 respectievelijk.

Voor de berekeningsmethode op basis van de breukgeometrie geeft de SRA leidraad aan dat voor de bepaling van een realistische sterkste beving uitgegaan wordt van het breukoppervlak dat aan het reservoir grenst. TNO-AGE gaat daarom bij het vaststellen van magnitude uit van de lengte van de gehele zuidelijke breukrand als invoerwaarde voor de langste breuklengte (zie Bijlage C in Aanvraag). TNO-AGE meet een lengte van 6,5 km, hetgeen resulteert in een maximum magnitude van 4,1.

Voor de berekeningsmethode op basis van de energiebalans stemt TNO-AGE in met de gebruikte waarden en het daaruit verkregen maximale magnitude.

Risico matrix

Omdat de maximale magnitude van een potentiële beving hoger is dan 2.5 Ml moet conform de SRA een risicomatrix worden opgesteld.

TNO-AGE hanteert een hogere magnitude van 4.1 (drempelwaarde) op basis van de breukgeometrie waardoor de zogeheten M-score van de invloedfactoren ondergrond een hogere score krijgt; 3 t.o.v. een score van 2 van de NAM.

Datum
27 oktober 2017

Onze referentie
AGE 17-10.100

Blad
3/3

De bevolkingsdichtheid kan volgens de leidraad voor de SRA op verschillende manieren worden bepaald: op gemeenteniveau en op buurniveau (CBS statline). NAM heeft de bevolkingsdichtheid op basis van de gemeentegrenzen bepaald (score 4 punten). Wanneer de bevolkingsdichtheid wordt bepaald op basis van de buurgrenzen resulteert dit in een score van 3 punten.

Onafhankelijk van de gekozen scores komt de uiteindelijke classificatie van het Botlek voorkomen uit in risicocategorie II.

Bevindingen

TNO-AGE heeft het winningsplan beoordeeld op planmatigheid, bodemdaling en seismisch risico. TNO-AGE is hierbij uitgegaan van het hoogste productiescenario van NAM.

Het plan voldoet in voldoende mate aan de principes van planmatige winning. TNO-AGE acht een productieduur voor het hoge productiescenario tot en met 2030 realistisch.

TNO-AGE kan zich vinden in de berekeningen van de totale en resterende bodemdaling en de daaruit voortvloeiende resultaten van NAM.

TNO-AGE classificeert, net als de NAM, het Botlek voorkomen in risicocategorie II.

Ik verwacht u hiermee van dienst te zijn geweest.

Met vriendelijke groet,



Hoofd Adviesgroep Economische Zaken

Winningsplan Botlek - 2017

Leeswijzer/verduidelijking rond mogelijke geïnduceerde seismiciteit

Het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) heeft op 2 oktober 2017 een aangepast winningsplan voor het Botlek gasveld in behandeling genomen. EZK heeft Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) om advies over het winningsplan gevraagd, waaronder "een toetsing op de risicoanalyse bodemtrilling".

SodM heeft NAM twee vragen gesteld teneinde een beter begrip te krijgen over het beschreven seismische risico van voortzetting van productie uit het Botlek gasveld. Hieronder worden de vragen beantwoord.

1. Breuklengte gebruikt in de berekening van "realistisch sterkste beving"

Vraag SodM:

Voor de berekening van de realistisch sterkste beving met de methode van breukgeometrie wordt volgens Tabel 12-2 door NAM gewerkt met een langste breuklengte van 3,5 km. In de geologische kaart van bijlage C staat met een blauwe pijl aangegeven dat deze lengte de helft is van de totale lengte van de zuidelijke randbreuk. Op basis van de beschikbare geometrische informatie, en rekening houdend met het spanningsveld, kan niet worden uitgesloten dat het kleine Noord-Zuid georiënteerde segment van de breuk de verplaatsing zou beperken tot het gedeelte van de breuk van 3.5 km. Daarmee wordt de maximale breuklengte 2x zo lang. Ik vraag NAM om goed onderbouwde maximale breuklengte te kiezen voor de berekening van M_{max} .

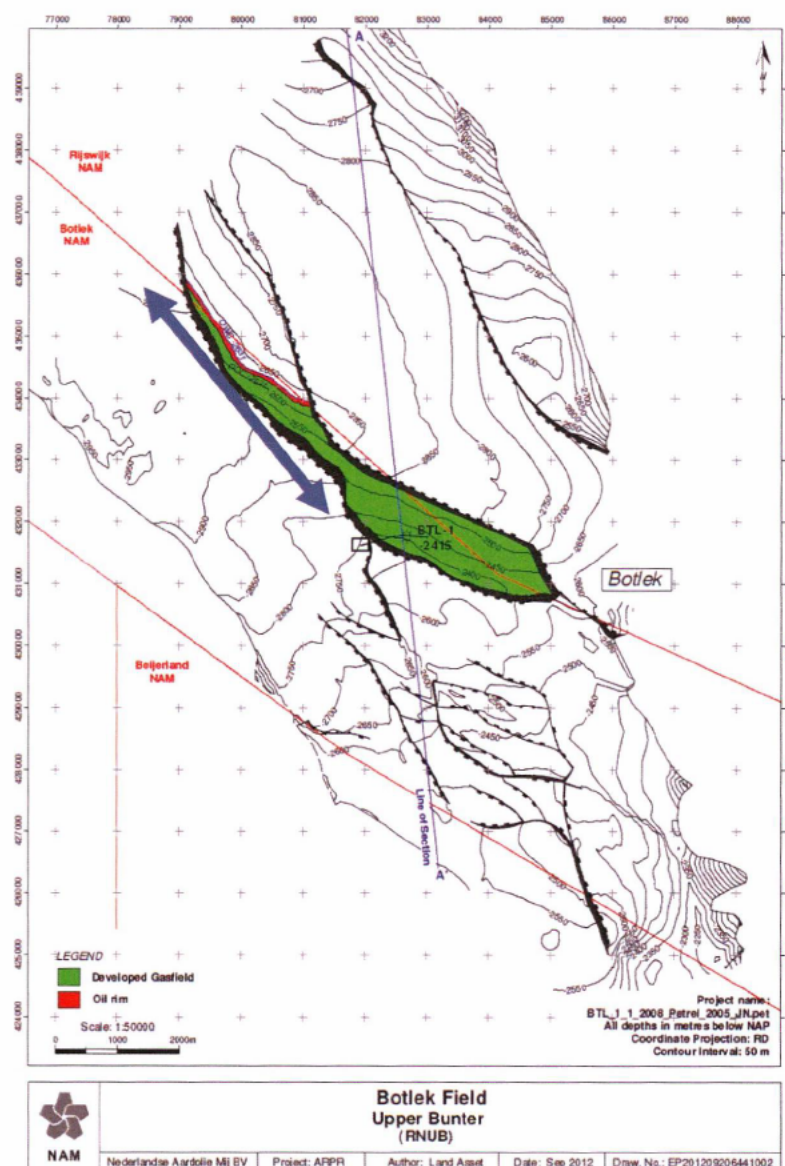
Antwoord NAM:

De structuur van het gasveld (Figuur 1) wordt gekenmerkt door een langwerpig blok dat aan de noordoostelijke en zuidwestelijke zijden wordt begrensd door breuken. De zuidwestelijke breuk heeft een NW-ZO richting en wordt ongeveer halverwege het veld onderbroken door een breuk met een NNW-ZZO richting.

De NAM acht het onwaarschijnlijk dat de gehele NW-ZO breuk in één keer gereactiveerd kan worden vanwege de volgende observaties:

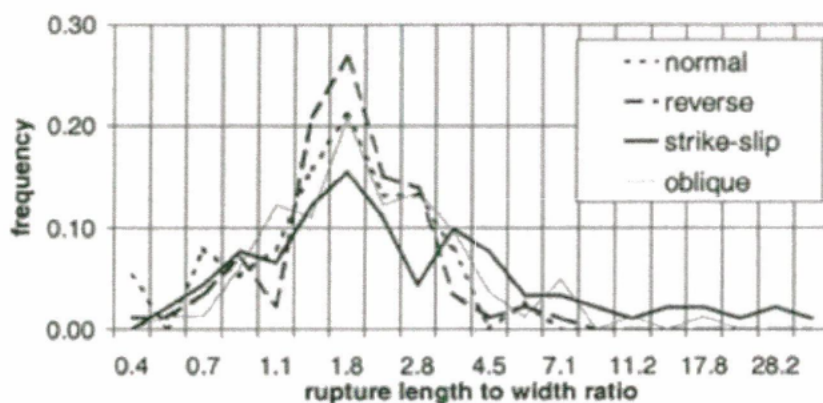
1. Het is waarschijnlijk dat een mogelijke reactivatie of "*rupture-event*" van de breuk wordt tegengehouden door de NNW-ZZO-breuk. Het regionale spanningsveld heeft een NW-ZO oriëntatie. Hierdoor heeft NNW-ZZO-breuk een hogere normaalspanning en daarmee een kleinere kans op reactivatie.
2. Het Botlek gasveld is inmiddels sterk gedepleteerd. Hierdoor ligt de minimale spanning in het reservoir ongeveer 170 bar lager dan in het omliggende gesteente. Het spanningscontrast tussen het reservoir en de omliggende gesteentelagen zorgt ervoor dat een eventuele reactivatie van de breuk wordt tegengehouden door de hogere spanning in de lagen boven en onder het reservoir. Het gereactiveerde oppervlak van de breuk wordt niet alleen begrensd wordt door de *lengte van de breuk*, maar ook door de *dikte van het reservoir*. Voor grotere tektonische bevingen zijn inschattingen gedaan voor de ratio tussen de lengte (L) en de hoogte (of "*width*", W) van de seismisch actieve zone of "*rupture area*" in een breuk. Volgens de literatuur is deze

L/W-ratio beperkt tot maximaal 6 maal de dikte van het reservoir (zie b.v. Stock and Smith¹, 2000, Figuur 2). Het Botlek reservoir heeft een dikte van ongeveer 200m, zodat de breuklengte van 3,5 km zoals gebruikt in het winningsplan (18 maal de dikte van het reservoir) een hoge schatting is van de breuklengte die betrokken kan zijn in een mogelijke *rupture area*.



Figuur 1: Top structuurkaart van het Botlek veld (uit Bijlage C van het winningsplan)

¹ Christian Stock en Euan G. C. Smith. Evidence for different scaling of earthquake source parameters for large earthquakes depending on faulting mechanism. *Geophysical Journal International*, Volume 143, Issue 1, 1 October 2000, Pages 157–162



Figuur 2; Lengte/hoogte ratio van de seismisch actieve zone tijdens grote tektonische aardbevingen (uit Stock en Smith, 2000).

1. Duiding schade aan industrie en speciale gebouwen, en vervolgrisico

Vraag SodM:

"SodM: De vereiste duiding van het seismisch risico (zoals voor cat-2 veld nodig is) geeft geen onderbouwing voor de claim dat "Tevens is het onwaarschijnlijk dat aardbevingen tot $M=4$ het vermogen hebben om dusdanige schade aan te richten aan industrie en speciale gebouwen waardoor een vervolgrisico kan ontstaan."

Reeds in 2009 bleek uit een kalibratie studie (uitgevoerd op verzoek van Technisch platform Aardbeving) van schade ten gevolge van geïnduceerd historische bevingen groter dan $M=3$ dat schade niet zondermeer beperkt bleef tot DS1.

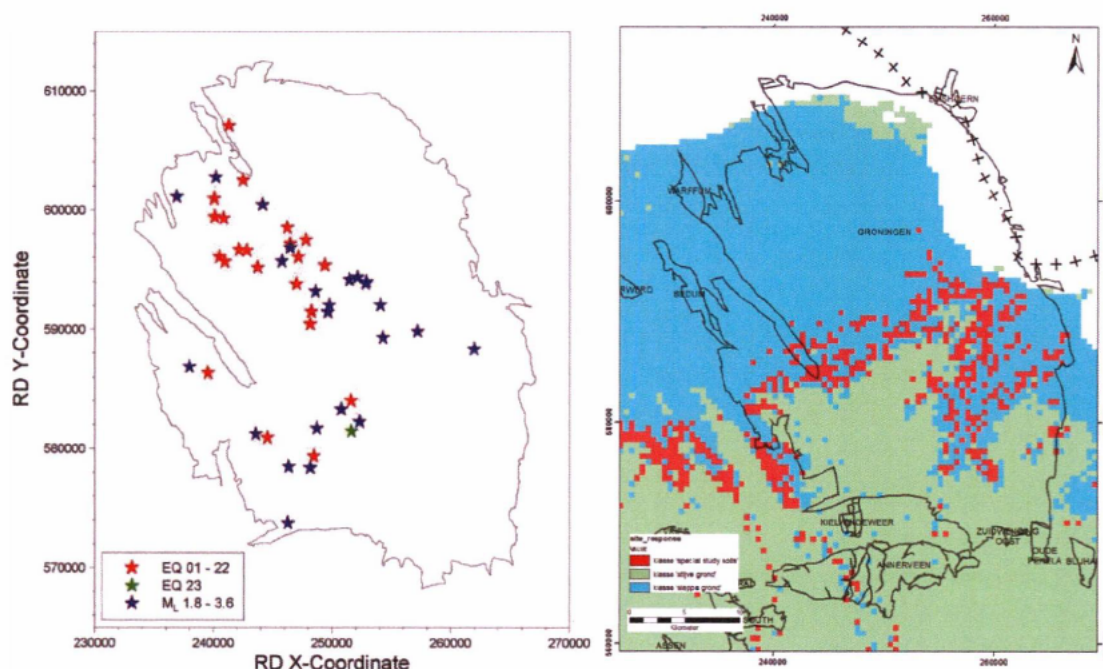
Gegeven een magnitude van ~ 4 (3.9 dan wel iets hoger door grotere breuklengte), zeker in de omstandigheid van grote industriële inrichtingen in de Botlek, is een betere, meer specifieke duiding van mogelijke schade (categorieën) nodig. Ook paragraaf 8.5 is te generiek en mist de gewenste onderbouwing voor de risico's-op-schade waar rekening mee gehouden dient te worden voor de Botlek. SodM verzoekt NAM om extra onderbouwing op basis van shakemaps (PGVs) voor een M_{max} beving met toelichting van de gekozen input (o.a. welke passende GMPE). Geef de duiding zodanig dat de vervolgrisico's beter kunnen worden doorvertaald voor de betrokken industrieën in de Botlek en voor de veiligheid van omliggende bewoners."

Antwoord NAM:

NAM heeft recent een Seismisch Risicobeheersplan voor kleine onshore velden samengesteld² en voor commentaar ingediend bij EZK. Het document is in maart 2018 gedeeld met SodM. Dit seismisch risicobeheersplan gaat in op deze vraag van SodM. Het document bevat een generieke analyse voor de duiding van schaderisico en vervolgrisico voor een beving tot magnitude $M=4,1$. Hieronder wordt aangetoond dat de belangrijkste conclusies ook geldig zijn voor Botlek.

² NAM (2018) NAM Seismisch Risicobeheersplan voor "kleine velden" (onshore gasvelden, exclusief het Groningen gasveld). NAM Rapport: EP201712203519

In het Seismisch Risicobeheersplan wordt schaderisico geduid met behulp van *Peak Ground Velocity* (PGV, de hoogste grondbewegingssnelheid bij een beving). De PGV-berekeningen zijn uitgevoerd met een *ground motion prediction equation*³ (GMPE) die gebaseerd is op gegevens van versnellingsmeters boven het Groningen veld. Ondiepe grondlagen spelen een belangrijke rol in een mogelijke opslingering van de trillingsgolven bij een beving. Boven het Botlek gasveld is de ondiepe ondergrond opgebouwd uit grondsoorten in de categorie "slappe grond". Figuur 3 toont dat ook voor Groningen bevingen het merendeel van de gegevens komt uit metingen boven "slappe grond". De Groningen GMPE is daarom een goede basis voor de risicoanalyse van Botlek.



Figuur 3: Locaties van de bevingen die gebruikt zijn voor de bepaling van de Groningen GMPE (links) en kartering van de ondiepe grondlagen (rechts).

In bijlage C van het Seismisch Risicobeheersplan wordt uitgelegd dat bij een beving met een magnitude van $M=4,1$ de PGV een maximale waarde van rond de 100 mm/s zal hebben. Hoofdstuk 5 van dit document toont aan dat:

- Deze grondsnelheid voornamelijk kan leiden tot cosmetische schade (*Damage State 1*) met in sommige gevallen lichte structurele schade (*Damage State 2*).
- Deze grondsnelheid zal niet leiden tot het instorten van (delen van) objecten, waaronder industriële objecten en speciale objecten.
- Vervolgrisico pas kan optreden bij schade vanaf *Damage State 3*.

Deze conclusies geven onderbouwing voor de claim in het winningsplan Botlek dat "Tevens is het onwaarschijnlijk dat aardbevingen tot $M=4$ het vermogen hebben om dusdanige schade aan te richten aan industrie en speciale gebouwen waardoor een vervolgrisico kan ontstaan".

³ Bommer, J.J., Stafford, P.J., Ntinalexis, M. (2017) Empirical Ground-Motion Prediction Equations for Peak Ground Velocity from Small-Magnitude Earthquakes in the Groningen Field Using Multiple Definitions of the Horizontal Component of Motion-Updated Model for Application to Smaller Earthquakes. https://nam-feitenencijfers.data-app.nl/download/rapport/62551a04-c1c3-4712-86e8-NAM_6c625ab5ee4c?open=true

Aanvulling

Aanvraag Instemming Winningsplan

Botlek

“Locatie-specifieke duiding van het seismisch risico”

21 juni 2018

1 Inleiding

Hoofdstuk 8 van het aangepaste winningsplan voor het gasveld Botlek beschrijft het seismisch risico volgens de Seismische Risico Analyse (Ref 1). Het Botlek veld valt in Seismische Risicocategorie II, met name vanwege een hoge score op "bovengrondse factoren". Sectie 8.7 van het winningsplan geeft een algemene duiding van de uitkomst van de risicoanalyse. Deze aanvulling geeft een meer locatie-specifieke duiding.

2 Mogelijke gevolgen van een beving

Dit hoofdstuk gaat in op de duiding van de mogelijke gevolgen van aardbevingen. Hierbij is gekeken naar

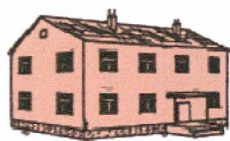
- een aardbeving met magnitude $M=2,5$, wat de sterkste beving is die in de laatste 10 jaar boven kleine gasvelden buiten het Groningen gasveld is waargenomen.
- een aardbeving met magnitude $M=3,9$, wat de hoogste theoretische waarde is voor de "realistisch sterkste beving" (M_{max}) in het winningsplan Botlek¹

De conclusie van dit hoofdstuk is dat bij deze bevingen schade voornamelijk beperkt blijft tot "gradatie 1 schade" (verwaarloosbare tot lichte schade) en dat er geen gevolgrisco is door grootschalige schade aan gebouwen, dijken of infrastructuur.

2.1 Schade door aardbevingen

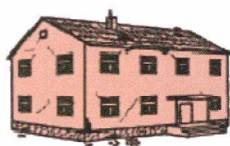
Aardbevingsschade kan worden geclassificeerd volgens de "European Macroseismic Scale", EMS-98. De schaal is opgebouwd uit 5 schadeklassen ("gradaties"). Een vertaling van deze schaal door Deltares (Ref. 2) is in Figuur 1 weergegeven voor metselwerk gebouwen, waar de eerste 3 gradaties van de schaal getoond worden.

Gradatie 1 betreft niet-constructieve schade zoals scheurtjes in het pleisterwerk. Bij gradatie 2 is sprake van "lichte constructieve schade", waarbij er ook scheurtjes in constructieve delen van het gebouw te zien kunnen zijn, echter er zullen geen delen van het gebouw omvallen of instorten. Voor gebouwen in gradatie 3 bestaat er zeer kleine kans dat de schade kan leiden tot gevolgschade. Zelfs na de zwaarste geïnduceerde beving tot nu toe ($M=3,6$ in Huizinge) is voornamelijk schade binnen gradatie 1 geobserveerd. Lichte constructieve schade (gradatie 2) is de maximale schade die tot nu toe mogelijk is geobserveerd².



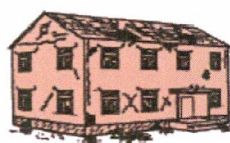
Gradatie 1: Verwaarloosbaar tot lichte schade (geen constructieve schade)

- Haarscheurtjes in een enkele muur;
- Neervallen van slechts kleine stukjes pleisterwerk;
- In een enkel geval vallen van loszittende stenen.



Gradatie 2: Matige schade (lichte constructieve schade)

- Scheuren in veel muren;
- Vallen van grotere stukken pleisterwerk;
- Vallen van delen van schoorstenen.



Gradatie 3: Aanzienlijke tot zware schade (matige constructieve schade)

- In de meeste muren grote en diepe scheuren;
- Dakpannen glijden weg;
- Schoorstenen breken op de daklijn;
- Breuk van enkele niet-constructieve onderdelen.

Figuur 1: Classificatie van schade voor metselwerk gebouwen volgens EMS-98. Illustratie afkomstig uit Ref. 2. Illustraties voor gradatie 4 en 5 zijn niet relevant voor dit document.

¹ Het winningsplan Botlek geeft M_{max} waarden van 3,3 (M_{max} energiebalans) en 3,9 (M_{max} breukslip)

² Er zijn geen schades bekend waarbij is vastgesteld dat gradatie 2 schade eenduidig is veroorzaakt door geïnduceerde aardbevingen. Bij alle grotere schades geldt dat er meerdere oorzaken zijn aan te wijzen die hebben bijgedragen aan de schade.

2.2 Welke Peak Ground Velocity is theoretisch mogelijk?

Enkele begrippen in deze sectie die nadere uitleg behoeven:

Wat wordt bedoeld met PGA en PGV?

Een **accelerometer** meet de versnelling van een trilling aan het aardoppervlakte in 3 richtingen en heeft als eenheid m/s^2 of g ($= 9,81 \text{ m/s}^2$).

De Peak Ground Acceleration of **PGA** is de maximale *versnelling* die gemeten wordt door een accelerometer. PGA is een maat voor kans op schade en is doorgaans de standaard grootte voor seismische dreigingskaarten.

PGV staat voor Peak Ground Velocity. Dit is de hoogste *snelheid* waarmee de grond beweegt op een bepaalde locatie gedurende een trilling aan het aardoppervlakte die is veroorzaakt door een beving.

De PGV wordt berekend door integratie van de grondversnelling, gemeten door een accelerometer. PGV is een alternatieve maat voor kans op schade. In Nederland bestaat er een norm voor schade door trillingen, zoals bijvoorbeeld trillingen veroorzaakt door heiwerkzaamheden (Ref. 4). Deze norm is gerelateerd aan de PGV. Voor schade is met name de horizontale component van de trilling belangrijk en deze kan op verschillende manieren worden ingeschat (Ref. 3). De Technische Commissie Bodembeweging gebruikt de formule $\text{PGV} = \text{PGA} / (2 \pi f)$, en hanteert hierbij $f = 3,2 \text{ Hz}$.

Hoe voorspel je de PGV die hoort bij een beving van bepaalde sterkte?

Tussen aardbevingsmagnitude en PGV bestaat een relatie die de "*ground motion prediction equation*" (**GMPE**) wordt genoemd. Deze relatie wordt doorgaans gekalibreerd aan metingen. De GMPE is een functie die afhankelijk is van de magnitude en de afstand tot het epicentrum van de beving.

Wat wordt bedoeld met een vervolgrisico of ketenrisico?

Met vervolgrisico wordt bedoeld een *indirect* schade- of veiligheidsrisico. Dit risico ontstaat doordat een aardbeving schade aanbrengt aan een belangrijk gebouw, dijk of installatie. Denk hierbij bijvoorbeeld aan een veiligheidsrisico dat kan ontstaan als een leiding zou bezwijken door een aardbeving.

Zoals in het kader hierboven staat beschreven, is het verband tussen magnitude en groundbeweging (Peak Ground Velocity, of PGV) belangrijk voor het bepalen van "de gevolgen van een beving". Dit verband wordt beschreven door de "*ground motion prediction equation* (**GMPE**)".

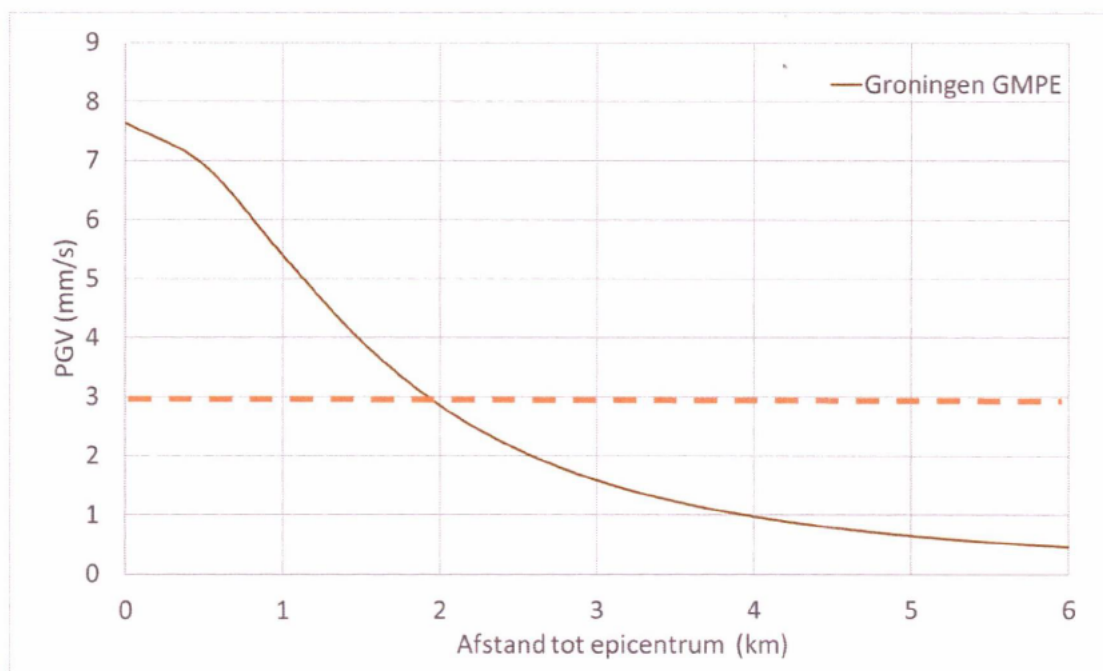
De laatste 5 jaar is er veel onderzoek verricht naar de GMPE voor het Groningen gasveld. De PGV functie van Bommer et al. (2017, Ref. 3) is de meest recente functie uit dit onderzoek³. In sectie 3.2 wordt besproken dat deze GMPE voor Groningen het beste gebruikt kan worden voor Botlek gebied.

De PGV waarden voor een beving met $M=2,5$ zijn getekend in Figuur 2. Figuur 2 laat zien dat

- de PGV curve onder de 10 mm/s ligt;
 - de PGV curve vanaf een afstand van 2 kilometer van het epicentrum onder de 3 mm/s valt.
- De SBR Trillingsrichtlijn A uit 2017 (Ref. 4) geeft 3 mm/s als strengste grenswaarde: 1% kans op schade voor monumentale panden of panden in slechte staat. Onder deze grenswaarde is de kans op schade zeer klein⁴.

³ Zie hoofdstuk 3 voor de wiskundige beschrijving van de Groningen GMPE

⁴ De waarde van 3 mm/s is gebaseerd op Ref. 4, waarbij de 5 mm/s voor categorie 2 bouwwerken van Figuur 10.3 is gecombineerd met een veiligheidsfactor 1,7 voor gebouwen met "monumentale status of in een gevoelige staat". Voor snelheden onder de gestelde SBR normen geldt dat de kans op schade kleiner is dan 1%, welke als acceptabel wordt gesteld in de richtlijn.



Figuur 2: PGV voor een beving van $M=2,5$ als functie van de afstand tot het epicentrum volgens de Groningen GMPE. De stippellijn representeert de grenswaarde voor 1% kans op schade voor monumentale panden of panden in slechte staat volgens de SBR Trillingsrichtlijn A uit 2017 (Ref. 4).

2.3 Welke schade is mogelijk bij zo'n maximale Peak Ground Velocity?

De volgende stap is de relatie tussen PGV en schade. Voor de relatie met schade wordt met name gekeken naar mogelijke schade aan huizen, omdat hier veel gegevens over beschikbaar zijn. Speciale infrastructuur als dijken, industrie, ziekenhuizen en scholen zijn over het algemeen sterker gebouwd dan het zwakste type huizen. De PGV grenzen die bepaald worden voor huizen zijn daarom een conservatieve benadering voor de grenzen die gelden voor deze speciale infrastructuur.

Zoals in sectie 2.1 staat beschreven, wordt schade aan gebouwen uitgedrukt in schade-gradaties. Om aan te tonen dat geïnduceerde bevingen in de kleine velden van magnitude $M=2,5$ maximaal kunnen leiden tot gradatie 1 schade, toont Tabel 1 een aantal grenswaarden voor gradatie 2.

De tabel geeft aan dat:

- Een grenswaarde van 3 mm/s komt overeen met de laagste trillingssnelheid waarbij volgens de SBR Trillingsrichtlijn A schade kan ontstaan aan gebouwen (Ref. 4)
- Volgens Ref. 6 kunnen bij een PGV waarde van 130 mm/s eerste haarscheurtjes ontstaan in de constructieve delen van een rijtjeshuis. Voor een vrijstaand huis is dit 175 mm/s. Volgens Ref. 7 zou bij een PGV waarde van 120 mm/s tot 1% van gebouwen de eerste tekenen van schade aan constructieve delen zullen vertonen. Bij een PGV waarde van 260 mm/s is dit percentage opgelopen tot 10%.

Tabel 1: PGV waarden uit recente experimenten en literatuur.

Soort schade	Type huis	PGV (mm/s)	Bron
Gradatie 1 - grenswaarde	Algemeen	3	Ref. 4
Gradatie 2 – eerste haarscheurtjes	Rijtjeshuis	130	Ref. 6
	Vrijstaand huis	175	
Gradatie 2 – 1%	Algemeen	120 - 350	Ref. 7, Ref. 8
Gradatie 2 – 10 %	Algemeen	260 – 480	

Volgens Tabel 1 ligt de meest conservatieve grens voor kans op gradatie 2 schade dus rond de 120 mm/s. Uit de theoretische snelheidscurves zoals getoond in Figuur 2 blijkt dat de maximale snelheid bij een beving van $M=2,5$ ver onder deze grenswaarde ligt. Bij een beving van $M=2,5$ blijft schade aan gebouwen dus waarschijnlijk beperkt tot gradatie 1 in een klein gebied rond het epicentrum. Dit geldt ook voor objecten zoals dijken, industrie etc. die genoemd zijn in de leidraad.

Een beving van magnitude $M=3,9$ zou volgens de GMPE vergelijkingen een maximale snelheid van ongeveer 70 mm/s geven aan het maaiveld. Ook deze snelheid ligt onder de grenswaarden van gradatie 2 schade voor gebouwen die beschreven zijn in de literatuur. Gebruik makend van Tabel 1 kan afgeleid worden dat zelfs voor deze extreme situatie:

- schade aan gebouwen voornamelijk "beperkt" blijft tot gradatie 1, met een kleine kans op gradatie 2 schade;
- deze schade ook geldt ook voor objecten als dijken, industrie etc. zoals die genoemd zijn in de leidraad;
- er geen schade van gradatie 3 of hoger verwacht kan worden, welke eventueel tot gevolgrisco kan leiden.

2.4 Kan "gevolgrisco" optreden?

Bij een beving van $M=2,5$ blijft schade aan objecten zoals dijken, industrie, etc. dus beperkt tot gradatie 1. De EMS-98 laat zien dat een gevolgrisco voornamelijk kan ontstaan indien een gebouw in gradatie 4 of 5 komt en dat er een kleine kans op een gevolgrisco bestaat indien een object in gradatie 3 komt.

Zelfs voor de theoretisch maximale magnitude van $M=3,9$ met een maximale PGV van 70 mm/s, kan geen gradatie 3 schade verwacht worden. Het is daarom onwaarschijnlijk dat geïnduceerde bevingen een dusdanige schade kunnen veroorzaken aan de objecten "Industrie, speciale gebouwen, infrastructuur en dijken" (Ref. 1) dat een gevolgrisco zou kunnen ontstaan.

Om deze constatering te verifiëren kunnen we kijken naar de gevolgen van de zwaarste beving die in Nederland ooit gemeten is, de Roermond beving in 1992. Voor deze beving, met een magnitude van 5,8, zijn grondsnelheden in de buurt van het epicentrum geschat van 140 mm/sec. Omdat een diepe tektonische beving een aanzienlijk langere trillingsduur heeft dan een geïnduceerde aardbeving, is de kans op schade hoger. Toch zijn ook in Roermond geen observaties bekend van gevolgrisco's.

2.5 Conclusie

- Voor een beving met een magnitude van $M=2,5$, de maximale beving die in de laatste 10 jaar is waargenomen boven kleine velden, geldt dat er kleine kans op gradatie 1 schade is voor een zeer beperkt gebied rondom het epicentrum van de beving.
- Zelfs bij een beving met een magnitude van $M=3,9$ zal de mogelijke schade zich voornamelijk beperken tot gradatie 1 schade.
- De kans op vervolg- of ketenrisico door schade aan objecten zoals industrie, speciale gebouwen, infrastructuur en dijken is verwaarloosbaar.

3 Bijlage A: GMPE functies

3.1 GMPE voor Groningen

De PGV-functie van Bommer et al. (2017, Ref. 3) is de meest geschikte functie voor het Groningen veld. Deze dempingsfunctie is gekalibreerd met de bevingen die boven het Groningen gasveld zijn geobserveerd:

$$\ln(PGV) = C_1 + C_2 M + g(R)$$

met R de afstandstraal tot het epicentrum die wordt gedefinieerd door:

$$R = \sqrt{R_{epi}^2 + [\exp(0.423M - 0.6083)]^2}$$

$$g(R) = C_4 \ln(R) \text{ voor } R \leq 6.32 \text{ km.}$$

Voor de waarden van C_1 , C_2 en C_4 worden verschillende waarden gegeven afhankelijk van de gebruikte definitie van de horizontale PGV (Tabel 2).

Tabel 2: Waarden voor C_1 , C_2 en C_4 voor de Bommer et al. (2017) dempingsfunctie (Ref. 5)

Coëfficiënt	Waarde
C_1	-5,4801
C_2	2,4509
C_4	-2,0385

PGV_{RotMax} is de meest conservatieve benadering en gebruikt voor de grafiek in Figuur 2. Deze wordt gedefinieerd door:

$$PGV_{RotMax} = \max \left[\sqrt{V_{NS}(t^2) + V_{EW}(t^2)} \right]$$

met V_{NS} de snelheid in de Noord-Zuid richting en V_{EW} de snelheid in de Oost-West richting (Ref. 5).

3.2 GMPE voor Botlek

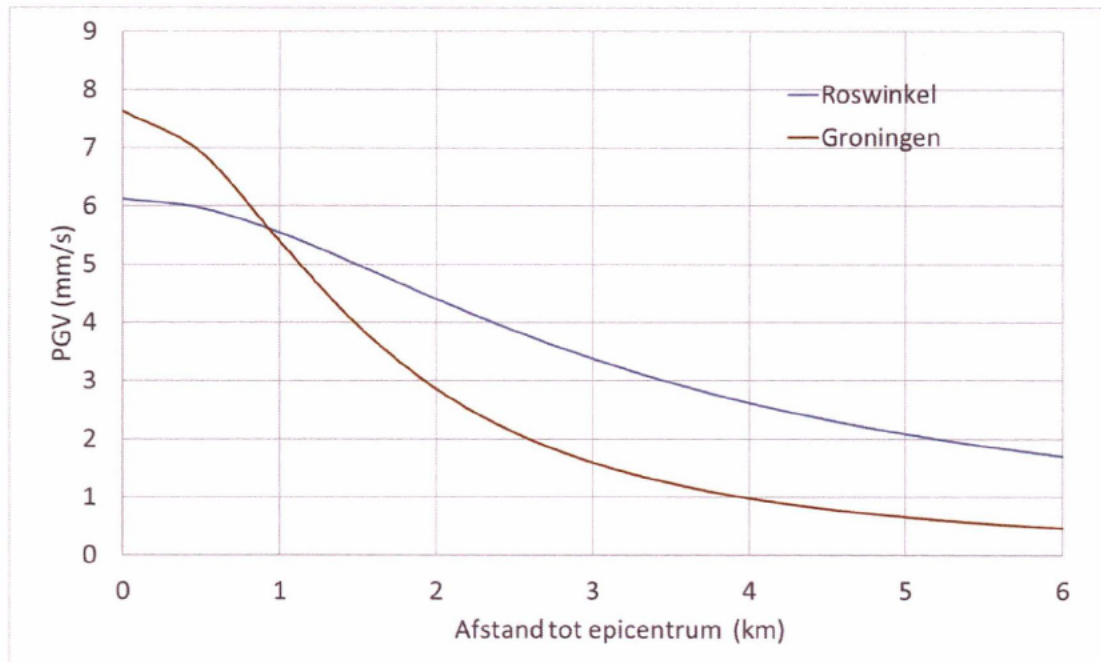
Omdat er geen bevingen in Zuid-Holland geregistreerd zijn, is een locatie-specifieke GMPE voor Botlek niet beschikbaar. De gasvelden in Zuid-Holland liggen ondieper dan het Groningen veld en niet onder een dikke zoutlaag. Het Roswinkel veld in Zuidoost-Drenthe ligt ook boven een dikke zoutlaag op een diepte van ongeveer 2,5 km en heeft in het verleden geïnduceerde bevingen vertoond. Ref. 6 beschrijft een functie voor een PGV die gekalibreerd is aan de Roswinkel acceleratie data. In deze functie wordt PGV in cm/s berekend met:

$$\log(PGV) = -1.53 + 0.74M_W - 0.00139R_{hyp} - 1.33\log(R_{hyp})$$

waarbij M_W de "moment magnitude" is en R_{hyp} de afstand in km tot het hypocentrum, de locatie van de beving in de ondergrond.

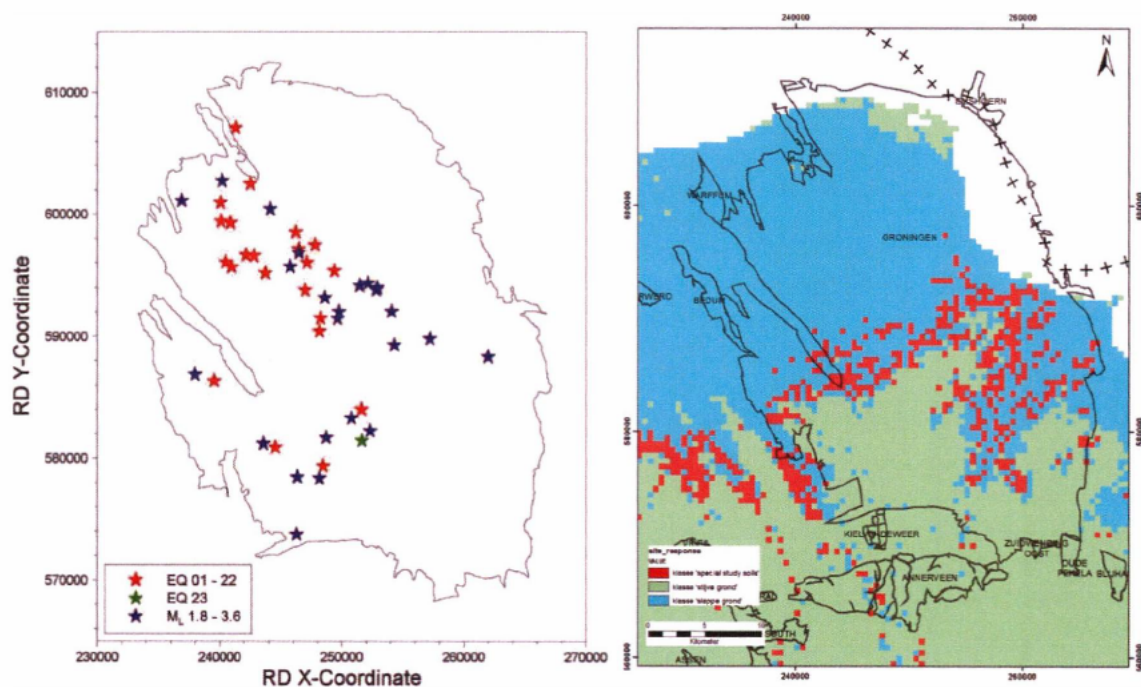
Met beide GMPE's zijn PGV-curves voor een beving met een magnitude van 2,5 uitgewerkt in Figuur 3. Opvallend is dat er een hogere en scherpere PGV wordt berekend met de Groningen GMPE, hoewel deze bij een diepere beving hoort. Dit kan mogelijk verklaard worden doordat de Roswinkel functie bepaald is met een kleinere dataset van metingen, met weinig datapunten verwijderd van het epicentrum.

Omdat de Groningen functie gebaseerd is op een significant grotere dataset, is de Groningen GMPE een betrouwbaarder voor Botlek voorspellingen dan de Roswinkel functie.



Figuur 3: PGV voor een beving van $M=2,5$ als functie van de afstand met het epicentrum. Voor de functie van Roswinkel is uitgegaan van een diepte voor het gasveld van 2,5 km. De PGV voor Groningen gaat uit van een beving met een diepte van 3 km.

Ondiepe grondlagen spelen een belangrijke rol in een mogelijke opslingering van de trillingsgolven bij een beving. Boven het Botlek gasveld is de ondiepe ondergrond opgebouwd uit grondsoorten in de categorie "slappe grond". Figuur 4 toont dat ook voor Groningen bevingen het merendeel van de gegevens komt uit metingen boven "slappe grond". De Groningen GMPE is daarom een goede basis voor de risicoanalyse van Botlek.



Figuur 4: Locaties van de bevingen die gebruikt zijn voor de bepaling van de Groningen GMPE (links) en kartering van de ondiepe grondlagen (rechts).

4 Referenties

1. 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/geïnduceerde-seismiciteit>
2. Deltares (2011) Gebouwschade Loppersum. Rapport nr 1202097-000.
3. Bommer, J.J., Stafford, P.J., Ntinalexis, M. (2017) Empirical Ground-Motion Prediction Equations for Peak Ground Velocity from Small-Magnitude Earthquakes in the Groningen Field Using Multiple Definitions of the Horizontal Component of Motion-Updated Model for Application to Smaller Earthquakes.
<https://nam-feitenencijfers.data-app.nl/download/rapport/62551a04-c1c3-4712-86e8-NAM6c625ab5ee4c?open=true>
4. SBRCURnet (2017) SBR Trillingsrichtlijn A: Schade aan bouwwerken, december 2017
5. Bommer, J.J., Stafford, P.J., Ntinalexis, M. (2016) Empirical Ground-Motion Prediction Equations for Peak Ground Velocity from Small-Magnitude Earthquakes in the Groningen Field Using Multiple Definitions.
<https://nam-feitenencijfers.data-app.nl/download/rapport/8b292dcd-7507-4067-b0d1-5564e407c9d1?open=true>
6. NAM (2017) Technisch Addendum bij het MR Protocol 2017.
7. Okada, S. and Takai (2000) Classifications of structural types and damage patterns of buildings for earthquake field investigation. In: 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand.
8. Hancilar et al (2012) Empirical fragility assessment after the January 12, 2010 Haiti Earthquake. Risk Analysis VII: Eight international conference on simulation in risk analysis and hazard mitigation. WitPress ISBN 978-1-84564-620-2. P 353-365
9. Dost, B., Ruigrok, E., and Spetzler, J. (2017). Development of seismicity and probabilistic hazard assessment for the Groningen gas field. *Netherlands Journal of Geosciences*, 96(5), S235-S245. doi:10.1017/njg.2017.20



dgetm. eo