Staatstoezicht op de Mijnen
Ministerie van Economische Zaken

Advies

Winningsplan Groningen 2016

Staatstoezicht op de Mijnen

Staan voor veiligheid en gezondheid van burgers en werknemers, bescherming van het milieu en zorg voor onze natuurlijke hulpbronnen. Dat is de missie voor het toezicht dat SodM houdt op de delfstoffenwinning in Nederland.

Mei 2016

Inhoud

Samenvatting 4
1. Inleiding 16
2. Eerdere adviezen 18
3. Effect van de genomen maatregelen 22
3.1 Ontwikkeling gaswinning 22
3.2 Ontwikkeling bevingen 23
4. Beoordeling winningsplan Groningen gasveld 2016 26
4.1 Basis voor het winningsplan 26
4.1.1 Verbeteringen in de modellen van NAM 26
4.1.2 Uitbreiding van metingen in het veld 27
4.1.3 Kwaliteit van het uitgevoerde studie- en data-acquisitie programma 27
4.2 Werkwijze voor de beoordeling 28
4.2.1 Analyses en controleberekeningen uitgevoerd door andere partijen 28
4.2.2 Toetsing 29
4.3 Volledigheid 29
4.4 Planmatig beheer 30
4.5 Bodemdaling 31
4.5.1 Positie NAM in winningsplan 31
4.5.2 Oordeel SodM 33
4.6 Bodemtrillingen 34
4.6.1 Positie NAM in winningsplan 34
4.6.2 Oordeel SodM 39
5. Meet- en regelprotocol 44
5.1 Positie NAM 44
5.2 Oordeel SodM 45
6. Aanvullende analyses en voortschrijdend inzicht 47
6.1 Ontwikkeling bodemdaling 47
6.2 Ontwikkeling ruimtelijke verdeling seismiciteit 49
6.2.1 Ontwikkeling seismiciteit centrumgebied (omgeving Loppersum) 51
6.2.2 Ontwikkeling jaarlijkse fluctuaties in gaswinning en seismiciteit 51
7. Synthese en conclusies 53
8. Advies 58
9. Referenties 60

Bijlage I: definities en begrippen 62
Bijlage II: CBS studies m.b.t. trends en correlaties seismiciteit. 65
1. CBS vervolganalyse trendveranderingen aardbevingen (per deelregio): 65
2. CBS-studie naar de correlatie tussen gasproductie en seismiciteit 66
Bijlage III: PHRA methodiek 68
1. De modelketen 68
2. Onzekerheden 71
3. Kwaliteitscontrole 73
Bijlage IV: Beschouwing maatschappelijk Risico 76
Bijlage V: Het alarmeringssysteem 79

Samenvatting

Deze samenvatting is bedoeld als zelfstandig te lezen stuk, maar verwijst soms naar hoofdstukken van het adviesrapport en bijlagen waar meer toelichting of uitleg te vinden is. Op 1 april 2016 heeft de Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM) bij de Minister van Economische Zaken (EZ) een geactualiseerd winningsplan voor het Groningenveld ingediend en een voorstel voor een bijbehorend Meet- en regelprotocol. De Minister heeft SodM op 19 april 2016 gevraagd over het winningsplan te adviseren tegen de achtergrond van de criteria van artikel 36 van de Mijnbouwwet. Ook vraagt de minister de visie van SodM op de stelling van NAM dat in combinatie met een Meet- en regelprotocol er mogelijk meer dan 27 miljard Nm^3 per jaar gewonnen kan worden met als bovengrens 33 miljard Nm^3 per jaar. Tenslotte vraagt de minister om aan te geven of het bij het winningsplan ingediende, nieuwe Meet- en regelprotocol ten genoegen van de Inspecteur-generaal der Mijnen is opgesteld.

SodM heeft dit advies niet uitsluitend gebaseerd op de door NAM ingediende stukken, maar ook op studies, analyses en controleberekeningen van andere partijen. De resultaten van deze studies werpen een onafhankelijk en voor wat betreft sommige aspecten ook een ander licht op de zaak.

SodM is zich ten volle bewust van het feit dat het in het dossier gaswinning Groningen om veel meer dan om alleen de technische aspecten gaat. Vanuit zijn eigen rol en expertise beperkt SodM zich in dit advies voornamelijk tot die technische aspecten. Hierbij wordt het zoveel mogelijk voorkomen van schade en overlast nadrukkelijk naast het berekenen van het veiligheidsrisico geplaatst.

1. Ontwikkelingen sinds 2013

Sinds het vorige winningsplan dat in 2013 is ingediend en beoordeeld, is er veel gebeurd. In zijn besluit van januari 2014 heeft de Minister aangegeven dat per 1 juli 2016 van NAM een nieuw winningsplan werd verlangd. Naar aanleiding van de uitspraak van de Raad van State is deze datum veranderd in 1 april 2016. NAM heeft sinds het vorige winningsplan een omvangrijk onderzoeksprogramma uitgevoerd om tot meer inzichten en een beter begrip te komen van de risico's van geïnduceerde aardbevingen in Groningen. Voor wat betreft de kortere termijn heeft dit onderzoek zich vooral toegespitst op het berekenen van het individueel seismisch veiligheidsrisico gegeven bepaalde aangenomen winningsscenario's. Ook heeft NAM in samenspraak met KNMI meer meetapparatuur laten plaatsen, met als resultaat dat bodembewegingen nu met een veel grotere nauwkeurigheid kunnen worden gemeten dan in het verleden.

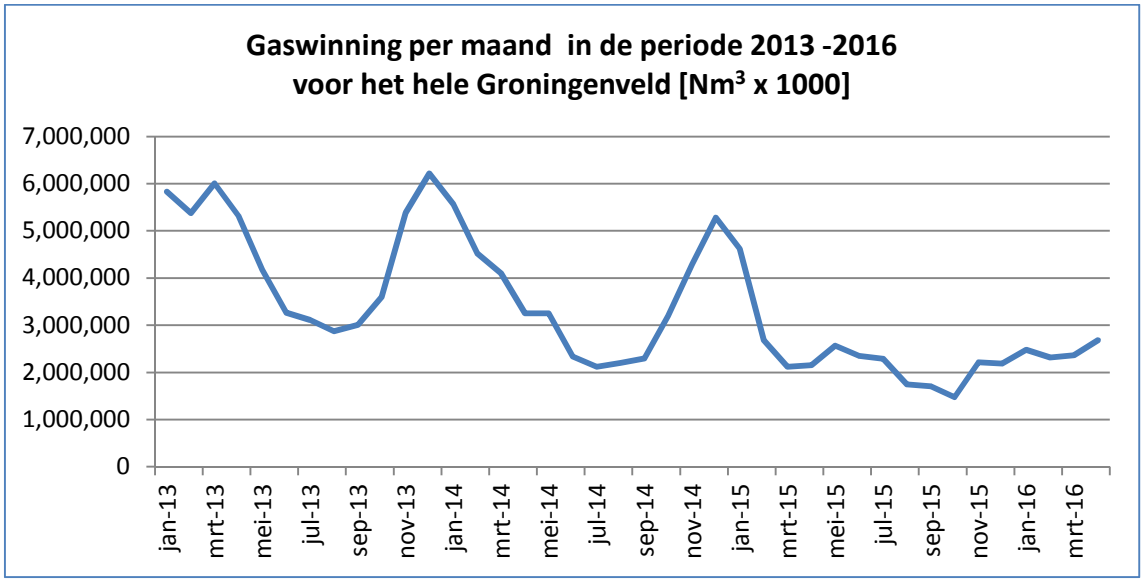
Sinds het optreden van de sterke aardbeving bij Huizinge in 2012 is aanzienlijke vooruitgang geboekt. Het wetenschappelijke niveau van het uitgevoerde werk is hoog, maar dit garandeert niet een hoge betrouwbaarheid of bruikbaarheid van de resultaten. Verder wordt opgemerkt dat de onderzoeken van NAM een sterk technologisch karakter hebben en dat een breder maatschappelijk perspectief, zoals op het voorkomen van schade, overlast en maatschappelijke onrust veelal ontbreekt.

Op verzoek van SodM is de afgelopen drie jaar door TNO, TU Delft, KNMI en CBS een aantal onafhankelijke studies uitgevoerd ter beoordeling van de juistheid, de betrouwbaarheid, de relevantie en de volledigheid van de door NAM uitgevoerde studies. Ook is aan deze partijen gevraagd nieuw opgekomen hypotheses te toetsen. Hieruit zijn op een aantal aspecten

nieuwe inzichten verkregen. Ook is een aantal onafhankelijke buitenlandse experts door SodM om een beoordeling van de door NAM behaalde resultaten gevraagd.

2. Effecten van de genomen maatregelen

Vanaf januari 2014 heeft het Kabinet verschillende achtereenvolgende besluiten genomen die tot gevolg hebben gehad dat de jaarlijkse gaswinning in stappen is teruggebracht van 53,9 miljard Nm^3/jaar in 2013 naar 27 miljard Nm^3/jaar in 2016. Wanneer niet naar de jaarlijkse, maar naar de maandelijkse gerealiseerde gasproductie in de periode sinds 2013 wordt gekeken, valt op dat er zowel sprake is van een dalende trend gedurende de laatste drieënhalf jaar, als van het sterk reduceren van de seizoensfluctuaties (zomer vs. winter) in de gasproductie vanaf het voorjaar van 2015.

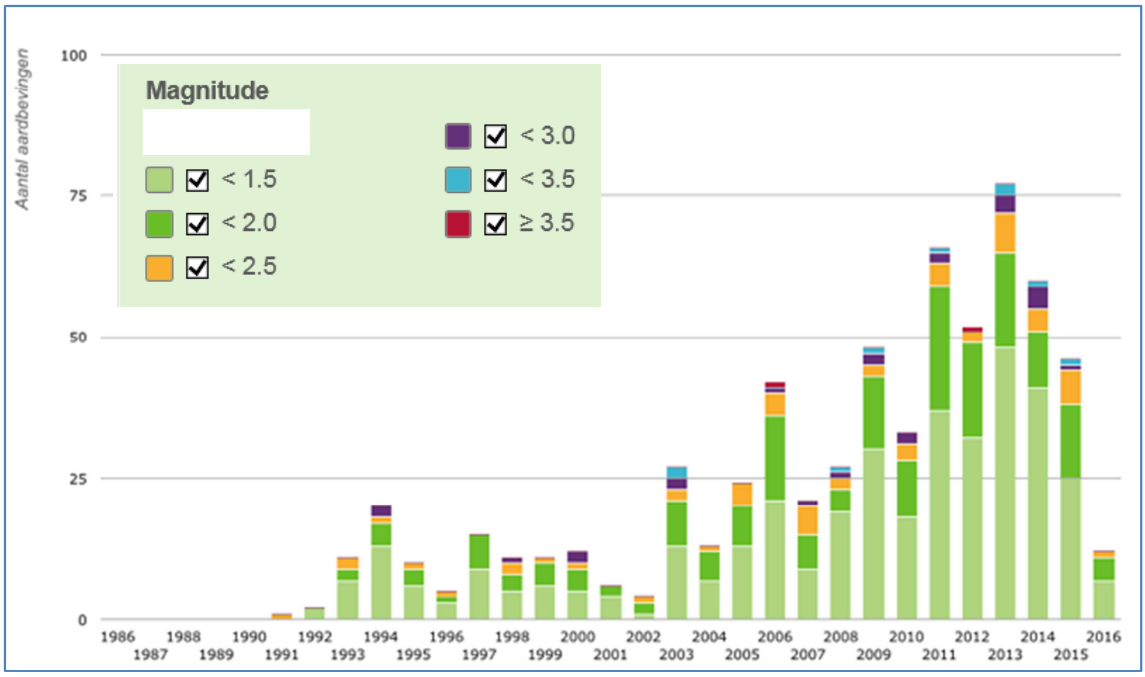


Maandelijks niveau van de gaswinning voor het Groningenveld sinds 2013

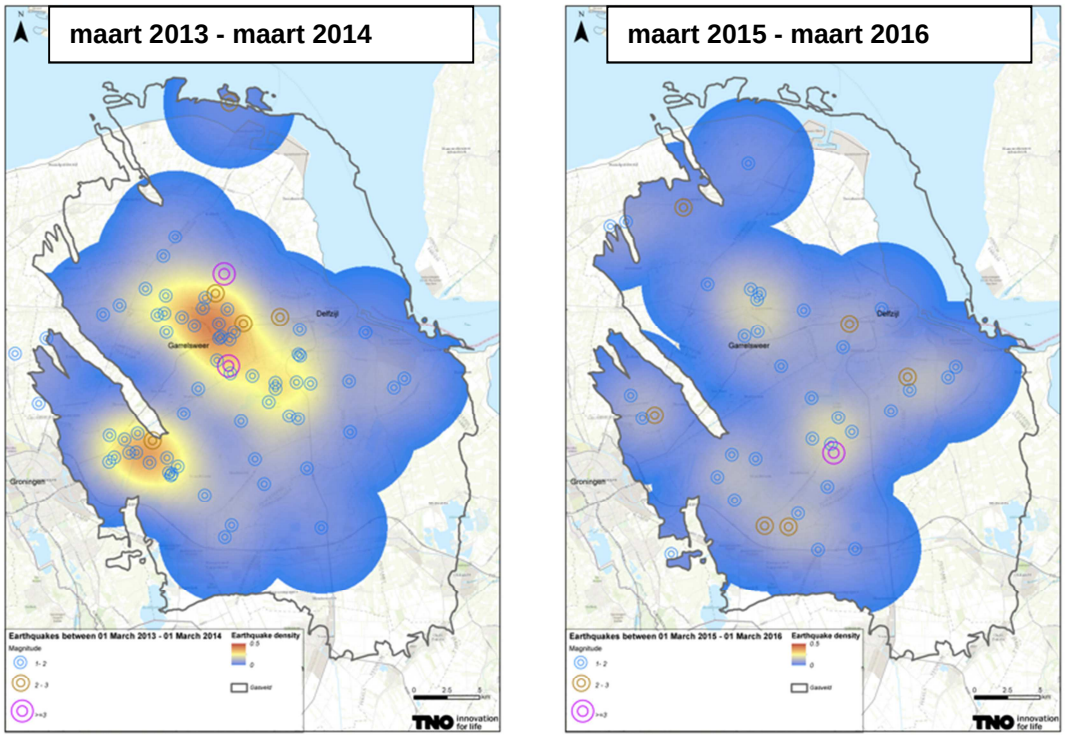
Het ingrijpen in de gasproductie vanaf 2014 heeft een duidelijk effect gehad op de mate van seismiciteit. De seismische activiteit is na de ingrepen in de productie sterker afgenomen dan voorafgaand aan de maatregelen voorspeld werd. Analyses van CBS en TNO geven aan dat de veranderingen op een hoog betrouwbaarheidsniveau statistisch significant zijn.

Specifiek in het gebied rondom Loppersum is de winning in 2014 sterk gereduceerd. De bodemdalingsmetingen laten een (in tijd vertraagde) verlaging van de bodemdalingssnelheid in dit gebied zien na de sterke afname van de productie daar in januari 2014. CBS bevestigt dat de waargenomen veranderingen in de aantallen bevingen en in de verdeling van de bevingen over het veld na aanpassingen in de gasproductie statistisch significant zijn op betrouwbaarheidsniveaus van 95 tot 99%. In het jaar 2016 (tot en met mei) heeft zich in het gebied Loppersum nog geen beving met een magnitude van 1,0 of hoger voorgedaan.

Na de ingreep van begin 2014 zijn er zorgen in de regio geweest of het zeer sterk reduceren van de gaswinning uit de productieclusters rond Loppersum zou gaan leiden tot een toename van de productie en de seismiciteit elders in het veld. In eerste instantie was hiervan enigszins sprake, maar na verdergaande reductie van het winningsniveau (o.a. bij Hoogezand) is ook in de overige delen van het gebied de seismische activiteit lager dan in 2013 en 2014.



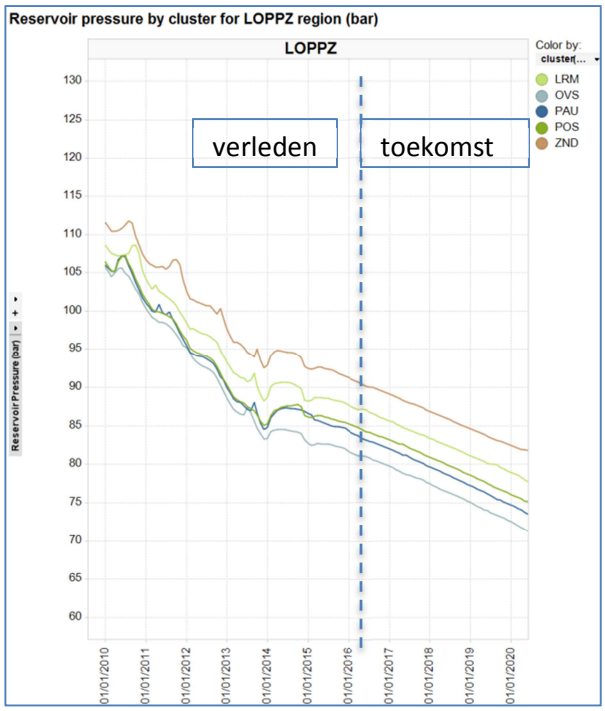
Aantal bevingen met een magnitude van 1,0 of hoger per jaar voor het hele Groningenveld (2016 t/m 31 mei)



Aardbevingsdichtheid van opgetreden bevingen (M >= 1,0) voor twee verschillende perioden. Oranje betekent een relatief hoge dichtheid, blauw een lage. Gedurende het laatste jaar is de dichtheid overal lager dan twee jaar geleden.

Na de ingreep van begin 2014 was het idee van SodM dat het positieve effect op de seismiciteit in de regio Loppersum slechts tijdelijk zou kunnen zijn, vanwege het feit dat drukken uiteindelijk zullen vereffenen. Indien – zoals SodM nu verwacht - de snelheid

waarmee de reservoirdruk daalt een bepalende factor is voor de hoeveelheid en zwaarte van de bevingen, meent SodM nu dat dit effect niet slechts tijdelijk is. In de regio Loppersum worden weinig bevingen meer waargenomen, terwijl de reservoirdruk inmiddels weer aan het dalen is. De daling verloopt daar nu echter minder snel en vanwege het ontbreken van de jaarlijkse fluctuatie ook geleidelijker dan vroeger.



Daling van de reservoirdruk in de vijf productieclusters bij Loppersum voor de periode 2010 t/m 2020. Aanname is dat de clusters bij Loppersum op hetzelfde niveau produceren als nu.

Conclusie: De ingrepen in de gaswinning vanaf januari 2014 zijn effectief geweest. Er is een afname van seismische activiteit in het hele veld (zowel van de lichtere als van de zwaardere bevingen) en een zeer sterke afname in het Loppersum-gebied. Bovendien is het aantal zwaardere bevingen ten opzichte van de lichtere bevingen relatief afgenomen.

Conclusie: Het vertrouwen is toegenomen dat het systeem regelbaar is.

3. Beoordeling winningsplan 2016

SodM heeft het door NAM ingediende winningsplan beoordeeld op volledigheid, kwaliteit, planmatig beheer en de risico's die verbonden zijn met bodemdaling en met aardbevingen. Hierbij is artikel 36 van de Mijnbouwwet leidend geweest.

Volledigheid

SodM stelt vast dat afgezet tegen de wettelijke vereisten genoemd in de Mijnbouwwet, art. 35 en het Mijnbouwbesluit, art. 24 het ingediende winningsplan compleet is. Wel zijn er kanttekeningen te plaatsen bij de kwaliteit van het ingediende. Deze betreffen zowel leesbaarheid en consistentie als specifieke inhoudelijke aspecten. SodM is van mening dat de kwaliteit van de rapportage tekort schiet en het gevraagde niveau van "*technical best*" niet op alle onderdelen haalt.

Een belangrijke tekortkoming is gelegen in het feit dat NAM nog niet in staat is gebleken een systeemoptimalisatie en een bijhorend risicobeheerssyteem te ontwikkelen die het seismisch

risico nog verder zouden kunnen reduceren, door te zorgen voor een optimale verdeling van de gaswinning over de verschillende deelgebieden.

Planmatig beheer

Het winningsplan Groningen 2016 getuigt van voldoende oog voor planmatig beheer, zoals bedoeld in de Mijnbouwwet, maar in de engere - tot nu toe gehanteerde - zin. De productieverdeling over de clusters is nog niet ingericht op basis van vermindering van het seismisch risico. Een ruimere interpretatie van planmatig beheer zou vergen dat dit wel gebeurt. Bij de afweging om in de toekomst eventueel nieuwe productieputten te boren dient naar de mening van SodM het reduceren van het seismisch risico door een optimale ruimtelijke verdeling van de productie leidend te zijn. In het winningsplan wordt nu gekozen voor het handhaven van de huidige verdeling van de productie over de productieclusters. Deze keuze wordt echter niet goed onderbouwd.

Met betrekking tot het in de toekomst eventueel ontwikkelen van het Carboon kan SodM zich vinden in de positie van NAM om de ontwikkeling van het Carboon uit te stellen. Bij toekomstige herzieningen van het winningsplan Groningen zal NAM telkens moeten nagaan of er mogelijkheden zijn om het gas uit gasvoerende reservoirlagen van het Carboon op een verantwoorde manier te winnen.

Bodemdaling

Op verzoek van SodM heeft TNO een technische review uitgevoerd op de door NAM gebruikte ondergrondmodellen die ten grondslag liggen aan de bodemdalingsberekeningen. Daarnaast heeft TNO op basis van diezelfde modellen een aantal controleberekeningen uitgevoerd op de door NAM berekende bodemdaling. TNO kan zich goed vinden in de aanpassingen door NAM van de ondergrondmodellen ten opzichte van de versies die gebruikt werden bij het vorige winningsplan van 2013. SodM constateert echter dat tot nu toe slechts een beperkte onzekerheidsanalyse is uitgevoerd op de eigenschappen en parameters in de ondergrondmodellen en de gevolgen daarvan voor de onzekerheid in de bodemdaling. Naar het oordeel van SodM dient dit alsnog te gebeuren.

Verder heeft SodM geconstateerd dat er niet begrepen verschillen bestaan tussen de recente bodemdalingsnelheden bepaald aan de hand van drie verschillende meetmethoden (waterpasmetingen, PS-InSAR radar reflecties en metingen met permanente GPS stations). De oorzaak van deze verschillen dient te worden onderzocht. In afwachting daarvan adviseert SodM de bodemdaling ook vast te stellen op basis van uitsluitend waterpasmetingen en het effect daarvan op de voorspellingen van de bodemdaling vast te stellen.

Aan het einde van de gaswinning voorspelt NAM nu een bodemdaling van ongeveer 46 cm in het diepste punt van de dalingskom. Door drukvereffening en nakruip komen daar nog enkele centimeters bij, resulterend in een voorspelde bodemdaling in het diepste punt van ongeveer 50 cm in het jaar 2100. De door TNO uitgevoerde controleberekeningen leiden tot ongeveer hetzelfde resultaat.

Conclusie: Dit alles leidt tot een positief oordeel van SodM over de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de door NAM aangeleverde prognoses van de bodemdaling.

Aardbevingen

In het vorige winningsplan van 2013 vervulden kaarten van PGA (grondversnellingen) een belangrijke rol. Zulke kaarten zijn een expressie van de seismische dreiging. In 2013 was NAM nog niet zo ver dat seismische dreiging vertaald kon worden in seismisch risico. De afgelopen twee jaar heeft NAM deze stap wel genomen. Daarom staat nu in het winningsplan de berekening van het seismisch veiligheidsrisico centraal. Dit is de kans op overlijden van een individu op een bepaalde plaats. Met behulp van een complexe modelleringsketen worden onzekerheden behandeld door Monte Carlo simulaties toe te passen. De laatste twee jaar is door NAM veel energie gestoken in het verbeteren en verfijnen van deze vorm van modellering.

SodM plaats twee kanttekeningen bij de centrale rol van het berekende veiligheidsrisico.

1. De Mijnbouwwet (artikel 33) stelt dat schade zoveel mogelijk voorkomen moet worden. Dat geldt ook voor schade die nauwelijks bijdraagt aan het veiligheidsrisico. Het volstaat dus niet er alleen voor te zorgen dat het veiligheidsrisico binnen de norm (van 10^{-5} per jaar) blijft, en daar waar dat nog niet het geval is huizen te versterken.
2. Er is een aantal redenen om de uitkomsten van de berekening van het veiligheidsrisico in twijfel te trekken:
    a. Er zijn nog steeds grote onzekerheden in de gehanteerde modellen voor de risicoberekening.
    b. In een vroeg stadium gemaakte keuzes en aannames in de gebruikte modellen hebben een grote invloed op de effecten van veranderingen in de gasproductie op de berekende risico's.
    c. De verschillende risico's waaraan een individu wordt blootgesteld, zijn door NAM niet opgeteld in de berekening van het individueel risico. Voor de berekening van de risico's door vallende objecten heeft NAM een alternatieve, onafhankelijke berekeningsmethodiek opgezet. Daarnaast zijn de ketenrisico's nog niet (goed) in kaart gebracht en dus ook niet meegenomen. Hierdoor is toetsing tegen de norm van 10^{-5} per jaar, zoals vastgesteld door de Minister van Economische Zaken, niet mogelijk.

Conclusie: De modellen en berekeningen van NAM van het veiligheidsrisico zijn beperkt bruikbaar voor het opstellen van een advies over het winningsniveau.

Een specifiek voorbeeld van een in een vroeg stadium gemaakte keuze is het seismologisch model. De resultaten van de risicoanalyse worden sterk bepaald door het gebruikte seismologische model met cumulatieve reservoircompactie als benadering (*proxy*). Compactie is niet de enige oorzaak van de aardbevingen. Aardbevingen worden vooral veroorzaakt door toenemende spanning op breuken in de diepe ondergrond. NAM onderkent overigens dat een '*fault based seismological model*' een goed alternatief zou kunnen zijn en dat zo'n model vergeleken moet worden met het huidige seismologisch model.

Conclusie: Een relativering van de uitkomsten van de modellering en daarmee van de berekening van het seismisch risico is op zijn plaats. SodM acht het daarom van belang om naast de uitkomst van modellen die seismische dreiging en seismisch risico voor de komende jaren voorspellen, de waarnemingen van daadwerkelijk opgetreden bevingen te blijven meenemen in de analyses en adviezen.

Verder is SodM van mening dat NAM de mate waarin schade acceptabel wordt gevonden overschat. De beoordeling van NAM dat schade van niveau DS1[1] en zeker DS2 voor inwoners van Groningen acceptabel zou zijn, wordt door SodM niet gedeeld. DS2 schade (scheuren in meerdere muren) is naar de mening van SodM meer dan "hinder". Bij DS3-schade zijn gebouwen dusdanig zwaar beschadigd dat herstel economisch niet meer haalbaar is en nieuwbouw noodzakelijk wordt. Het voorkomen en beperken van schade zou het uitgangspunt moeten zijn bij de productie. NAM geeft er onvoldoende blijk van dat dit ook voor hen een leidend criterium is. NAM legt de nadruk op mitigerende in plaats van op preventieve maatregelen ter beperking van schade en het verlagen van risico.

Conclusie: NAM legt de nadruk op mitigerende maatregelen ter beperking van schade en het verlagen van risico. SodM benadrukt in dit advies de preventieve maatregelen. Dit laat onverlet dat het versterkingsprogramma met urgentie moet worden uitgevoerd.

Een onafhankelijke controle op alle resultaten van de door de NAM uitgevoerde berekeningen is op dit moment nog niet mogelijk.

Aanbeveling: SodM raadt aan er voor te zorgen dat de berekening van seismisch risico aan de hand van de nu door NAM gebruikte modelketen gereproduceerd en onafhankelijk uitgevoerd kan worden door een onafhankelijke partij.

Maatschappelijk risico

SodM vindt het belangrijk om inzicht te krijgen in de kans op grotere aantallen slachtoffers. NAM heeft eerste berekeningen van het maatschappelijk risico voor een zevental deelregio's aangeleverd (ref.10). Om die eerste berekeningen goed te kunnen toetsen, heeft SodM een groep van risico-experts, waaronder van het RIVM, geraadpleegd. Daarbij is geconstateerd dat het toevoegen van een correctiefactor voor het basisveiligheidsniveau in de definitie van het maatschappelijk risico geen toegevoegde waarde heeft boven de bestaande definitie van groepsrisico.

SodM merkt op dat deze eerste berekeningen van maatschappelijk risico zijn gebaseerd op dezelfde modellen als de berekening van het individueel seismische risico. Daardoor kennen ze dezelfde beperkingen en dienen de resultaten gerelativeerd te worden.

Conclusie: Het groepsrisico dient nog bepaald te worden voor de overige deelregio's en voor het gehele Groningenveld, om inzicht te krijgen in de kans op grotere aantallen slachtoffers. Gegeven de huidige beperkingen zijn de uitkomsten nuttig voor de prioritering van het versterkingsprogramma, maar het belang van de absolute waarden dient gerelativeerd te worden.

4. Beoordeling van het Meet-en regelprotocol

NAM heeft bij het op 1 april 2016 ingediende winningsplan Groningen 2016 een nieuw Meet- en regelprotocol gevoegd. SodM heeft het voorgestelde Meet-en regelprotocol beoordeeld op zijn bruikbaarheid als risicobeheerssysteem. Het voorstel is o.a. getoetst aan eerder dit jaar door de Minister geformuleerde verwachtingen.

Het doel, de randvoorwaarden en de signaalparameters zoals door NAM benoemd komen niet overeen met de kaders, die waren aangereikt door het Ministerie van Economische Zaken. Daarbij zijn de grenswaarden voor de zogenaamde signaalparameters zodanig hoog gekozen dat het onwaarschijnlijk is dat ze overschreden zullen worden.

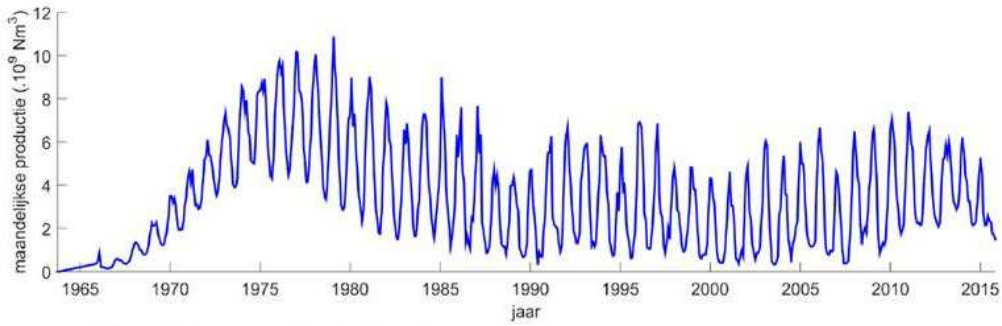
[1] DS staat voor *damage state*; er is een schaal van DS1 (scheuren) t/m DS5 (instorting)

Conclusie: Het ingediende Meet- en regelprotocol is niet ten genoegen van de Inspecteur-generaal der Mijnen.

5. Aanvullende analyses door andere partijen

Omdat de resultaten van de risicoberekeningen van NAM op zichzelf onvoldoende basis vormen voor de vaststelling van een verantwoord niveau van winning en omdat SodM het van belang achtte om over een onafhankelijk oordeel te beschikken, heeft SodM controleberekeningen en andere analyses laten uitvoeren door TNO, CBS en TU-Delft. Naast de hierboven beschreven toetsen op de statistische significantie van waargenomen veranderingen na de ingrepen in de productie, vormen de onderzoeken naar de samenhang van de seismiciteit met fluctuaties in de productie die in het verleden hebben plaatsgevonden een belangrijk element.

Fluctuaties in de gaswinning



Verloop van de maandproductie in de geschiedenis van het Groningenveld.

Vanaf eind jaren zestig is het gas geproduceerd met een seizoensfluctuatie. Hierbij werd 's winters meer gas gewonnen dan 's zomers. SodM dringt vanaf 2012 aan op onderzoek naar het effect van deze productiefluctuaties op de seismiciteit. Onderzoeken door NAM in 2013 en 2015 gaven geen ondersteuning voor het bestaan van zo'n effect. Een mogelijke verklaring zouden de verstorende effecten van de drukvoortplanting in het veld (als gevolg van de winning) op de door NAM toegepaste analysemethodieken kunnen zijn. In 2015 heeft TNO laten zien dat de voor het Groningenveld karakteristieke jaarlijkse seizoensfluctuatie in de winning de waargenomen variaties in het aantal bevingen beïnvloedt (met een vertraging van vijf tot zeven maanden). CBS heeft in een nieuwe studie in 2016 laten zien dat het mogelijk is te corrigeren voor de verstorende effecten van drukvoortplanting. CBS gebruikte de gemodelleerde reservoirdrukken op de locaties van de bevingen. Na deze correctie blijkt er een statistisch significant verband te bestaan tussen de jaarlijkse seizoensfluctuaties en de waargenomen seismiciteit, waarbij zowel naar het tijdstip als naar de positie van de bevingen wordt gekeken (zie ook Bijlage II). Ook geeft CBS aan dat de variaties in de productie (en dus van de wisseling in snelheid van drukdaling) en de variaties in waargenomen seismiciteit met een hoge mate van waarschijnlijkheid met elkaar in causaal verband staan.

Met behulp van meer gegevens uit het veld zelf en een verfijnde techniek in samenwerking met TNO is deze conclusie van CBS inmiddels beter onderbouwd dan in een eerdere studie in 2015.

Conclusie: Aangetoond is nu dat fluctuaties een rol spelen in het ontstaan van bevingen.

Conclusie: SodM acht het van groot belang om de rol van fluctuaties en de mate waarin deze van belang zijn verder te onderzoeken. Intussen is de verwachting dat het vermijden van fluctuaties in de winning - waaronder het wegnemen van de seizoensfluctuatie - zal leiden tot een verdere reductie in de seismiciteit.

Indien het zo is dat de jaarlijkse fluctuaties in productie de aantallen bevingen in de afgelopen twee decennia in sterke mate hebben beïnvloed, dan zou het wegnemen van de seizoensfluctuatie in het laatste jaar kunnen verklaren waarom het seismologisch model van NAM de meest recente waarnemingen van bevingen niet goed voorspeld heeft (zie Bijlage III). Immers, dit model gebruikt uitsluitend empirisch de waargenomen bevingen uit het verleden, relateert deze aan compactie en voorspelt dan de aantallen toekomstige bevingen. In die waarnemingen ligt het zeer regelmatige patroon van de seizoensfluctuaties opgesloten. Deze beperking van het seismologisch model heeft consequenties voor 1. de uitkomsten van de risicoberekeningen, 2. de onderbouwing van NAM's conclusie dat '*de frequentie van aardbevingen vertraagt, maar uiteindelijk niet wezenlijk vermindert*' en 3. voor de voorspelling van aantallen bevingen in het algemeen.

Het veld zou aanzienlijk anders kunnen reageren op ingrepen in de productie dan voorspeld wordt op basis van het door NAM gebruikte model. In het geval de fluctuaties in de winning zouden worden weggenomen, is de inschatting van SodM dat de aantallen bevingen door het huidige model van NAM overschat worden (zie Bijlage III).

Conclusie: De huidige voorspellingen van NAM van het aantal bevingen - gegeven aangenomen productieplafonds en in afwezigheid van fluctuaties – worden door SodM als een *worst case* scenario gezien. De mate van de mogelijke overschatting is echter nog niet te kwantificeren.

6. Advies

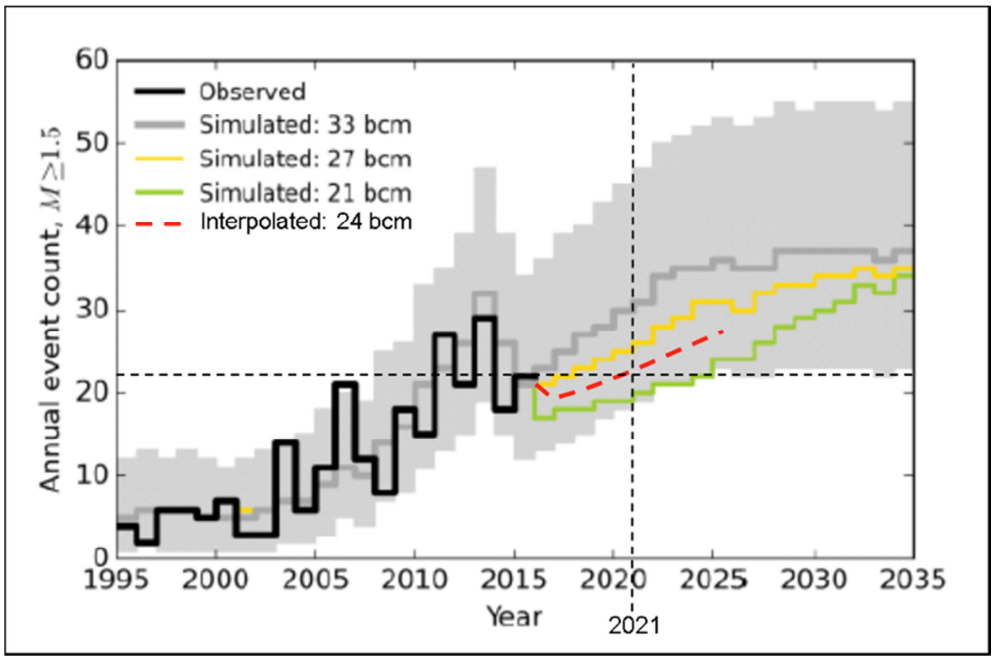
Overwegingen

SodM concludeert dat de resultaten van de risicoberekeningen van NAM geen solide basis vormen voor het vaststellen van een verantwoord winningsniveau en voor het eventueel verhogen van het niveau naar 33 miljard Nm^3/jaar. Bij 33 miljard Nm^3/jaar nemen bovendien de fluctuaties – die naar de inschatting van SodM zoveel mogelijk vermeden dienen te worden - volgens de door NAM gepresenteerde profielen weer toe.

De vraag wat wel een verantwoord jaarlijks winningsniveau zou zijn, is ondanks de toegenomen kennis en inzichten op dit moment niet makkelijk te beantwoorden. Alvorens tot een advies te komen hanteert SodM de volgende overwegingen:

- Door de eerdere ingrepen in de gaswinning blijkt de seismische activiteit bij het huidige niveau van 27 miljard Nm^3/jaar significant afgenomen te zijn.
- SodM verwacht dat het vermijden van fluctuaties in de gaswinning zal leiden tot een nog verdere reductie van de seismische activiteit.
- Er is echter nog enige tijd en meer informatie nodig om bevestigd te krijgen hoe sterk dit effect zal blijken te zijn.
- Anderzijds is het zo dat NAM met het huidige - op compactie gebaseerde - seismologisch model voor productiescenario's van 33 en 27 miljard Nm^3/jaar een toename van seismische activiteit voorspelt gedurende de komende 10 jaar. Voor het scenario van 21 miljard Nm3/jaar voorspelt NAM in die periode een seismische activiteit lager dan in 2015 is waargenomen.

- Interpolatie van de voorspellingen voor scenario's van 21 en 27 miljard Nm^3/jaar laat zien dat een winningsniveau van 24 miljard Nm^3/jaar tot 2021 niet leidt tot hogere aantallen bevingen dan waargenomen in 2015.



Voorspelling van de ontwikkeling van het jaarlijks aantal bevingen volgens het seismologisch model van NAM (ref.10). De interpolatie voor 24 miljard Nm^3 is van SodM. Deze interpolatie laat zien dat tot 2021 het te verwachten aantal bevingen (M≥1,5) lager is dan het waargenomen aantal in 2015.

- Omdat SodM betwijfelt of het seismologisch model van NAM de aantallen bevingen goed voorspelt indien er geen seizoensfluctuaties meer zijn, is de verwachting van SodM dat het model van NAM de toename van het aantal bevingen - in geval dat de fluctuatie wordt weggenomen - overschat. De voorspelling van NAM kan daarom in dat geval als een *worst-case* scenario genomen worden.
- Dit alles afwegende is het daarom raadzaam om gedurende enkele jaren een winningsniveau te kiezen dat zich met een veiligheidsmarge onder de 27 miljard Nm^3/jaar bevindt. Een niveau van 24 miljard Nm^3/jaar is naar de mening van SodM een onderbouwde keuze, omdat bij dat niveau volgens het huidige model van NAM de seismiciteit niet hoger zal zijn dan in 2015 en bovendien een extra reductie te verwachten is indien zonder fluctuaties gewonnen gaat worden.
- Via een alarmsysteem kan ingegrepen worden als zich onverwachte ontwikkelingen zouden voordoen.
- Als na enkele jaren blijkt dat de seismiciteit duidelijk is afgenomen en bovendien een adequaat Meet-en regelprotocol is geïmplementeerd, kan de jaarlijkse winning op 27 miljard Nm^3/jaar worden gesteld.
- Op dit moment is 27 miljard Nm^3/jaar een maximum omdat bij hogere niveaus weer seizoensfluctuaties onvermijdelijk lijken te worden. Dit blijkt uit de profielen behorend bij de scenario's die NAM nu presenteert.

Advies

Alles overwegende komt SodM tot het volgende advies.

Met betrekking tot het winningsplan adviseert SodM om instemming te geven onder het stellen van de hierna genoemde voorschriften en beperkingen:

1. Vermijd fluctuaties in de gaswinning, waaronder seizoensfluctuaties, zoveel mogelijk. Ook de verdeling van de winning over de clusters kan het beste zo constant mogelijk gehouden worden. De huidige ruimtelijke verdeling van productie dient gehandhaafd te worden tot aannemelijk is gemaakt dat een alternatieve verdeling tot minder bevingen leidt. Toch noodzakelijke wisselingen, vanwege onderhoud of plotseling intredende koude, dienen zo beheerst mogelijk plaats te vinden.
2. Beperk de winning de eerste jaren tot ca. 24 miljard Nm^3 per gasjaar totdat aan de volgende voorwaarden is voldaan:
    - NAM dient ten genoegen van de Inspecteur-generaal der Mijnen een nieuw Meet-en regelprotocol in dat voldoet aan de door het Ministerie van Economische Zaken daarvoor gestelde kaders.
    - Een op risico geoptimaliseerde verdeling van de productie over het veld wordt uitgewerkt en toegepast.
    - NAM toont op basis van objectieve waarnemingen ten genoegen van de Inspecteur-generaal der Mijnen aan dat de verlaging van het winningsniveau naar ca. 24 miljard Nm^3 per jaar, in combinatie met het vermijden van fluctuaties, heeft geleid tot een verdere afname van de seismiciteit.
3. Pas nadat aan deze drie voorwaarden is voldaan, kan op een beheerste manier de winning, gebruikmakend van het Meet- en regelprotocol, mogelijk en tot een maximum van 27 miljard Nm^3 per gasjaar worden verhoogd.
4. NAM dient voor 1 maart 2021 een actualisatie van het winningsplan in.

Met betrekking tot een aantal geconstateerde omissies in het ingediende winningsplan adviseert SodM van NAM te verlangen dat:

5. de mate van schade voor de lagere schadeniveaus (DS1, DS2 en DS3) alsnog door NAM berekend wordt. Tevens dient het schadedeel van het maatschappelijk risico bepaald te worden,
6. de opgetreden bodemdaling ook bepaald wordt op basis van alleen de peilmerkgegevens,
7. een verbeterde onzekerheidsanalyse voor de berekende bodemdaling alsnog ingediend wordt, en
8. het groepsrisico voor zowel het gehele Groningen gasveld als voor alle dorpen en steden alsnog door NAM wordt bepaald.

SodM stelt vast dat het ingediende Meet- en regelprotocol niet ten genoegen van de Inspecteur-generaal der Mijnen is.

9. SodM adviseert om van NAM een nieuw Meet-en regelprotocol te verlangen dat voldoet aan de door het Ministerie van Economische Zaken daarvoor gestelde kaders.

SodM adviseert om tot aan de acceptatie van het Meet- en regelprotocol als extra waarborg een tijdelijk alarmeringssysteem te hanteren bestaande uit twee signaalparameters:

1. voor de aardbevingsdichtheid[2] een voorlopige alarmwaarde van 0,25 bevingen/km^2/jaar (bevingen met een sterkte van 1,0 of hoger)
2. voor de maximale piek grondversnelling[3] een voorlopige alarmwaarde van 0,05g

10. NAM levert elk halfjaar, of zodra ten minste één van de genoemde alarmwaarden wordt overschreden, een rapport met analyses van de ontwikkelingen van de seismiciteit en van voorgestelde beheersmaatregelen.

Bovendien zal in geval van overschrijden van één de genoemde alarmwaarden en o.a. op basis van dat rapport SodM op de kortst mogelijk termijn de minister van nieuw advies voorzien.

[2] Bepaald met een 'Kernel Density' (standaard GIS applicatie) met een straal van 5 km en een cell grootte van 50 m.
[3] Maximale horizontale grondversnelling zoals gerapporteerd door het KNMI op http://rdsa.knmi.nl/opencms/nl-rrsm/index.html.

1. Inleiding

Op 1 april 2016 heeft de Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM) bij de Minister van Economische Zaken (EZ) een geactualiseerd winningsplan voor het Groningen gasveld ingediend. Het winningsplan gaat vergezeld van een Technische Bijlage die uit vijf delen bestaat. Verder zijn met het winningsplan ook een voorstel voor een nieuw Meet- en regelprotocol (ref. 2) en een actualisatie van het Study and Data Acquisition Plan ingediend. Op 13 april 2016 is van het winningsplan (ref. 1) een gecorrigeerde versie ontvangen, nadat enkele omissies waren geconstateerd. Op 15 april zijn ook nieuwe versies ontvangen van de Technische Bijlage (ref. 3 t/m ref. 7) en van het Study and Data Acquisition Plan (ref. 8 en ref. 9). Tenslotte is op 1 mei 2016 een Supplement op de Technische Bijlage (ref. 10) ontvangen. Daarin zijn extra kaarten van voorspelde bodemdaling opgenomen, meer figuren die voorspellingen van aantallen bevingen bij verschillende productiescenario's tonen en een hoofdstuk dat de resultaten van de berekening van het maatschappelijk veiligheidsrisico (zoals gedefinieerd door de commissie Meijdam) laat zien.

Per brief van 19 april 2016[4] heeft de Minister aan SodM gevraagd over het winningsplan te adviseren tegen de achtergrond van de criteria van artikel 36 van de Mijnbouwwet. Specifiek vraagt de minister in deze brief ook de visie van SodM op de stelling van NAM dat in combinatie met een Meet- en regelprotocol er mogelijk meer dan 27 miljard Nm^3 per jaar gewonnen kan worden met als bovengrens 33 miljard Nm^3per jaar. Tenslotte vraagt de minister om aan te geven of het bij het winningsplan ingediende, nieuwe Meet- en regelprotocol ten genoegen van de Inspecteur-Generaal der Mijnen is opgesteld.

Dit advies is niet uitsluitend gebaseerd op de door NAM ingediende stukken. SodM heeft controleberekeningen en aanvullende analyses laten uitvoeren door TNO, CBS, TU-Delft en de Universiteit van Aken. De resultaten van deze studies werpen een onafhankelijk en voor wat betreft sommige aspecten ook een ander licht op de zaak. Ook het oordeel van de door de minister ingestelde Wetenschappelijke Adviescommissie (SAC), geformuleerd in een recente notitie, en de meningen van geraadpleegde externe experts zijn meegewogen. Het geheel aan beschikbare informatie is door SodM gebruikt om tot een gewogen oordeel te komen. Niet alleen over het ingediende winningsplan, maar ook over de vraag wat voor de komende jaren de meest verantwoorde manier is om met het Groningen gasveld om te gaan.

Hoewel SodM zich ten volle bewust is van het feit dat het in het dossier gaswinning Groningen om veel meer dan de technische aspecten gaat, beperkt dit advies zich wel tot die aspecten. Daar zijn twee redenen voor. Ten eerste zijn zowel het winningsplan als de criteria van artikel 36, waarvan de minister heeft gevraagd om die als achtergrond te gebruiken, overwegend van technische aard. Ten tweede meent SodM met haar technische expertise op deze manier de beste bijdrage te kunnen leveren aan de discussie die zelf breder is.

In dit advies worden eerst in Hoofdstuk 2 de eerdere adviezen van SodM kort samengevat en in hun onderlinge samenhang geplaatst. In Hoofdstuk 3 worden de ontwikkelingen sinds de behandeling van het vorige winningsplan van 2013 geschetst. Hoofdstuk 4 geeft de beoordeling van het door NAM ingediende winningsplan 2016. Hoofdstuk 5 doet hetzelfde voor het nieuwe, bij het winningsplan ingediende Meet- en regelprotocol. In Hoofdstuk 6 worden resultaten besproken van analyses die op verzoek van SodM door andere

[4] Kenmerk DGETM-EO / 16062635

onafhankelijke partijen zijn uitgevoerd. Hoofdstuk 7 bestaat uit een synthese waarin SodM alle eerder besproken informatie en argumenten samenvat om tot een advies te komen over de vraag van de Minister wat een verantwoord winningsniveau voor de komende jaren zou kunnen zijn. Dit ter inleiding van het advies dat in Hoofdstuk 8 wordt gegeven.

2. Eerdere adviezen

SodM heeft tot nu toe vijf adviezen uitgebracht over de aardbevingen in Groningen: in januari 2013, in januari 2014, in december 2014, in mei 2015 en in december 2015. Het is SodM gebleken, dat het naast elkaar leggen van de vijf adviezen, zonder de context in acht te nemen, kan leiden tot misverstanden. Elk advies is geschreven met een ander doel en in een andere context. In dit hoofdstuk wordt de essentie ("de rode draad") van de vijf eerdere adviezen van SodM samengevat. Het eerste advies werd uitgebracht op een moment (januari 2013) dat er nog maar een beperkte kennis was over de precieze oorzaken van de concentratie van de aardbevingen rond Loppersum. Ook was er verhoudingsgewijs nog weinig bekend over grondversnellingen en schade aan gebouwen. SodM wilde met dit advies de Minister van Economische Zaken informeren over de gewijzigde inzichten in de aardbevingsgevoeligheid van het Groningenveld en welke maatregelen er naar de mening van SodM getroffen zouden moeten worden om het risico op meer en zwaardere aardbevingen terug te brengen. Het tweede advies (januari 2014) ging specifiek over het gewijzigde winningsplan van 2013. Toen het advies uitkwam was er al beduidend meer kennis over de oorzaak van de aardbevingen vergaard. Het derde advies ging specifiek over een vraag van de Minister van Economische Zaken over seismiciteit rond het Eemskanaal cluster. In dit advies konden de eerste voorlopige conclusies worden getrokken over de effecten van het terugbrengen van de gaswinning rond Loppersum. Het vierde en vijfde advies van SodM in mei en december 2015 waren adviezen aan de Minister van Economische zaken over kort daarvoor aangeleverde voortgangsrapportages van NAM. Die rapportages gingen over verbeteringen in de vaststelling van seismische dreiging en seismisch risico door NAM op basis van de voortgang van de studies van NAM en analyses van de waarnemingen in het veld.

Januari 2013: eerste advies – nieuwe inzichten

Na de aardbeving bij Huizinge in augustus 2012 voerde SodM een analyse uit van de aardbevingen in Groningen, zowel van het aantal als van de sterkte. Daarbij kwam SodM tot de conclusie dat een onverminderde, hoge gasproductie uit het Groningenveld zou kunnen leiden tot sterkere aardbevingen dan tot medio 2012 werd aangenomen. Daarmee zou ook het seismisch risico hoger zijn dan eerder werd gedacht. Indicatieve berekeningen van SodM brachten aan het licht, dat een vermindering van de productie waarschijnlijk zou leiden tot een vergelijkbare vermindering van het aantal aardbevingen en daarmee ook tot een kleinere kans op zwaardere aardbevingen. SodM noemde hierbij een voorbeeld: een vermindering van de gasproductie met 40% (van 50 naar 30 miljard Nm^3) per jaar zou leiden tot 40% minder verwachte aardbevingen per jaar en een navenante reductie in de kans op een aardbeving groter dan 3,9. Op grond van de eerste indicatieve berekeningen adviseerde SodM aan de Minister van Economische Zaken om aan NAM voor te schrijven de winning uit het Groningenveld zo snel mogelijk en zo veel als mogelijk en realistisch was, terug te brengen[5]. SodM verwachtte, op grond van de kennis van dat moment, dat het terugbrengen van de productie na 1 à 1½ jaar effect zou sorteren.

[5] Brief SodM van 22 januari 2013, kenmerk 13010015.

Januari 2014: tweede advies - winningsplan

Op 13 januari 2014 heeft SodM aan de Minister van Economische Zaken advies uitgebracht over het winningsplan 2013 van NAM[6]. SodM vond de belangrijkste pijlers waarop het winningsplan rustte niet solide. Naar de mening van SodM had NAM het veiligheidsrisico niet goed in kaart gebracht en beoordeeld. Bovendien concludeerde SodM dat NAM geen maatregelen nam om de seismische activiteit terug te brengen. Daarom adviseerde SodM om niet in te stemmen met het nieuwe winningsplan en op zo kort mogelijke termijn de gasproductie te stoppen in het gebied met het hoogste aardbevingsrisico, dat wil zeggen het gebied rond Loppersum. SodM wees vijf productielocaties (clusters) aan waar de productie gestaakt zou moeten worden. Het zou dan in eerste instantie gaan om sluiting voor een periode van ten minste drie jaar, omdat de effecten over een langere periode dan drie jaar niet te voorspellen zijn. In de visie van SodM zou die periode van ten minste drie jaar benut kunnen worden om het uitvoeren van preventieve (versterkings-)maatregelen voortvarend ter hand te nemen en gedetailleerde metingen en vervolgonderzoek te verrichten. Daarnaast drong SodM aan op het ontwikkelen van een landelijk risicobeleid voor grotere veiligheidsrisico's, zoals risico's door geïnduceerde aardbevingen, en daarvoor acceptatiecriteria vast te stellen.

December 2014: derde advies – Eemskanaal

Op 11 december 2014 heeft SodM aan de Minister van Economische Zaken advies uitgebracht over een analyse van NAM van de bevingsgevoeligheid van het gebied rond de winningslocatie "Eemskanaal", nabij de stad Groningen[7]. SodM kwam tot de conclusie dat op basis van het rekenmodel van NAM het effect van eventuele productiemaatregelen niet is vast te stellen en die maatregelen dus ook niet te rechtvaardigen zijn. Bij validatie van het model van NAM kwam SodM, op grond van waarnemingen van de daadwerkelijke ontwikkeling van de seismische activiteit, wel tot de conclusie dat er een verband lijkt te bestaan tussen een toe- of afname van de productie en een toe- of afname van de seismische activiteit in een bepaalde regio. Op basis daarvan heeft SodM geadviseerd om het eerder vastgestelde productieplafond voor het Groningenveld als geheel te laten zakken van 42,5 naar 39,4 miljard Nm^3 per jaar en daarnaast productieplafonds voor de onderscheiden regio's in te stellen, waaronder een productieplafond voor de regio Eemskanaal van 2 miljard Nm^3 per jaar.

Juni 2015: vierde advies – kwalitatieve seismisch risicoanalyse

In juni 2014 heeft SodM aan de Minister van Economische Zaken advies uitgebracht over de seismische dreiging en de eerste berekeningen van het seismisch risico en over de resultaten van de monitoring van de aardbevingen[8]. SodM maakte daarvoor gebruik van de rapporten die NAM in mei 2015 bij SodM had ingediend en van onafhankelijke analyses en controleberekeningen die SodM had laten uitvoeren door TNO, KNMI, TU Delft en CBS. Verder werden door SodM enkele aardbevingsexperts uit binnen- en buitenland geraadpleegd. De risicoanalyse van de NAM was slechts kwalitatief van aard. Op basis daarvan konden geen conclusies over een verantwoord winningsniveau getrokken worden. Op basis van de waarnemingen kwam SodM tot de conclusie dat voldoende overtuigend was aangetoond dat het verlagen van de gasproductie leidt tot minder seismiciteit en daarmee

[6] SodM, Advies Winningsplan 2013/Meet- en Monitoringsplan NAM, Groningen gasveld, januari 2014.
[7] Brief SodM van 11 december 2014, kenmerk 14204137, met bijlage het "Advies Bevingsgevoeligheid van de Eemskanaal regio, december 2014".
[8] SodM, Seismisch risico Groningenveld; Beoordeling rapportages en advies, juni 2015.

tot een lager seismisch risico. Ook werd geconcludeerd dat de reactietijd van de bodemdaling en seismiciteit op ingrepen in de productie in de orde van enkele maanden is, veel korter dan eerder werd aangenomen. Vastgesteld werd dat alleen een productieniveau aanzienlijk lager dan 33 miljard Nm^3 per jaar in combinatie met versterking van huizen zal leiden tot een substantiële verdere verlaging van het seismisch risico. Gegeven het ontbreken van een norm, was de vaststelling van een productieniveau overeenkomend met een acceptabel veiligheidsniveau niet mogelijk. Wel werd geadviseerd de gasproductie in geheel 2015 te beperken tot 33 miljard Nm^3 per jaar. Tenslotte werd nader onderzoek geadviseerd naar het effect van niet-gelijkmatige productie op de seismiciteit.

December 2015: vijfde advies – kwantitatieve seismisch risicoanalyse

In december 2015 heeft SodM aan de Minister van Economische Zaken opnieuw advies uitgebracht over de seismische dreiging en het seismisch risico en over de resultaten van de monitoring van de aardbevingen[9]. SodM maakte daarvoor gebruik van de rapporten die NAM in oktober en november 2015 bij SodM heeft ingediend en van onafhankelijke analyses en controleberekeningen die SodM had laten uitvoeren door TNO, KNMI, TU Delft en CBS. Tevens heeft SodM daarvoor opnieuw enkele aardbevingsdeskundigen van de Amerikaanse Geologische Dienst en de Zwitserse Seismologische Dienst geraadpleegd. Het advies van december 2015 is grotendeels in overeenstemming met het advies van juni 2015. In aanvulling op dat advies werd ook geadviseerd om snelle productiefluctuaties op een tijdschaal van weken of maanden zo veel mogelijk te vermijden. En om verhoging van de productie in een koude winter zo gelijkmatige mogelijk door te voeren. Ook stelde SodM op basis van de door NAM aangeleverde informatie vast dat bij een productieniveau van 33 miljard Nm^3 per jaar het aantal aardbevingen in de komende 5 jaar (en ook nog in de jaren daarna) zou toenemen en dat daardoor het seismisch risico, naar verwachting ook zou toenemen. Bij 27 miljard Nm^3 per jaar en 21 miljard Nm^3 per jaar gebeurt dat eveneens, maar in een steeds mindere mate. Geadviseerd werd meer aandacht te besteden aan een risico-geoptimaliseerde verdeling van de productie over het veld (ruimtelijke verdeling en in de tijd) en aan een verbetering van het Meet- en Regelprotocol. Tenslotte werd aangedrongen op het zo snel mogelijk vaststellen van de kans op het optreden van grotere aantallen gelijktijdige slachtoffers door een geïnduceerde beving (maatschappelijk risico).

Rode draad in adviezen SodM

De rode draad in de adviezen van SodM kan als volgt worden samengevat:

- Pak het aardbevingsprobleem niet alleen aan door het aardbevingsbestendig maken van gebouwen (en dijken, viaducten, etc.), maar pak ook de bron aan: de gaswinning.
- Doe dat op een slimme en effectieve manier, waarbij in steeds sterkere mate wordt gewezen op het waarschijnlijk positieve effect van het vermijden van fluctuaties op de vermindering van de seismiciteit.
- Breng de gaswinning en de verdeling daarvan over het gasveld in overeenstemming met een veiligheidsniveau dat acceptabel wordt geacht.
- Kies een productieniveau waarbij het op termijn weer oplopen van de seismische dreiging en van het seismisch risico wordt vermeden.
- Kijk bij de vaststelling van een acceptabel productieniveau niet alleen naar een acceptabel veiligheidsniveau maar beschouw ook de effecten op schade en maatschappelijke acceptatie.

[9] SodM, Seismisch risico Groningenveld; Beoordeling rapportages en advies, december 2015.

Het winningsniveau van 12 miljard m^3 per jaar

Regelmatig wordt het begrip veiligheid verbonden aan veiligheidsbeleving. Daarbij gaat het om de gevoelsmatige veiligheidsbeleving van de bewoners van het gebied, waarbij aspecten als woningschade, waardevermindering van woningen en angst voor nieuwe bevingen maken dat het veiligheidsgevoel in Groningen is afgenomen. In die context is de (voorzichtige) conclusie van SodM uit 2012 van belang dat bij een winningsniveau van 12 miljard Nm^3 per jaar (met zomer-winter productiefluctuaties) na enige tijd er mogelijk vrijwel geen aardbevingen met een magnitude groter dan 1,5 meer zouden optreden. Recent wordt met enige regelmaat naar deze uitspraak van SodM verwezen om te onderbouwen dat 12 miljard Nm^3 per jaar overeenkomt met het maximale niveau voor veilige winning. Die onderbouwing is onjuist. Bij een hoger niveau van winning dan 12 miljard Nm^3 per jaar zullen jaarlijks meer bevingen optreden, maar dat hoeft niet te leiden tot overschrijding van de recentelijk vastgestelde veiligheidsnorm of tot overschrijding van een schadeniveau dat acceptabel kan zijn.

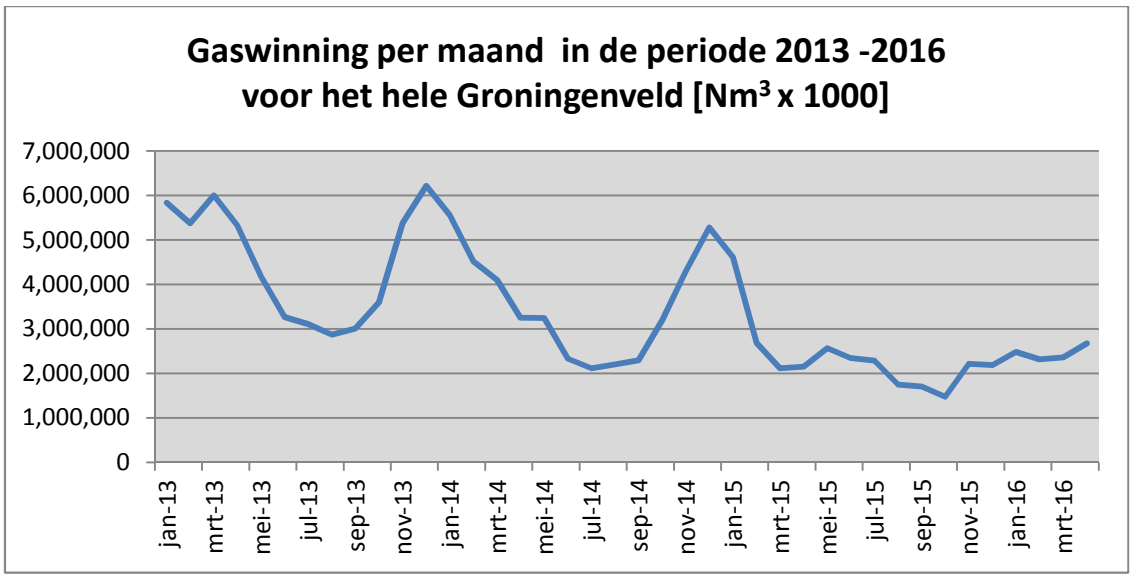
3. Effect van de genomen maatregelen

3.1 Ontwikkeling gaswinning

De Minister van Economische Zaken heeft vanaf januari 2014 met de onderstaande besluiten beperkingen opgelegd aan de gaswinning uit het Groningenveld. Deze besluiten zijn onder andere gebaseerd geweest op de hierboven genoemde adviezen van SodM. De beperkingen in de gaswinning zijn meestal geformuleerd als een maximaal te winnen hoeveelheid aardgas in een kalenderjaar of in een gasjaar (een periode van oktober t/m september). Kort samengevat waren de belangrijkste productiebeperkende maatregelen:

- 17 januari 2014: maximaal 42,5 miljard Nm^3 te winnen in 2014
  maximaal 3 miljard Nm^3 te winnen uit de Loppersum clusters in 2014
- december 2014: maximaal 39,4 miljard Nm^3 te winnen in 2015
  beperking van 3 miljard Nm^3 voor Loppersum gehandhaafd
- 14 februari 2015: maximaal 16,5 miljard Nm^3 te winnen in eerste helft 2015
- 23 juni 2015 maximaal 13,5 miljard Nm^3 te winnen in tweede helft 2015
- 18 november 2015 maximaal 27 miljard Nm^3 te winnen in het gasjaar 2015/2016

Sinds 2013 is de jaarlijkse productie uit het hele veld verlaagd van 53,9 naar 27 miljard Nm^3 per jaar. Figuur 3-1 laat het gevolg van deze maatregelen voor de gerealiseerde maandelijkse gasproductie in de periode na 2013 zien. Hierbij is de productie uit alle clusters in het veld opgeteld. Duidelijk is dat de jaarlijkse seizoensfluctuatie (ook wel de *swing* genoemd), toegepast vanaf het begin van de winning in de jaren zestig, in de winters 2013-2014 en 2014-2015 nog een amplitude had van ongeveer 3 miljard Nm^3. Vanaf maart 2015 is deze seizoensfluctuatie vrijwel geheel weggenomen en is er met een veel vlakker profiel geproduceerd.

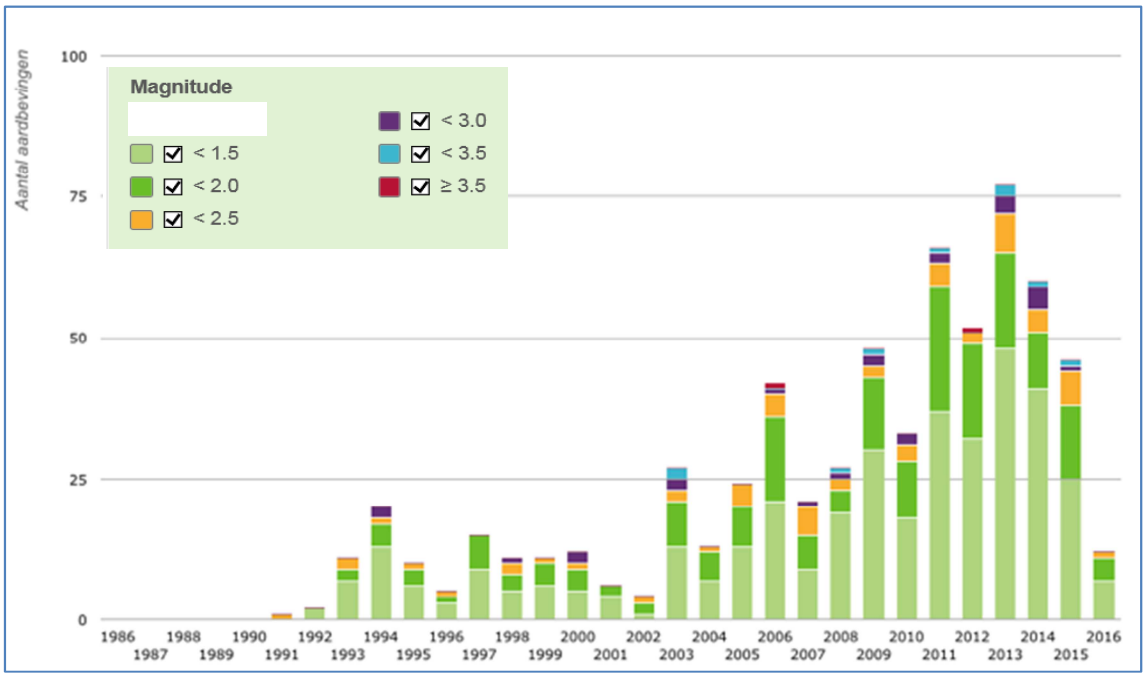


Figuur 3-1: Maandelijks niveau van gaswinning uit de Groningen productieclusters sinds 2013

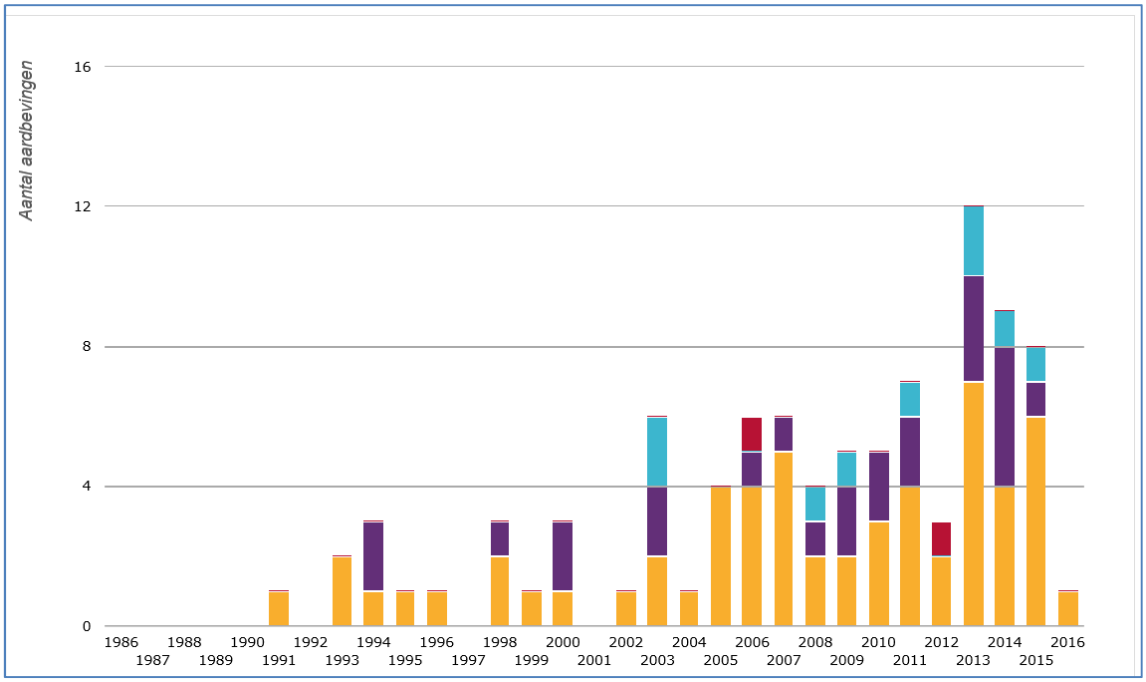
Sinds eind 2013 is het jaarlijks winningsniveau aanzienlijk gedaald. Vanaf maart 2015 is een einde gekomen aan de grote seizoensfluctuatie(zomer-winter) in de gasproductie.

3.2 Ontwikkeling bevingen

De ontwikkeling van het aantal geregistreerde aardbevingen in het Groningenveld sinds 2013 wordt goed geïllustreerd in figuren 3-2 en 3-3. Het is evident dat er vanaf 2014 sprake is van een sterke afname van het jaarlijks aantal bevingen.



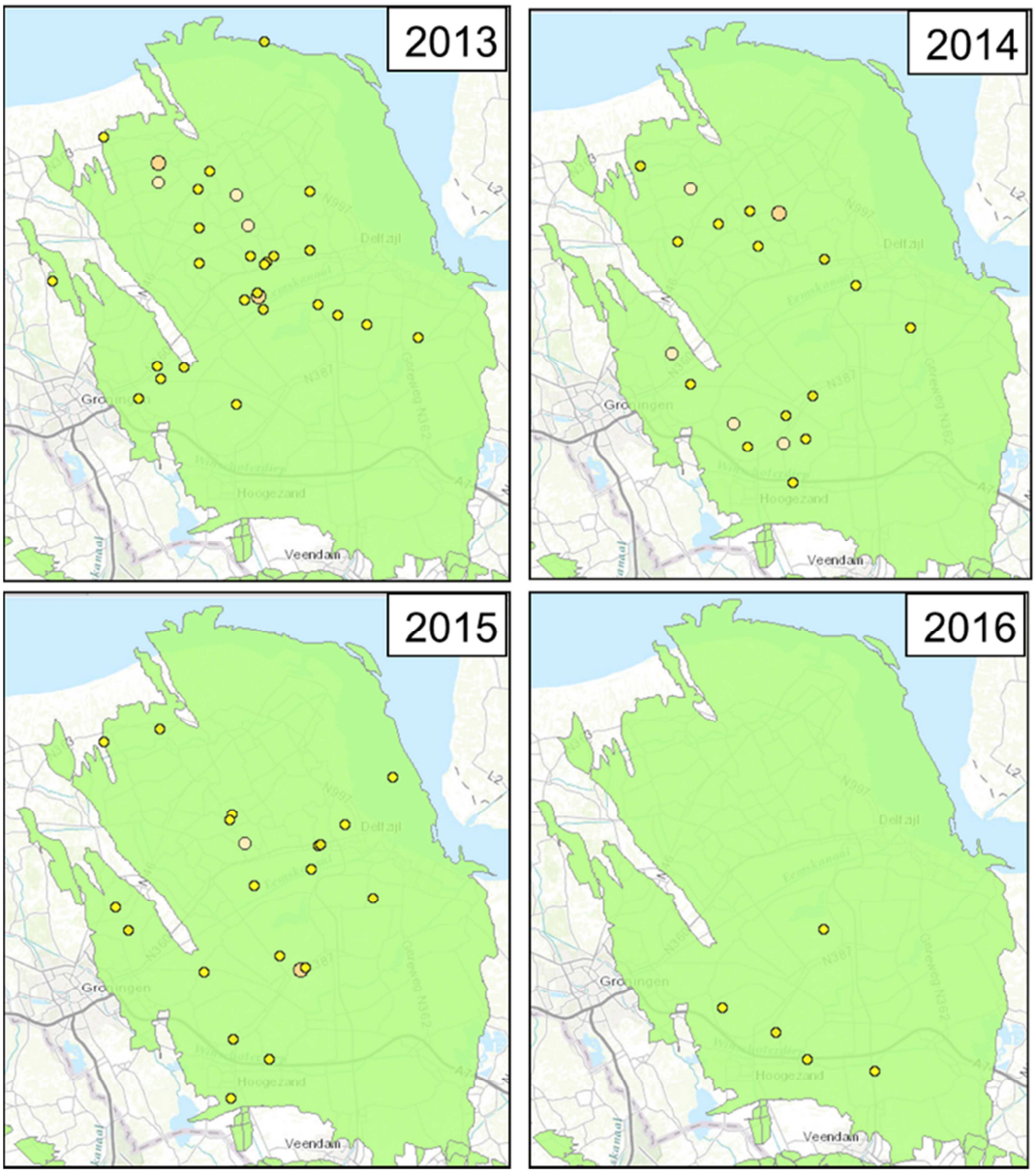
Figuur 3-2: Aantallen geregistreerde bevingen per jaar met magnitude van 1,0 en hoger voor het hele Groningenveld (2016 t/m 31 mei). Bron: *www.namplatform.nl* en KNMI.



Figuur 3-3: Aantallen geregistreerde bevingen per jaar met magnitude van 2,0 en hoger voor het hele Groningenveld (2016 t/m 31 mei). Bron: *www.namplatform.nl* en KNMI.

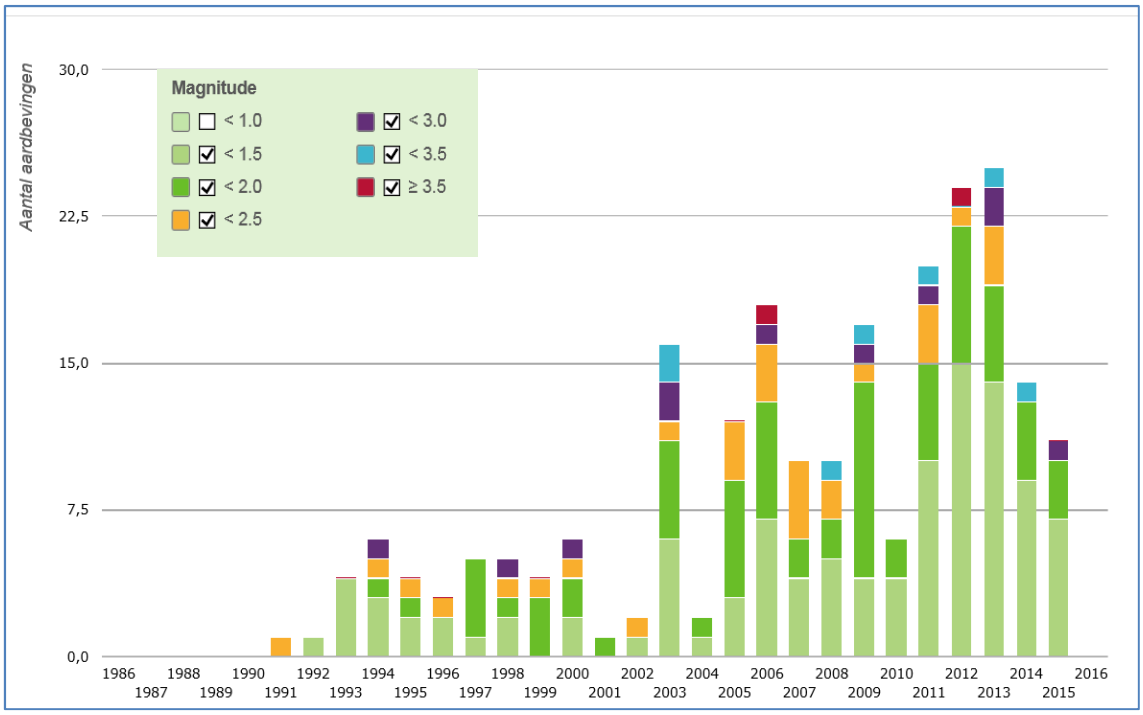
Onderdeel van het besluit van januari 2014 was om het seismisch meest actieve gebied, nl. de regio Loppersum, extra te ontzien door specifiek de winning uit de vijf productieclusters in de die regio sterk te beperken (met 80% t.o.v. de winning in eerdere jaren). Behalve de hierboven getoonde aantallen per jaar voor het hele veld, is het belangrijk om ook veranderingen in de ruimtelijke verdeling van de seismische activiteit goed te volgen.

Figuur 3-4 laat de ruimtelijke ontwikkeling van de bevingen over de laatste jaren zien. Duidelijk komt naar voren hoe door de ingrepen in de productie, de aantallen bevingen met magnitude 1,5 of hoger in het centrale deel van het veld zijn afgenomen, maar dat het aantal bevingen in het zuidwesten in eerste instantie (2014 ten opzichte van 2013) toenam. Door de verdere productieverlaging in 2015 is ook daar het aantal bevingen weer afgenomen. Opvallend is dat in de eerste vijf maanden van 2016 er alleen bevingen van magnitude 1,5 en groter in het zuidwesten van het veld zijn geweest.



Figuur 3-4: Ontwikkeling in de ruimtelijke verdeling van de aardbevingen (M≥1,5). De bevingen in 2016 zijn weergegeven tot 1 juni 2016. Bron: www.namplatform.nl en www.knmi.nl .

Figuur 3-5 laat de ontwikkeling van het aantal bevingen met een sterkte van 1,0 en hoger in alleen de gemeente Loppersum zien. Na de sterke reductie van de winning in januari 2014 liet het jaar 2014 al een duidelijk lager aantal bevingen zien. De daling zette door in 2015. Wanneer naar de meest recente periode wordt gekeken, is opvallend dat zich in 2016 (tot 1 juni) in de gemeente Loppersum nog geen beving met een sterkte van 1,0 of hoger heeft voorgedaan.



Figuur 3-5: Aantallen geregistreerde bevingen met een magnitude van 1,0 en hoger in de gemeente Loppersum (2016 t/m 31 mei). Bron: *www.namplatform.nl* en KNMI.

Uit bovenstaande blijkt dat de in paragraaf 3.1 genoemde maatregelen vanaf begin 2014 hebben geresulteerd in een sterke afname van het jaarlijkse aantal bevingen. Dit geldt zowel wanneer het Groningenveld in zijn geheel wordt beschouwd - niettegenstaande de waarneming dat er lokaal gebieden kunnen zijn waar de bevingen eerst nog iets zijn toegenomen - als ook specifiek voor de regio Loppersum.

De productiemaatregelen sinds begin 2014 hebben geresulteerd in een sterke afname van het jaarlijkse aantal bevingen. Dit geldt zowel voor het gehele Groningenveld als voor de regio Loppersum.

In Hoofdstuk 6 worden de resultaten besproken van analyses die op verzoek van SodM door TU-Delft, TNO het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) in 2015 en 2016 zijn uitgevoerd naar o.a. de statistische significantie van de waargenomen veranderingen in bodemdaling en de frequentie van bevingen en van de ruimtelijke verdeling ervan.

4. Beoordeling winningsplan Groningen gasveld 2016

4.1 Basis voor het winningsplan

NAM heeft sinds het vorige winningsplan een omvangrijk onderzoeksprogramma uitgevoerd om tot meer inzichten en een beter begrip te komen van de risico's van geïnduceerde aardbevingen in Groningen. Voor wat betreft de kortere termijn heeft dit onderzoek zich vooral toegespitst op het berekenen van het individueel seismisch veiligheidsrisico gegeven bepaalde aangenomen winningsscenario's. Ook heeft NAM in samenspraak met KNMI meer meetapparatuur laten plaatsten, met als resultaat dat bodembewegingen nu met een veel grotere nauwkeurigheid kunnen worden gemeten dan in het verleden.

4.1.1 Verbeteringen in de modellen van NAM

Na de aankondiging van het instemmingsbesluit met het Groningen winningsplan 2013 in januari 2014 zijn de studies en metingen, om te komen tot beter begrip en berekening van de risico's van de geïnduceerde seismiciteit in het Groningenveld, voortgezet en uitgebreid.

Onder de verantwoordelijkheid en op kosten van NAM is een groot aantal studies uitgevoerd om te komen tot:

- Een betere vaststelling van de eigenschappen van de diepe ondergrond in Groningen (statisch reservoir model).
- Een betere beschrijving van de stroming van gas en water en de ontwikkeling van de druk in de lagen waaruit het gas wordt geproduceerd (dynamisch reservoir model).
- Uitbreiding van de diepe ondergrondmodellen van het Groningenveld zodat het effect van aangrenzende waterhoudende lagen op de druk in het veld beter kan worden berekend (uitbreiding dynamisch reservoir model).
- Het meenemen van snelheidsafhankelijke effecten in de samendrukking (compactie) die wordt veroorzaakt door de gasdrukdaling in het gesteente waaruit het gas wordt geproduceerd. Dit leidt tot een betere overeenkomst tussen de berekende en de gemeten bodemdaling boven het Groningenveld. Ook klopt de samendrukbaarheid van het reservoirgesteente zoals gemeten in het laboratorium op kernmonsters uit het reservoir nu beter met de waargenomen bodemdaling (compactiemodel).
- Een uitbreiding van het seismologisch model waarmee het jaarlijkse aantal, de sterkte en de ruimtelijke verdeling van de door de gaswinning veroorzaakte aardbevingen beter voorspeld kunnen worden. Het model verbindt de aardbevingen met de totale hoeveelheid indrukking van het reservoirgesteente, de aanwezigheid van breuken en de verticale verschuiving van die breuken ten opzichte van elkaar. De met dit uitgebreidere model berekende ruimtelijke verdeling van de aardbevingen komt beter overeen met de waargenomen verdeling.
- Een betere voorspelling van de grondversnellingen aan het aardoppervlak die tijdens een aardbeving optreden als functie van de sterkte van de beving, de afstand tot de bron van de beving en de eigenschappen van de ondiepe ondergrond. De met de nieuwe Ground Motion Prediction Equation (GMPE) vergelijking berekende grondversnellingen voor sterke bevingen zijn aanzienlijk lager dan eerder berekend. Dat komt doordat de effecten van de duur en de frequentie van de beving en van de demping in de ondiepe ondergrond in de nieuwe berekeningen worden meegenomen.
- Een betere vaststelling van de kans op instorting voor een groot aantal gebouwentypen op basis van de te verwachten grondversnellingen ten gevolge van

aardbevingen en een berekening van de persoonlijke risico's op basis daarvan (kwetsbaarheidsmodel). Hierin zijn de resultaten van laboratorium testen en de resultaten van de 'schudtafel'-test op een Gronings rijtjeshuis in Pavia meegenomen. Ook is een model gemaakt voor de berekening van de risico's door vallende objecten zoals schoorstenen en gevelornamenten.

4.1.2 Uitbreiding van metingen in het veld

Ter ondersteuning van de studies en ten behoeve van monitoring van de bevingen in het algemeen, heeft NAM aanvullende meetapparatuur geplaatst en nieuwe metingen laten uitvoeren:

- Een betere vaststelling van de bodemdaling en de bodemdalingssnelheid op basis van GPS en PS-InSAR satellietmetingen. Hiervoor zijn o.a. een tiental aanvullende permanente GPS-stations verspreid over het veld geplaatst en wordt veel aandacht besteed aan de vaststelling van bodemdaling op basis van radarmetingen vanuit satellieten.
- Verspreid over het Groningenveld is een zestig-tal 200 meter diepe boorgaten met meetapparatuur bijgeplaatst, waardoor veel meer en veel zwakkere aardbevingen en grondversnellingen kunnen worden waargenomen. De verwachting is dat het aantal aardbevingen dat met het nieuwe netwerk kan worden waargenomen een factor 10 groter is vergeleken met het netwerk van vóór 2014.
- Er is meetapparatuur geplaatst in een tweetal speciaal daarvoor geboorde boorgaten op een diepte van ongeveer 3000 meter. Daarmee kunnen ook de door zeer lichte aardbevingen veroorzaakte grondbewegingen vlakbij de bron worden gemeten. Eerder was dergelijke apparatuur al in een tweetal bestaande boorgaten geplaatst.
- Er zijn proeven op gebouwen en onderdelen van gebouwen uitgevoerd voor een betere inschatting van de sterkte van de gebouwen boven het Groningenveld. Meest opvallend zijn de proeven op schudtafels in een laboratorium in Pavia (Italie) met op echte schaal nagebouwde huizen, die zo goed mogelijk overeenkomen met gebouwen in Groningen.

4.1.3 Kwaliteit van het uitgevoerde studie- en data-acquisitie programma

Het door NAM uitgevoerde onderzoek heeft een sterk internationaal en multidisciplinair karakter. Voor de uitvoering van de onderzoeken en metingen maakt NAM naast de intern via NAM, Shell en Exxon beschikbare expertise ook gebruik van een aantal gerenommeerde binnen- en buitenlandse instituten en adviseurs. Een vergelijkbaar groot, diepgaand en kostbaar onderzoeksprogramma naar de oorzaken en de gevolgen van door gaswinning veroorzaakte aardbevingen is niet eerder uitgevoerd. Sinds het optreden van de sterke aardbeving bij Huizinge in 2012 is aanzienlijke vooruitgang geboekt. Het wetenschappelijke niveau van het uitgevoerde werk is *state-of-the-art*. Dit garandeert echter niet een hoge betrouwbaarheid, nauwkeurigheid of bruikbaarheid van de resultaten.

De resultaten van de studies van NAM worden onderworpen aan peer en externe reviews onder de verantwoordelijkheid van NAM. Ook worden de resultaten regelmatig gepresenteerd op bijeenkomsten met de Scientific Advisory Committee (SAC) van onafhankelijke binnen- en buitenlandse experts dat door het Ministerie van Economische Zaken is ingesteld om de onderzoeken van NAM te volgen en te beoordelen. Die bijeenkomsten worden ook bijgewoond door waarnemers van TNO, KNMI en SodM.

De details van NAM's Study and Data Acquisition Plan (ref. 8 en ref. 9) en rapporten met behaalde resultaten worden door NAM gepubliceerd op: http://www.namplatform.nl. De rapporten staan onder: http://www.namplatform.nl/feiten-en-cijfers/feiten-en-cijfers-onderzoeksrapporten.html#iframe-L2VtYmVkL2NvbXBvbmVudC8/aWQ9b25kZXJ6b2Vrc3JhcHBvcnRlbg.

De studies van NAM zijn verre van gereed en het huidige winningsplan geeft slechts een 'snapshot' van de huidige staat ervan. Details over de voortzetting van het studie- en data-acquisitieprogramma dat NAM na indiening van het Groningen winningsplan 2016 wil uitvoeren zijn te vinden onder:http://www.namplatform.nl/mediatheek/winningsplan-2016.html. Het door NAM ingediende studieprogramma is zinvol en gericht op verder onderzoek van de wetenschappelijke vragen die kunnen worden gesteld naar aanleiding van het ingediende winningsplan en de technische bijlage daarbij.

De kennis opgedaan met de studies, metingen en analyses is door NAM/Shell samengebracht in een computermodel waarmee, op basis van een keten van modellen, de kracht en frequentie van te verwachten aardbevingen en grondversnellingen onder verschillende productiescenario's kunnen worden berekend (zie voor meer informatie ook Bijlage III). Ook kunnen met het NAM programma de daardoor veroorzaakte kansen op instorting van (al dan niet versterkte) gebouwen en het aantal slachtoffers dat daardoor zou kunnen vallen worden uitgerekend. Opgemerkt wordt dat dit computermodel volledig gericht is op het uitrekenen van het seismisch veiligheidsrisico. Schade (die niet tot instorting leidt) en overlast worden door dit model buiten beschouwing gelaten.

4.2 Werkwijze voor de beoordeling

4.2.1 Analyses en controleberekeningen uitgevoerd door andere partijen

Ter ondersteuning van haar eigen oordeel over het ingediende winningsplan heeft SodM enkele analyses en controleberekeningen door onafhankelijke partijen laten uitvoeren. Deze studies dienden ter beoordeling van de juistheid, de betrouwbaarheid en de volledigheid van de door NAM uitgevoerde studies en de voorspellingen op basis daarvan in het door NAM ingediende winningsplan 2016. Ook is een aantal onafhankelijke buitenlandse experts om een beoordeling van de door NAM behaalde resultaten gevraagd. De kosten van deze onderzoeken en adviezen zijn door de Rijksoverheid betaald.

Het gaat onder andere om:

- Beoordeling door TNO van de statische en dynamische 3D ondergrondmodellen die door NAM zijn gebruikt voor de berekening van de compactie van het reservoirgesteente (ref.19).
- Het narekenen door TNO van de door NAM voorspelde nog te verwachten bodemdaling als gevolg van de gaswinning en een inschatting van de onzekerheden daarin (ref.19).
- Een literatuurstudie specifiek gericht op het inzicht geven in mogelijke alternatieven voor het huidige seismologisch model van het Groningen veld (ref.16).
- Beoordeling door TNO van de Ground Motion Prediction (GMPE) (ref.18).
- Beoordeling door TNO van de juistheid van de door NAM berekende effecten van demping in de ondiepe ondergrond die leiden tot een aanzienlijke afname van de voorspelde grondversnellingen in vergelijking met eerdere berekeningen daarvan (ref.18).

- Beoordeling door TNO van de door NAM berekende kansen op instorting van gebouwen bij gegeven grondversnelling en de kansen op dodelijke slachtoffers die daarbij zouden kunnen vallen (ref.20; ref.21).

Een onafhankelijke controle op alle resultaten van de door de NAM uitgevoerde berekeningen is op dit moment niet mogelijk. Een eerdere fout in de softwarecode had een aanzienlijk effect op de uitkomsten en is lange tijd niet opgemerkt door NAM. De openheid en transparantie waarmee NAM over deze eerdere fout heeft gecommuniceerd worden gewaardeerd. Andere fouten zijn echter niet uit te sluiten.

Sinds eind 2013 is het onderzoek naar de door de gaswinning veroorzaakte aardbevingen in Groningen, de gevolgen en risico's daarvan en maatregelen om deze gevolgen en risico's te voorkomen en/of te beperken voortgezet en uitgebreid, zowel door NAM als door de overheid. Slechts in beperkte mate is door NAM in de studies aandacht gegeven aan het voorkomen en beperken van schade.

4.2.2 Toetsing

Het winningsplan Groningen gasveld 2016 is op drie aspecten getoetst: de volledigheid van het plan, de wijze van winning ('planmatig beheer') en de risico's die aan de winning verbonden zijn vanwege bodemdaling en bodemtrillingen (aardbevingen). De keuze voor deze drie aspecten vloeit voort uit artikel 36 van de Mijnbouwwet. Dit artikel stelt dat de minister van EZ op basis van deze onderwerpen zijn instemming met het winningsplan kan onthouden of aan zijn instemming voorwaarden en/of beperkingen kan verbinden.

4.3 Volledigheid

De Mijnbouwwet (Mbw), artikel 35 en het Mijnbouwbesluit (Mbb), artikel 24 bevatten regels over de inhoud van een winningsplan. Daarnaast zijn door de Minister aanvullende verwachtingen ten aanzien van het winningsplan en het Meet- en regelprotocol geformuleerd in de verwachtingenbrief verstuurd op 15 februari 2016[10]

SodM stelt vast dat afgezet tegen de wettelijke vereisten genoemd in Mbw, art. 35 en Mbb, art. 24, het ingediende winningsplan compleet is. Wel zijn er kanttekeningen te plaatsen bij de kwaliteit van het ingediende. Enerzijds v.w.b. leesbaarheid en consistentie en anderzijds ten aanzien van specifieke inhoudelijke aspecten. Op de belangrijkste daarvan wordt in de volgende paragrafen ingegaan. SodM is van mening dat de kwaliteit van de rapportage tekort schiet en het gevraagde niveau van "*technical best*" niet op alle onderdelen haalt.

Een belangrijke tekortkoming is gelegen in het feit dat NAM nog niet in staat is gebleken een systeem-optimalisatie en een bijhorende Meet- en regelcyclus te ontwikkelen die het seismisch risico nog verder zou kunnen reduceren, door te zorgen voor een optimale verdeling van de gaswinning over de verschillende deelgebieden. SodM heeft er eerder op gewezen dat de productieverdeling over het gasveld moet plaatsvinden op basis van een adequate risicobeheerssysteem, waarbij rekening wordt gehouden met de ontwikkelingen in de seismiciteit, het seismisch risico en de voortschrijdende inzichten. In het winningsplan wordt gekozen voor het handhaven van de huidige verdeling van de productie over de productieclusters. Deze keuze wordt niet goed onderbouwd. Hiermee is de productieverdeling over de clusters niet ingericht op basis van het seismisch risico.

[10] Brief Minister van Economische Zaken, kenmerk DGETM-EO/16021708

Ten opzichte van de verwachtingenbrief van de Minister ontbrak in eerste instantie de berekening van maatschappelijk risico. Op 1 mei 2016 is een supplement door NAM ingediend (ref.10), waarmee deze omissie ongedaan gemaakt is.

SodM heeft de Minister op 14 april 2016 laten weten dat het ondanks de bovengeschetste tekortkomingen op basis van de informatie waarover het nu beschikt - het ingediende winningsplan en analyses en controleberekeningen van door SodM geraadpleegde onafhankelijke derden – wel in staat is om tot een gewogen advies te komen[11].

Het winningsplan Groningen 2016 is, afgezet tegen de wettelijke vereisten genoemd in Mbw, art. 35 en Mbb, art. 24, volledig.

4.4 Planmatig beheer

Het begrip "planmatig beheer" komt op verschillende plaatsen voor in de Mijnbouwwet. Planmatig beheer betekent dat de winning van het gas op een doelmatige en verantwoorde manier moet plaatsvinden[12]. Het doel hiervan is het zo goed mogelijk benutten van het aardgas als onze nationale bodemschat en het voorkomen dat onnodig gas in de grond achterblijft. De Mijnbouwwet gaat ervan uit dat de vergunninghouder zich inspant om het gas volgens de beginselen van planmatig beheer te exploiteren. Als uit het winningsplan blijkt dat de exploitatie onvoldoende in lijn is met het principe van planmatig beheer, dan kan de Minister van EZ zijn instemming met het winningsplan weigeren.

In paragraaf 4.1 'Productiefilosofie' van het winningsplan (ref. 1, p. 27) onderscheidt NAM de tweedeling tussen efficiënt beheer en verantwoord opereren. Eén belangrijk aspect van verantwoord opereren is het voorkomen van bodembewegingen. De productieverdeling over de clusters is nog niet ingericht op basis van vermindering van het seismisch risico. Een ruimere interpretatie van het begrip 'planmatig beheer' zou impliceren dat dit wel moet gebeuren. Bij de afweging om in de toekomst eventueel nieuwe productieputten te boren dient naar de mening van SodM het reduceren van het seismisch risico door een optimale ruimtelijke verdeling van de productie leidend te zijn. In het winningsplan wordt nu gekozen voor het handhaven van de huidige verdeling van de productie over de productieclusters. Deze keuze wordt echter niet goed onderbouwd.

Met betrekking tot het efficiënt beheer van het Groningenveld hebben de volgende punten specifieke aandacht.

Ontwikkeling van het Carboon

In de verwachtingenbrief van 15 februari heeft de Minister aandacht gevraagd voor de mogelijkheid om ook aardgas uit de gesteentelagen behorend tot het Carboon (gelegen onder het Rotliegend hoofdreservoir) te gaan winnen. In het winningsplan (ref.1, p.29) geeft NAM aan dat verschillende studies hebben aangetoond dat het in ontwikkeling brengen van Carboon reservoirs met te grote technische en financiële risico's gepaard gaat en daarom wordt uitgesteld. Technisch risico moet in dit verband gelezen worden als het risico dat uit de nieuw te boren putten te weinig gas zal blijken te stromen. Er zijn geologische onzekerheden over de kwaliteit van de reservoirzanden in het Carboon.

[11] Brief SodM, kenmerk 16059898.
[12] KST, 1998-1999, nr.7, p.38

In 2013 heeft SodM bij de beoordeling van het vorige winningsplan gesteld dat het argument van NAM om de ontwikkeling van het Carboon uit te stellen valide was. Al vond SodM toen - uit oogpunt van planmatig beheer - het van belang dat dit gas niet buiten beeld raakt. Ook nu, in 2016, is SodM dezelfde mening toegedaan. Bij toekomstige herzieningen van het winningsplan Groningen zou NAM telkens moeten nagaan of er mogelijkheden zijn om het gas uit het Carboon op een verantwoorde manier te winnen.

Nieuw te boren winningsputten

NAM geeft aan dat er mogelijkheden zijn om de productiecapaciteit te verhogen door nieuwe putten te boren en daarmee te zorgen voor een zo geleidelijk mogelijke drukafname over het gehele veld (ref.1, p.29). Specifiek in het westelijk deel van het veld (aan de randen) zou dit een optie zijn, wanneer zou blijken dat de drukafname daar achterblijft bij die in de rest van het veld. SodM merkt op dat het reduceren van het seismisch risico leidend moet zijn in de afweging om eventuele nieuwe productieputten te boren. Een optimale ruimtelijke verdeling van de productie moet dan worden nagestreefd.

Het winningsplan Groningen 2016 getuigt van voldoende oog voor planmatig beheer, zoals bedoeld in de Mijnbouwwet, indien de engere interpretatie van het begrip planmatig beheer wordt gevolgd. Een ruimere interpretatie vergt een ruimtelijke optimalisatie van de productie gericht op het verminderen van de risico's. Bij toekomstige herzieningen van het winningsplan Groningen zou NAM telkens moeten nagaan of er mogelijkheden zijn om het gas uit het Carboon op een verantwoorde manier te winnen.

4.5 Bodemdaling

In deze paragraaf komen de mate van bodemdaling door de gaswinning en de onzekerheden daarin aan de orde. Het gaat dan over de vraag: wat is de mate van bodemdaling die door de gaswinning wordt veroorzaakt. Daarna is beoordeeld of het winningsplan Groningen gasveld 2016 voorziet in mogelijkheden om de bodemdaling en schade door bodemdaling te voorkomen en/of te beperken.

4.5.1 Positie NAM in winningsplan

De ondergrondse samendrukking (compactie) van het reservoirgesteente door de daling van de gasdruk ten gevolge van de gasproductie is de basis voor het door NAM gebruikte seismologische model. Dat model voorspelt de toekomstige seismische activiteit (het aantal en de sterkte van te verwachten aardbevingen) onder verschillende productie scenario's. Een betrouwbare en nauwkeurige voorspelling van de compactie is daarvoor volgens NAM van groot belang. Ook is een betrouwbare en nauwkeurige voorspelling van de compactie nodig voor de voorspelling van de bodemdaling aan het oppervlak boven het Groningenveld omdat die daardoor grotendeels bepaald wordt. Voor een nauwkeuriger berekening van de compactie en de bodemdaling heeft NAM de bestaande ondergrondmodellen van het Groningenveld op een groot aantal punten verbeterd. Deze verbeteringen zijn samengevat in tabel 4-1.

Bij de opzet en kalibratie van de ondergrondmodellen aan de waarnemingen is veel meer aandacht besteed aan een goede overeenkomst met de gemeten bodemdaling. Vroeger lag de nadruk in die kalibratie voornamelijk op de overeenkomst tussen berekende en waargenomen reservoirdrukken en productievolumes.

Voor de berekening van de reservoircompactie op basis van de ondergrondmodellen is NAM overgestapt op een tijdsafhankelijk compactie model: het *rate type isotach* compactie model

(RTiCM). Het gaat daarbij om een verbeterde versie van een in het verleden door NAM gebruikt *rate type* compactie model.

Tabel 4-1: Overzicht van de verbeteringen die NAM in de ondergrondmodellen heeft aangebracht.

Verbeteringen in de ondergrondmodellen van het Groningen gasveld
Verbeterde verdeling porositeiten op basis van meetgegevens uit nieuwe putten en eerder niet gebruikte gegevens.
Gebruik van een inversie technologie op basis van seismiek in combinatie met betere modellen voor de verdeling van de porositeit tussen de putten.
Gebruik van een ondergrondmodel dat zich uitstrekt over een groter gebied, waardoor drukveranderingen in omliggende waterhoudende lagen, die in drukcontact staan met het Groningenveld, kunnen worden meegenomen in de berekeningen van de ondergrondse compactie en de bodemdaling aan het oppervlak.
Verbeteringen aan het breukenmodel, de relatieve permeabiliteiten, permeabiliteitsmultipliers, de verhouding tussen horizontale en de verticale permeabiliteit, gassaturaties, de doorlaatbaarheid en het verzet over breuken, het PVT model, variaties in het gas-watercontact, temperatuurvariaties over het veld, etc.

Het resultaat van de bovenstaande verbeteringen is volgens NAM een betere overeenkomst over de historische productieperiode met de gemeten drukontwikkeling, bodemdaling en beweging van de gas-watercontacten in het veld.

Aan het einde van de productieperiode voorspelt NAM een bodemdaling van ongeveer 46 cm in het diepste punt van de kom. Door drukvereffening en nakruip komen daar nog enkele centimeters bij, resulterend in een voorspelde bodemdaling in het diepste punt van de bodemdalingskom van ongeveer 50 cm in 2100. De onzekerheden in deze voorspellingen worden door NAM geschat op ca. 20%. Die schatting is gebaseerd op de spreiding in uitkomsten die resulteert bij gebruikmaking van twee parameterkeuzen voor het RTiCM basismodel en voor een alternatief Time decay model. Om deze onzekerheid in de toekomst te verkleinen wil NAM de bodemdaling zeer frequent monitoren, onder andere met behulp van InSAR.

NAM verwacht geen directe schade op het niveau van bouwwerken of infrastructuur omdat de bodemdaling geleidelijk en gelijkmatig over een groot gebied verspreid wordt met een minimale scheefstand enkele orden kleiner dan de constructieve grenswaarden daarvoor. Wel worden gevolgen voor het normale beheer en het onderhoud van waterkeringen en waterlopen verwacht. De kosten daarvan komen voor NAM.

De effecten van bodemdaling op natuur en milieu worden op hoofdlijnen geadresseerd, inclusief de effecten op een aantal Natura-2000 gebieden in Nederland en Duitsland. In alle gevallen komt NAM tot de conclusie dat geen significant nadelige effecten zullen optreden.

In lijn daarmee stelt NAM geen maatregelen voor om reservoircompactie te voorkomen of te beperken. NAM geeft aan dat om de kans op aardbevingen te verkleinen, beperking van reservoircompactie in de toekomst niet wordt uitgesloten.

Ten slotte geeft NAM een opsomming van de maatregelen die worden genomen om de gevolgen van schade door bodemdaling te beperken.

4.5.2 Oordeel SodM

Op verzoek van SodM heeft TNO een technische review uitgevoerd op de Groningen ondergrondmodellen die ten grondslag liggen aan de NAM bodemdalingsberekeningen in het ingediende winningsplan (ref.19). Het gaat daarbij om het statische en dynamische reservoir model, het compactie model en het bodemdalingsmodel. Daarnaast heeft TNO op basis van diezelfde modellen een aantal controleberekeningen uitgevoerd op de door NAM berekende bodemdaling op verschillende tijdstippen en onder verschillende productiescenario's.

TNO kan zich goed vinden in aanpassingen van NAM in de ondergrondmodellen ten opzichte van de versies die gebruikt werden in het Groningen WP2013. Wel ziet TNO nog een aantal mogelijkheden voor verdere verbeteringen. Bijvoorbeeld in het breukenmodel en in de relatie tussen de akoestische impedantie en de porositeit. Ook constateert TNO dat geen onzekerheidsanalyse is uitgevoerd op de eigenschappen en parameters in de ondergrond modellen en de gevolgen daarvan voor de onzekerheid in de berekende toekomstige bodemdalingen. De door TNO verwachte invloed op de bodemdalingsvoorspellingen is beperkt. TNO is van mening dat door NAM gemaakte aanpassingen in de ondergrondmodellen leiden tot een betere vaststelling van de porositeit en de permeabiliteit en van de verdeling daarvan binnen het gasreservoir. Ook onderschrijft TNO het gebruik van het *rate type* compactie model in isotache formulering voor de berekening van de samendrukking van het reservoirgesteente als functie van tijd en locatie. De op basis daarvan berekende instroming van water in het gasveld en de berekende bodemdaling komen nu veel beter overeen met de metingen in het veld. De geomechanische gesteente eigenschapen die op basis van de verbeterde ondergrondmodellen en het *rate type* compactie model afgeleid worden uit de waargenomen bodemdaling komen nu goed overeen met de resultaten van laboratoriumexperimenten op gesteentemonsters uit het Groningen veld. TNO constateert dat de berekeningen van de bodemdaling door NAM en TNO de laatste jaren zijn geconvergeerd. Beide maken nu gebruik van het RTiCM compactiemodel en van inversie van de gemeten bodemdaling om de betrouwbaarheid van de voorspellingen te verbeteren. De door NAM en TNO verkregen resultaten zijn goed met elkaar in overeenstemming.

Op basis van de waargenomen trends in de bodemdaling sinds 2013, de door NAM uitgevoerde studies en het advies van TNO daarover, komt SodM tot een positief oordeel over de nauwkeurigheid en de betrouwbaarheid van de bodemdalingsvoorspellingen in WP2016.

SodM is van mening dat een toereikende onzekerheidsanalyse van de voorspelde bodemdalingen op basis van de onzekerheden in de onderliggende modellen en parameters en de onzekerheden in de historisch gemeten bodemdaling ontbreekt. De vraag is daarbij welke alternatieve model- en parameterkeuzen de gemeten bodemdaling binnen de onzekerheden in de metingen goed beschrijven en tot welke onzekerheden dat leidt in de voorspellingen van de toekomstige bodemdaling.

SodM is van mening dat er onbegrepen verschillen bestaan tussen de recente bodemdalingsnelheden bepaald op basis van waterpasmetingen, PS-InSAR radarreflecties en metingen met permanente GPS stations[13]. De oorzaak daarvan dient te worden onderzocht. In afwachting daarvan adviseert SodM de bodemdaling ook vast te stellen op basis van

[13] Brief SodM, kenmerk 16047316.

alleen waterpasmetingen en het effect daarvan op de voorspellingen van de bodemdaling vast te stellen.

SodM is van mening dat door NAM in het winningsplan voldoende en adequaat aandacht wordt besteed aan de mogelijkheden om de bodemdaling te beperken, aan de te verwachten schade door de bodemdaling en aan de mogelijkheden tot beperking van schade en de gevolgen van die schade.

SodM acht de nauwkeurigheid en de betrouwbaarheid van de bodemdalingsvoorspellingen in het winningsplan Groningen 2016 voldoende. Een toereikende onzekerheidsanalyse ontbreekt. Ook adviseert SodM om de bodemdaling vast te stellen op basis van alleen de waterpasmetingen en om de invloed daarvan op de voorspellingen vast te stellen.

4.6 Bodemtrillingen

In deze sectie komt het seismische risico en de te verwachten aard en omvang van de schade aan de orde. Daarbij is beoordeeld of het winningsplan Groningen gasveld 2016 voorziet in mogelijkheden om de seismische activiteit te beperken, bijvoorbeeld door beperking van de gasproductie, en in mogelijkheden om de gevolgen van de bevingen te voorkomen en beperken.

Aangezien het gaat om zeer technische materie wordt voor meer gedetailleerde onderbouwing van de beoordeling verwezen naar Bijlage III en IV.

4.6.1 Positie NAM in winningsplan

NAM heeft zich met het in 2013 opgestelde studieprogramma *"het uitvoeren van een volledige risicoanalyse, waarin alle onzekerheden volledig en consistent worden geadresseerd"* ten doel gesteld (ref.1; p.9). De seismisch risicoanalyse in het winningsplan is gebaseerd op de "V2"-versie van deze risicoanalyse (ref.1; p.50) waarbij een fout in het meenemen van het gedrag van de ondiepe ondergrond is gecorrigeerd. NAM berekent het risico ten gevolge van de aardbevingen in Groningen op de volgende manier:

> *"NAM heeft een complex probabilistisch (Monte Carlo) model gebouwd waarin de historische en nog voorspelde compactie wordt vertaald naar spanningen die opgebouwd worden in het reservoir en (partieel) kunnen ontladen door aardbevingen"* (ref.1; p.50).
>
> *"Scenario's voor bevingen met hogere magnitudes dan tot nu toe waargenomen, zijn doorgerekend voor de verwachte grondversnelling, waarin nu ook de lokale bodemgesteldheid is meegewogen. Hierbij is gebruik gemaakt van de seismische weerstand van gebouwen, ingeschat met behulp van rekenmodellen en gekalibreerd met zogenoemde kwetsbaarheidscurves ('fragility functions') voor typologieën van objecten"* (ref.1; p. 52).

NAM neemt in vier deelmodellen de onzekerheden door gebrek aan kennis (epistemische onzekerheid) mee in de risicoanalyse: het seismologisch model (Mmax), de GMPE (de stress vermindering op de breuk door een beving [stress drop]), de kwetsbaarheidscurves en in het gevolgmodel (de kans op overlijden) (ref.6; p. 16).

Individueel risico

NAM bepaalt het plaatsgebonden risico voor personen in een gebouw: "*ILPR[14] is used to measure the fataliy risk to people inside the building from building collapse. The mean value of the ILPR is the primary metric used to compare against the 10-5 individual risk norm."* (ref.6; p.4/5). NAM berekent dat bij een productiescenario van 33 miljard Nm^3 per jaar *"occupants of some 100 buildings are exposed to a mean local personal risk exceeding 10-5/year in the period 2016-2021"* (ref.6; p.7). Voor een periode van 2 jaar (2016-2017) zijn de getallen vergelijkbaar. In de 5 jaar van 2021 tot 2026 nemen de aantallen toe *"with some 100 additional buildings"* (ref.6; p.7). NAM concludeert in het winningsplan dat bij een productie van 33 miljard Nm^3 per jaar *"de veiligheid voor bewoners in voldoende mate is gewaarborgd"*.

Vallende objecten

Bij vallende objecten gaat het om gebouwelementen die bij een aardbeving mogelijk los kunnen raken en dan een risico voor de veiligheid vormen, zoals bijvoorbeeld schoorstenen, kopgevels, balkons en borstweringen. Voor vallende objecten is NAM uitgegaan van het door de commissie Meijdam geadviseerde *"Objectgebonden Individueel Aardbevingsrisico (OIA)"*. De analyse van vallende objecten is in een aparte rapportage opgenomen. In deze rapportage wordt geconcludeerd *"The majority of these objects were assessed to have very low levels of risk, with 97% (approximately 117,000 objects) having an individual risk (IR) contribution of less than 10-6 per year. Of the remaining objects, 3600 (3%) have IR between 10-5 and 10-6 per year, and less than 100 (<0.1%) have individual risk between 10-4 and 10-5 per year"* waarbij *"The risk estimates are considered uncertain within about a factor of 10 in either direction"* (ref.14). In het winningsplan concludeert NAM dat er *"geen objecten zijn gevonden die een onmiddellijk hoog risico vormen, dat wil zeggen een risico groter dan 10-4. Wel zijn circa 4.000 objecten aangetoond die een lager risico kennen, maar mogelijk na een nadere inspectie wel een aanpak behoeven"* (ref.1; p.54).

Maatschappelijk risico

In het "Supplement to the Winningsplan Groningen 2016" (ref.10) heeft NAM de berekeningen van het maatschappelijk risico zoals geadviseerd door de commissie Meijdam opgenomen. Het maatschappelijk risico is bepaald voor zeven vooraf door het Ministerie van Economische Zaken gedefinieerde regio's. NAM concludeert dat voor 10 of meer slachtoffers het groepsrisico voor elke regio gelijk is aan het maatschappelijk risico. Voor kleinere aantallen slachtoffers wordt het maatschappelijk risico volgens NAM negatief. Op basis van de uitkomsten voor de verschillende regio's concludeert NAM dat "*the maatschappelijk veiligheidsrisico clearly depends on population size"* (ref.10; p.22). Om de verschillende regio's te vergelijken normaliseert NAM het maatschappelijk risico met het aantal inwoners.

Ketenrisico's

Van de mogelijke ketenrisico's adresseert NAM de risico's bij industrie en infrastructuur. NAM stelt daarbij *"NAM voert niet de risicoanalyses voor de industrie of infrastructuur uit. Dit is consistent met de regelgeving en rollen; voor infrastructuur en industrie zijn in Nederland afzonderlijke toetsingskaders ontwikkeld"* (ref.1; p.57). De NCG heeft de risicoanalyse voor industrie onder zijn hoede genomen en een stuurgroep "industrie" georganiseerd. De focus ligt hierbij op de *"QRA/MRA-plichtige bedrijven"* (ref.1; p.57). Het zogenaamde "fase-1"-onderzoek is voor 40 bedrijven in gang gezet, terwijl het "fase-2"-onderzoek zich in het "pilotstadium" bevindt. NAM stelt ten aanzien van de industriële risico's *"Omdat de fase 2*

[14] Inside Local Personal Risk

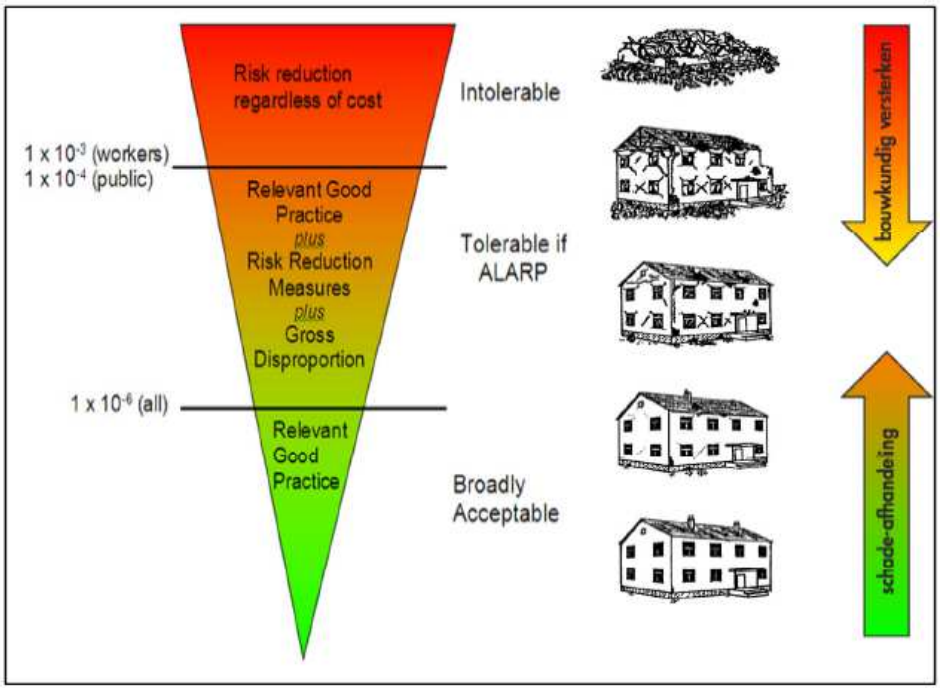
(phase 2 – semi-kwantitatieve) onderzoeken nog niet zijn afgerond, kan nog geen algemene uitspraak worden gedaan met betrekking tot het risico van aardbevingen op de industrie" (ref.1; p.58).

Ten aanzien van infrastructuur verwijst NAM naar een studie van Deltares naar de effecten van aardbevingen op kritische infrastructuur van januari 2014. Daarnaast stelt NAM *"Diverse andere infrastructuurbeheerders, waaronder ProRail, Tennet, en het Waterbedrijf Groningen, zijn bezig met de inventarisatie van de aardbevingsbestendigheid"* (ref.1; p.58).

Aard en omvang van de schade

Naast het risico op slachtoffers leidt gaswinning ook tot *"tot schades die niet levensbedreigend zijn, maar toch hinder veroorzaken"*. NAM stelt *" In het geval van een voortgezette productie blijven de schade- en hindereffecten voor de bewoner bestaan. Vanuit de Risicomethodiek zijn daarom naast de DS5 tevens de DS4 en DS3 relevant geacht"* (ref.1; p. 55). NAM heeft de verwachting voor nieuwe DS3-schades dat *"het gaat om een gering aantal, aangezien de drempel voor het verwachte optreden van dergelijke schade wordt overschreden vanaf ongeveer 0,15 g"* (ref.1; p.56).

NAM stelt dat van DS1 en DS2 schades *"meer een maatschappelijk effect dan een levensbedreigend effect"* uitgaat (ref.1; p.56). In figuur 6.5 van (ref.1) worden DS1 en DS2 schades aangemerkt als "broadly acceptable" (figuur 4-1).



Figuur 4-1: Weergave van figuur 6.5 uit [ref. 1].

Volgens NAM zullen *"DS1 en in mindere mate DS2 schades blijven optreden"* (ref.1; p.71). NAM probeert een eerste inschatting van het aantal toekomstige schades te maken, maar concludeert dat het meldingspatroon van schades sinds de Huizinge aardbeving niet het patroon van de bevingen volgt: *"The relationship between seismic activity and damage claims appears to be complex. Empirical evidence pointing to strong increase in the number of claims post-Huizinge (early-2013)."* (ref.7; p.19).

Desondanks concludeert NAM *"de schade is naar verwachting proportioneel in verhouding met de winning"* (ref.1; p.77).

Maatregelen om bevingen te voorkomen of beperken

In haar winningsplan noemt NAM een aantal maatregelen die mogelijk de seismische activiteit als gevolg van gasproductie zouden kunnen verminderen. Deze zijn in tabel 4-2 samengevat.

NAM stelt dat drukhandhaving (optie 5) niet nader wordt verkend, omdat *"gelet op de omvang en complexiteit van een dergelijk project deze niet voor het midden van het volgende decennium operationeel kan zijn"*, *"de maatschappelijke kosten en effecten aanzienlijk zijn"*, en "*het risico* [op seismiciteit door injectie] *momenteel niet kan worden gekwantificeerd"* (ref.1; p.60).

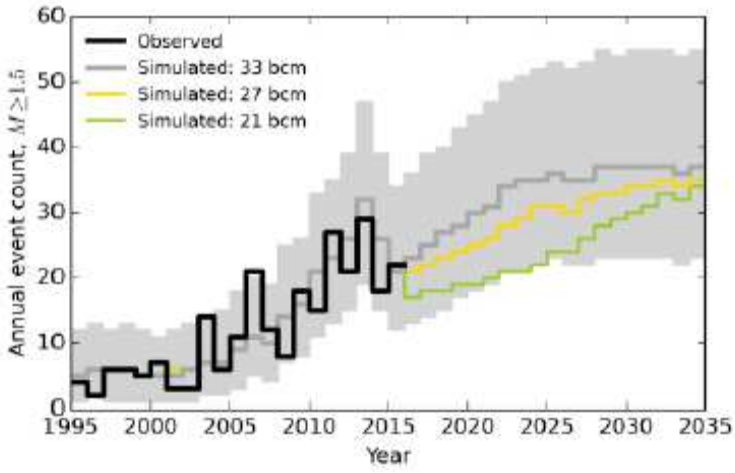
Ten aanzien van gelijkmatige productie (optie 6) stelt NAM *"er is consensus tussen NAM, betrokken experten en SodM dat de onderbouwing nog wetenschappelijk gesub-stantieerd moet worden, omdat de aanname is dat productiefluctuaties een seismisch risico in zich dragen. Daarom is het een onderdeel van het Studieprogramma geworden"* (ref.1; p.59).

Tabel 4-2: Samenvatting van de maatregelen die NAM heeft geëvalueerd om bevingen te voorkomen of beperken

Maatregelen om bevingen te voorkomen of beperken
1. Drukverschillen tussen het noorden en het zuiden van het veld zo klein mogelijk te houden.
2. De gasafname van het veld zo te optimaliseren dat die voornamelijk in het zuiden van het veld plaatsvindt, om zo het veld rond Loppersum, waar tot nu toe de meeste bevingen hebben plaatsgevonden, te ontzien.
3. Het verlagen van de druk in de randblokken om die zo op gelijke druk met het hoofdgedeelte van het veld te brengen.
4. Verminderen van de maximale jaarlijkse gasafname van het veld.
5. Het zo veel mogelijk handhaven van de druk in het veld door het injecteren van een bepaald volume gas (stikstof), waardoor minder compactie ontstaat.
6. Het zodanig gelijkmatig produceren van het gasveld, dat snelle productiefluctuaties worden vermeden.

Het verminderen van de jaarlijkse gasproductie (optie 4) zal volgens NAM " *de productie van gas en frequentie van aardbevingen vertragen, maar uiteindelijk niet wezenlijk verminderen*" (ref.1; p.59). In (ref.10; p.14) visualiseert NAM dit punt door de verschillen in modelvoorspellingen voor de jaarlijkse seismische activiteit voor drie productiescenario's (respectievelijk 33, 27 en 21 miljard m^3/jaar) weer te geven (figuur 4-2). Het model voorspelt dat op korte termijn er een verschil in seismische activiteit ontstaat, maar dat in 2035 alle scenario's ongeveer dezelfde jaarlijkse activiteit van 35-40 bevingen van M≥1,5 per jaar geven. Het effect van de korte termijn variatie op de berekende risico's voor de inwoners van Groningen in de periode 2016-2021 is volgens NAM beperkt (ref.6).

NAM heeft een alternatief scenario voor de productieverdeling over het veld, geoptimaliseerd met als doel het minimaliseren van het seismisch risico, doorgerekend in de risicoanalyse. De invloed van deze optimalisatie op de berekende risico's is echter erg klein. NAM concludeert *"The difference between the two options for the distribution of the production over the field is very small"* (ref.6; p.18).



Figuur 4-2: Weergave van figuur 3.2a uit [Ref. 10].

NAM geeft geen nadere invulling aan de effecten op de seismische activiteit van de overige mogelijke maatregelen.

Maatregelen om schade te voorkomen of beperken

De maatregelen die NAM neemt om schade te voorkomen of te beperken zijn in tabel 4-3 samengevat. Nadruk ligt hierbij op het *"bouwkundig versterken van gebouwen om het risico op persoonlijk letsel te verminderen. Versterkingen zullen daarnaast de kans op ernstige schade verminderen; lichte schade aan gebouwen kan echter niet helemaal worden voorkomen"* (ref.1; p.60). De uitvoering van het versterkingsprogramma is belegd bij de Nationaal Coördinator Groningen. In (ref.6) heeft NAM de impact op het berekende risico van een versterkingsprogramma voor verschillende aantallen gebouwen bepaald. NAM komt tot de conclusie *"each of the structural upgrading scenarios achieves a reduction of the ILPR to below the 10-5 /year norm"* (ref.6; p.20).

Tabel 4-3 Samenvatting van de maatregelen die NAM neemt om schade te voorkomen of beperken.

Maatregelen om schade te voorkomen of beperken
1. Verbeteren van de seismische weerstand van gebouwen: a. Vastzetten gebouwdelen. b. Verbeteren samenhang. c. Verbeteren seismische weerstand van bouwkundige elementen in de hoofddraagconstructie.
2. Maatregelen productiefaciliteiten NAM
3. Maatregelen incidentbestrijding
4. Verdere verbetering van het schadeprotocol
5. Innovatie in schadeherstel
6. Koppelkansen door slimme combinaties van schadeherstel en verduurzaming

NAM heeft in 2013 een onderzoek laten verrichten naar de robuustheid van de productiefaciliteiten ten aanzien van aardbevingen. Op basis hiervan zijn verschillende maatregelen genomen waaronder het installeren van trillingsopnemers *"die automatisch het insluiten van de installatie initiëren bij grondversnellingen boven een bepaalde waarde"* (ref.1; p.64).

Zowel binnen NAM als in de regio zijn samenhangende afspraken gemaakt over hoe te handelen in het geval een beving die grotere gevolgen heeft, zich voordoet (ref.1; p.64/65). Binnen NAM geeft het "Aardbevingen Emergency Response Plan" richtlijnen voor een effectieve reactie op een aardbeving. De veiligheidsregio heeft een Incidentbestrijdingsplan (IBP) aardbevingen opgesteld om de crisispartners (waaronder hulpdiensten) en bestuurders te ondersteunen in de bestrijding van mogelijke gevolgen van een aardbeving.

Mitigatie van de DS1 en DS2 schade en met name hinder die hiermee gepaard gaat bestaat uit de maatregelen 4-6 uit tabel 4-3.

Op basis van de resultaten van de risicoanalyse en het berekende effect van maatregelen op het veiligheidsrisico komt NAM tot de eindconclusie *"De uitkomsten van de HRA geven aan dat de veiligheid beheerst kan worden middels een gefocust programma om de meer kwetsbare gebouwen en objecten te versterken. De tijdelijke of blijvende leidraad voor een gelijkmatige productie in relatie tot de seismiciteit wordt mede bereikt door de voorgestelde productie en bandbreedte"* (ref.1; p.76).

Maatschappelijke effecten

Naast schade besteedt NAM in het winningsplan ook aandacht aan maatschappelijke effecten van de gaswinning. Er zijn de afgelopen jaren vele initiatieven opgezet om de leefbaarheid in het gebied te vergroten. De invulling en uitvoering van deze initiatieven ligt bij de overheid en maatschappelijke organisaties. NAM ondersteunt een groot deel van deze initiatieven financieel. Een overzicht van de door NAM in het winningsplan naar voren gebrachte initiatieven is gegeven in tabel 4-4.

Tabel 4-4 Overzicht van de maatregelen leefbaarheid en sociaaleconomisch perspectief zoals door NAM naar voren gebracht in [WP].

Maatregelen leefbaarheid en sociaal-economisch perspectief	
Interim nieuwbouwregeling	Economic Board Groningen
Meerwaarderegeling	Innovatieregeling
Opkoopregeling	Voorlichting
Woonfonds	Monitoring

4.6.2 Oordeel SodM

Centraal in het ingediende winningsplan staat de berekening van het seismisch veiligheidsrisico met behulp van een complexe modelleringsketen die de meeste onzekerheden behandelt door Monte Carlo simulaties toe te passen (zie ook bijlage III). Met dit model kan per locatie het individueel risico en voor regio's het maatschappelijk risico worden berekend.

Mede op basis van de mening van de SAC, de externe reviewers en TNO, plaatst SodM de volgende belangrijke kanttekeningen bij de door NAM gebruikte modellen:

1. Onzekerheden: De onzekerheden in de verschillende onderdelen van het model zijn groot en niet volledig en consistent meegenomen. Dit geldt met name voor het compactiemodel, het dynamisch model, de GMPE en het seismologisch model. Daar waar deze onzekerheden wel meegenomen worden, worden de scenario's bepaald op

basis van inschattingen door de experts die de modellen hebben opgezet zonder een duidelijke fysische of modelmatige basis.
De fout in de V2-versie van de risicoberekening heeft een groot effect gehad op de berekende dreiging (overschatting met 35%) en de risico's (aantal gebouwen waarvan het risico niet aan de norm voldeed werd een factor 30 hoger ingeschat). De SAC stelt dat *"it cannot be excluded that NAM will identify further errors in the software code"* (ref.26).

2. Modelkeuzes: In een vroeg stadium zijn keuzes in modellen en parameters gemaakt, die een grote invloed op de berekende risico's hebben.
3. Seismologisch model: Zowel de door SodM geraadpleegde internationale experts, als de SAC, als TNO hebben bedenkingen bij het seismologisch model. Het betreft met name de keuze voor compactie als proxy voor de seismiciteit. De SAC stelt *"The predictive power of such a model is unclear for situations that differ considerably from those prevailing during the historical production period on which the model has been calibrated"* (ref.26). TNO onderschrijft dit en stelt *"dat het gebruik van compactie als proxy alleen gerechtvaardigd lijkt zolang er geen bruikbaar en werkbaar alternatief fysisch model is en in het geval van het ontbreken van significante veranderingen, zoals bijv. de sterke reductie van de winning in bepaalde gebieden"* (ref.17). Dit betekent dat het gebruik van compactie als proxy alleen gerechtvaardigd is zolang er geen significante veranderingen in de productie optreden. Feit is dat de productie uit het Groningen gasveld een grote mate van fluctuatie heeft gekend en recent de ingrepen tot een sterke regionale reductie van de winning, afname van de fluctuaties en afname van de seismiciteit hebben geleid. SodM twijfelt daarom aan de validiteit van het seismologisch model en de uitkomsten van de risicoberekeningen.
   De geraadpleegde internationale experts (ref.27; ref.28; ref.29) wijzen erop dat in de literatuur verschillende alternatieve relaties tussen veranderingen in de ondergrond en het optreden van bevingen zijn beschreven en dat deze minimaal onderdeel zouden moeten uitmaken van de risicoanalyse.
4. Kwetsbaarheid gebouwen: De kwetsbaarheid van gebouwen wordt bepaald op basis van de grens tussen gradatie 4 en gradatie 5 schade volgens de Europese schaal voor seismiciteit (EMS). Volledige instorting van gebouwen wordt op dit moment niet meegenomen in de analyse. Hierdoor is de analyse niet volledig.

Een relativering van de uitkomsten van de modellering en daarmee van de berekening van het seismisch risico is gegeven bovenstaande kanttekeningen op zijn plaats.

De uitkomsten van de risicoanalyse worden door NAM gegeven in termen van een plaatsgebonden risico, het "Inside Local Personal Risk". De minister van Economische Zaken heeft op advies van commissie Meijdam de norm voor aardbevingsrisico gesteld op een niveau voor het individueel risico van 10^{-5} per jaar[15]. De commissie Meijdam stelt daarbij *"voor de berekening van het Individueel risico is het van belang rekening te houden met specifieke aardbevingsrisico's"* zoals vallende objecten, ketenrisico's en de verblijfsduur van een individu in een gebouw (ref.31).

[15] Kamerbrief DGETM-EO/15154731, dd. 3 november 2015.

SodM concludeert dat de verschillende risico's waaraan een individu wordt blootgesteld door NAM niet zijn opgeteld in een berekening van het individueel risico. Voor de berekening van de risico's door vallende objecten heeft NAM een alternatieve, onafhankelijke berekeningsmethodiek opgezet. Daarnaast zijn ketenrisico's niet (goed) in kaart gebracht. De additionele individuele risico's ten gevolge van bijvoorbeeld brand en overstroming zijn door NAM niet onderzocht. Het onderzoek naar de risico's van industriële installaties en infrastructuur is nog niet afgerond. Hierdoor is toetsing tegen de norm van 10^{-5} per jaar, zoals vastgesteld door de Minister van Economische Zaken, niet mogelijk.

SodM is van mening dat op basis van de risicoberekeningen van de NAM de conclusie dat bij een productie van 33 miljard Nm^3 per jaar de veiligheid voor de bewoners van Groningen in voldoende mate is gewaarborgd, niet getrokken mag worden.

SodM is van mening dat schade in het winningsplan onderbelicht wordt. De beoordeling van NAM dat schade van niveau DS1 en zeker DS2 voor de inwoners van Groningen acceptabel zou zijn, wordt door SodM niet gedeeld. DS2 schade (scheuren in meerdere muren) is naar de mening van SodM geen "hinder". Bij DS3-schade zijn gebouwen dusdanig zwaar beschadigd dat herstel economisch niet meer haalbaar is en nieuwbouw noodzakelijk wordt. Uit de informatie in (ref.7) kan worden afgeleid dat de kans op het optreden van onherstelbare schade aan een groot aantal gebouwen aanzienlijk groter is dan de kans op dodelijke slachtoffers. Het voorkomen en beperken van alle schade zou het uitgangspunt moeten zijn.

SodM is van mening dat NAM schade in het winningsplan onderbelicht en de mate waarin de schade acceptabel wordt gevonden overschat.

De effectiviteit van de maatregelen die NAM voorstelt om bodemtrillingen en schade door bodemtrillingen te voorkomen en beperken worden in belangrijke mate mede bepaald door de modelkeuzes en aannamen gemaakt in het seismologische model. De berekende effectiviteit van de verschillende maatregelen moet dan ook gerelativeerd worden.

NAM stelt in het winningsplan voor om alleen mitigerende maatregelen en geen verdere preventieve maatregelen te treffen. Naar de mening van SodM is het echter niet zeker dat de beoogde mate van versterking van gebouwen haalbaar is, terwijl de aanzienlijke onzekerheid in de gebouwklasse van individuele gebouwen het moeilijk kan maken om het berekende relatief lage aantal gebouwen dat versterkt moet worden te vinden. Daarbij is het is de vraag of versterkingsmaatregelen in alle gebouwen (bijvoorbeeld monumenten) mogelijk zijn. Op dit moment wordt nog kennis vergaard over aangepaste versterkingsmethoden die gericht zijn op behoud van monumentwaarden.

SodM deelt de beoordeling van NAM dat drukhandhaving niet kan bijdragen aan het voorkomen van bevingen gegeven de tijd benodigd om injectiefaciliteiten operationeel te krijgen en het potentiele risico op seismiciteit door grootschalige gasinjectie.

SodM is van mening dat de voorgestelde maatregelen om DS1 en DS2 schade te mitigeren geen maatregelen zijn om de schade en overlast te voorkomen of te beperken. De overlast van het hersteld moeten krijgen van de schade wordt slechts draagbaarder gemaakt.

SodM is van mening dat NAM er geen blijk van geeft dat het voorkomen of beperken van schade een leidend criterium is. De nadruk ligt op het veiligheidsrisico en mitigerende maatregelen, niet op voorkomen van schade en preventieve maatregelen. Daarbij is de effectiviteit van de door NAM voorgestelde maatregelen op de resultaten van de risicoberekening sterk afhankelijk van de gemaakte modelkeuzes, aannames en onzekerheidsbandbreedten.

Maatschappelijk risico

SodM vindt het belangrijk om inzicht te krijgen in de kans op grotere aantallen slachtoffers. NAM heeft eerste berekeningen van het maatschappelijk risico bij het winningsplan aangeleverd (ref.10). Om de eerste berekeningen van het maatschappelijk risico goed te kunnen toetsen, heeft SodM een groep van risico-experts, waaronder het RIVM, geraadpleegd. Voor een uitgebreide beschouwing van het maatschappelijk risico verwijst SodM naar Bijlage IV. Hier worden slechts de belangrijkste kanttekeningen en conclusies gegeven.

SodM sluit zich aan bij de grote meerderheid van de geraadpleegde risico experts die stellen dat (ref.32):

- De toegevoegde waarde van de correctiefactor zoals geadviseerd door de commissie Meijdam minimaal is. SodM sluit zich aan bij het voorstel van de geraadpleegde experts om deze in de toekomst niet meer toe te passen en de resultaten voor het groepsrisico alleen te berekenen voor gelijktijdige aantallen slachtoffers boven de 10.
- De experts onderschrijven de methodiek van prof. dr. Ir. P. van Gelder, zoals beschreven in de bijlage van het advies van de commissie Meijdam, waarop het maatschappelijk (groeps)risico berekend moet worden.
- Het regionale maatschappelijk risico nuttig en bruikbaar is voor de prioritering van maatregelen (productiemaatregelen en versterkings-maatregelen), het inzoomen op 'hotspots' om de oorzaak van een lokaal verhoogd risiconiveau vast te stellen en voor de veiligheidsregio. Een norm op deze risicomaat wordt sterk ontraden.
- Het regionale maatschappelijk risico niet gebruikt kan worden voor de vaststelling van het risico op maatschappelijke ontwrichting. De experts zijn het erover eens dat hiervoor alleen een berekening van het groepsrisico voor het gehele gasveld nuttig is.
- De berekende hoge kansen op een groep slachtoffers een onderschatting zijn van de daadwerkelijke kansen. Dit is een direct gevolg van het feit dat alleen het instorten van gebouwen in de berekeningen zijn meegenomen. Vallende objecten en ketenrisico's vormen geen onderdeel van de analyse.
- Het groeps- (maatschappelijk) risico voor de stad Groningen is vergelijkbaar met het groepsrisico rond Schiphol.
- NAM de schade die door een beving kan ontstaan als onderdeel van de bepaling van het maatschappelijk risico, zoals aanbevolen door de commissie Meijdam, niet in kaart heeft gebracht.

Op basis van de discussie met de risico-experts concludeert SodM dat het groepsrisico voor regio's van nut is voor de prioritering van versterkingsmaatregelen en als informatie voor de veiligheidsregio. Om inzage te krijgen in de mate van maatschappelijke ontwrichting zou het groepsrisico voor het gehele Groningen gasveld berekend moeten worden.

De huidige berekeningen van de regionale groepsrisico's zijn gemaakt op basis van dezelfde modelketen als de berekeningen voor het individueel risico. Hiervoor gelden dan ook dezelfde

kanttekeningen. De resultaten van de berekening dienen daarom eveneens gerelativeerd te worden.

Het groepsrisico moet zowel per regio als voor het gehele Groningen gasveld bepaald worden om goed inzicht te krijgen in de kans op grotere aantallen slachtoffers.

5. Meet- en regelprotocol

NAM heeft bij het op 1 april 2016 ingediende winningsplan Groningen 2016 een nieuw Meet- en regelprotocol gevoegd. De Minister van Economische Zaken heeft SodM verzocht om naast een advies over het winningsplan ook te adviseren over het "ten genoegen van de Inspecteur-generaal der Mijnen" zijn van dit Meet- en regelprotocol.

SodM heeft het voorgestelde Meet- en regelprotocol beoordeeld op zijn bruikbaarheid als risicobeheerssysteem. Het voorstel is o.a. getoetst aan eerder dit jaar door de minister geformuleerde verwachtingen. Daarbij waren zogenaamde signaalparameters voor de mate van seismiciteit aangereikt.

5.1 Positie NAM

Het bij het winningsplan 2016 ingediende Meet- en regelprotocol heeft volgens NAM tot doel dat "*de meer statische productieprincipes van het winningsplan in de praktijk worden vormgegeven door een dynamische (bij)sturing van de productie en bijbehorende maatregelen wanneer gepast"* (ref.1; p.9). De basis voor het Meet- en regelprotocol van NAM is het winningsplan waarin *"inzichtelijk wordt gemaakt hoe de productieverdeling over de clusters wordt ingericht op basis van het aardbevingsrisico"* (ref.2; p.4). Voor NAM heeft het protocol als doel *"alle veranderingen systematisch te monitoren"* en beschrijft het protocol *"de acties die indien nodig moeten worden genomen"* (ref.2; p.4). Daarbij stelt NAM dat het protocol *"borgt dat productie en productieverdeling in overeenstemming zijn met de bovengrondse maatregelen zoals gebouwversterking en schadeherstel"*. Het risicobeheerssysteem is ontwikkeld om het *"aardbevingsrisico en de hinder te beperken"* (ref.2; p.5). *"Met het productieprofiel zoals in het winningsplan beschreven blijft het aardbevingsrisico binnen de daarvoor gestelde kaders. Dit protocol toont door voortdurende metingen aan of dit ook het geval is"* (ref.2; p.6).

Voor het protocol zijn volgens NAM drie aspecten van belang:

- De aardbevingsactiviteit (aantal, locatie, magnitude en grondbeweging);
- Het versterkingsprogramma zoals vastgelegd in het meerjarenprogramma (MJP) van de Nationaal Coördinator Groningen (NCG);
- Schadeafhandeling uitgevoerd door het Centrum Veilig Wonen (CVW)

Van de laatste twee wordt terecht opgemerkt dat deze buiten de verantwoordelijkheid van NAM liggen. Deze zijn dan ook niet eenduidig beschreven in de signaalparameters. De signaalparameters gerelateerd aan de ondergrond zijn wel nader uitgewerkt zoals hieronder weergegeven in tabel 5-1.

Tabel 5-1: Signaal parameters en grenswaarden bij het in het winningsplan voorgestelde niveau (ref.2; p.7)

Signaalparameter	Verwachting	0	I	II
Activity rate (aantal M>1,5)	29	N≤37	37<N≤45	N>45
pga (g)		pga ≤0,08g	0,08 g < pga ≤ 0,15 g	pga > 0,15 g
Aantal M≥2,5	3	N≤5	5<N≤7	N>7

Gebouwenversterking	Statusniveau op basis van de rapportage door NCG en CVW
Schadeafhandeling	Statusniveau op basis van de rapportage door NCG en CVW

Tabel 5-2: Overzicht van de randvoorwaarden voor aanpassing van de productie (ref.2; p.13).

Verlaging van het jaarvolume	Verhoging van het jaarvolume
• De seismiciteit ***boven verwachting toeneemt*** volgens de analyses van de signaalparameters	• Seismiciteit blijft ***binnen de verwachting*** volgens de analyses van de signaalparameters
• Voortgang van het MJP blijft zodanig achter dat de versterkingsopgave redelijkerwijs niet kan worden gerealiseerd binnen de voorgeschreven termijn van 5 jaar.	• Voortgang van het MJP is zodanig dat de versterkingsopgave redelijkerwijs binnen de voorgeschreven termijn van 5 jaar kan worden gerealiseerd.
• Nieuwe inzichten in onderzoek leiden tot een naar boven bijstelling van de risicoverwachting wat leidt tot een versterkingsopgave die redelijkerwijs niet kan worden gerealiseerd binnen de voorgeschreven termijn van 5 jaar.	
	• Beoordeling van de voortgang van de schadeafhandeling door het CVW.

Het door NAM ingediende Meet- en regelprotocol voorziet in aanpassingen van het te produceren jaarvolume uit het winningsplan Groningen 2016 op basis van het statusniveau van de bovengrondse en ondergrondse signaalparameters. In tabel 5-2 zijn de randvoorwaarden voor aanpassing van de productie naast elkaar gezet.

Tenslotte zal NAM periodiek aan SodM *"een analyse van de meet- en monitoringsresultaten, en alle overige relevante meetgegevens, inclusief productie en productieverdeling"* rapporteren [ref. 2, p.12]. Hierbij kunnen *"trends en correlaties van de meetgegevens belangrijke informatie leveren om aanpassingen voor te stellen voor de productieverdeling en/of het versterkingsprogramma met als doel het aardbevingsrisico te mitigeren"* (ref.2, p.12).

5.2 Oordeel SodM

Naar de mening van SodM is het doel van een Meet- en regelprotocol het vastleggen van een risicobeheerssystematiek, waarmee het seismisch risico, schade en overlast - rekening houdend met de verdeling hiervan over de verschillende regio's - zoveel mogelijk worden beperkt. Terwijl de gaswinning toch doelmatig wordt uitgevoerd. Hiermee wordt invulling gegeven aan de zorgplicht zoals vastgelegd in artikel 33 van de Mijnbouwwet.

Uitgangspunt voor een protocol zijn de waarnemingen van de seismiciteit die in het veld optreedt. De afgelopen jaren zijn verschillende studies uitgevoerd naar trends en correlaties in gasproductie, dalingssnelheid en seismiciteit om statistisch significante relaties vast te stellen en daarmee de onderbouwing te geven voor de optimalisatie van de winning binnen de kaders van de risicobeheerssystematiek. Dergelijke studies zijn op verzoek van SodM (als toezichthouder), ter controle van het werk van NAM, door TNO en het CBS uitgevoerd.

Het uitgangspunt van NAM ten aanzien van het Meet- en regelprotocol komt niet overeen met de doelstelling van het protocol zoals hierboven benoemd. Door de andere invulling die NAM geeft aan het protocol is naar de mening van SodM het "regel"-gedeelte als risico-beheerssystematiek van weinig waarde.

Daarnaast plaatst SodM de volgende kanttekeningen bij het bij het winningsplan 2016 ingediende Meet- en regelprotocol:

- Het beheerssysteem in het protocol van NAM is ontwikkeld *"om aardbevingsrisico en hinder te beperken"*. Dit is niet in lijn met artikel 33 van de Mijnbouwwet waar expliciet staat dat *"de houder van een vergunning alle maatregelen neemt die redelijkerwijs van hem gevergd kunnen worden om te voorkomen dat als gevolg van de met gebruikmaking van de vergunning verrichte activiteiten a. nadelige gevolgen voor het milieu worden veroorzaakt, b. schade door bodembeweging wordt veroorzaakt, c. de veiligheid wordt geschaad, of d. het belang van een planmatig beheer van voorkomens van delfstoffen of aardwarmte wordt geschaad"*.
- De randvoorwaarden en signaalparameters zoals door NAM benoemd, komen niet overeen met de kaders zoals deze vanuit het Ministerie van Economische Zaken zijn aangereikt[16] [ref.30].
- Schadeafhandeling is een autonoom proces. Conform het burgerlijk recht ligt er een verplichting op NAM om schade veroorzaakt door de gaswinning te vergoeden. Het heeft geen invloed op het voorkomen of beperken van schade; deze is al opgetreden. Het kan daarom geen onderdeel van een risico-beheersysteem zijn.
- De grenswaarden voor de signaalparameters zijn zodanig hoog gekozen dat het zeer onwaarschijnlijk is dat ze overschreden zullen worden.
- NAM stelt: *"Met het productieprofiel zoals in het winningsplan beschreven blijft het aardbevingsrisico binnen de daarvoor gestelde kaders. Dit protocol toont door voortdurende metingen aan of dit ook het geval is"* (ref.2; p.6). Zoals in al in paragraaf 4.6.2 van dit rapport geconcludeerd is, is SodM op basis van de modelberekeningen niet overtuigd dat het veiligheidsrisico aan de norm voldoet. Daarbij lijken de grenswaarden voor de metingen arbitrair gekozen. Er wordt geen relatie gelegd tussen de grenswaarden en het daarbij behorende risiconiveau.
- In het protocol worden de risico's door NAM beheerst door *"op basis van het statusniveau van de signaalparameters en de signaalwaarde van de bovengrondse maatregelen"* het jaarvolume naar boven of beneden bij te stellen. Echter, de risicoberekeningen van de NAM tonen aan dat gegeven de aangenomen modelketen en onzekerheden, maatregelen aan de productiekant een minimaal effect hebben op het veiligheidsrisico. Ook de SAC wijst op deze inconsistentie tussen het protocol en het winningsplan (ref. 26).
- Er is inconsistentie tussen de voorwaarden voor bijstelling van de productie. Voor verhoging worden andere voorwaarden en normen gebruikt dan voor verlaging van de productie.

Ten aanzien van het nieuw ingediende Meet- en regelprotocol komt SodM tot de conclusie:

SodM stelt vast dat het op 1 april 2016 ingediende Meet- en regelprotocol niet ten genoegen is van de Inspecteur-generaal der Mijnen.

[16] Naast de norm voor het Individueel veiligheidsrisico heeft het ministerie ook kaders gesteld ten aanzien van het doel van het protocol, de te gebruiken signaalparameters, de te nemen acties en de rapportages (ref.30).

6. Aanvullende analyses en voortschrijdend inzicht

In Hoofdstuk 4 is de conclusie toegelicht dat de resultaten van de risicoberekeningen van de NAM geen solide basis kunnen vormen voor de vaststelling van een verantwoord niveau van winning en voor het eventueel verhogen van het niveau naar 33 miljard Nm^3 per jaar.

Naast de algemene behoefte aan onafhankelijke controleberekeningen vormt dit voor SodM de aanleiding om een aantal analyses te laten uitvoeren bij andere onderzoeksinstellingen.

Studies uitgevoerd in opdracht van SodM

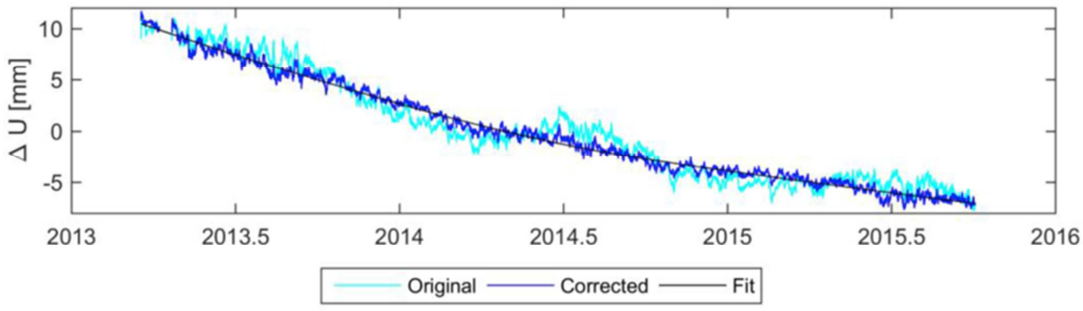
Naast de in paragraaf 4.2.1 genoemde onderzoeken is op verzoek van SodM door TNO, TU Delft, het KNMI en het CBS nog een aantal aanvullende analyses uitgevoerd, o.a. ter toetsing van hypotheses die NAM niet heeft onderzocht en gerapporteerd.

Het gaat hierbij om:

- Onafhankelijke berekening van de effecten van de ingreep in de gasproductie in januari 2014 op de bodemdaling door TU Delft en het CBS (ref.25, ref.23).
- Studies door TNO en CBS naar de ontwikkeling van de seismiciteit in Groningen sinds 2013 in reactie op de ingrepen in het winningsniveau en de verdeling van de gasproductie over het veld (ref.17, ref.22).
- Studies door TNO en CBS naar de effecten van de jaarlijkse zomer-winter fluctuaties in de productie op de seismische activiteit (ref.15, ref.24).
- Een korte, verkennende studie door de Universiteit Aken naar mogelijke effecten van aanwezigheid van zout op breukvlakken op snelheidsafhankelijkheid van seismische activiteit (ref.34).

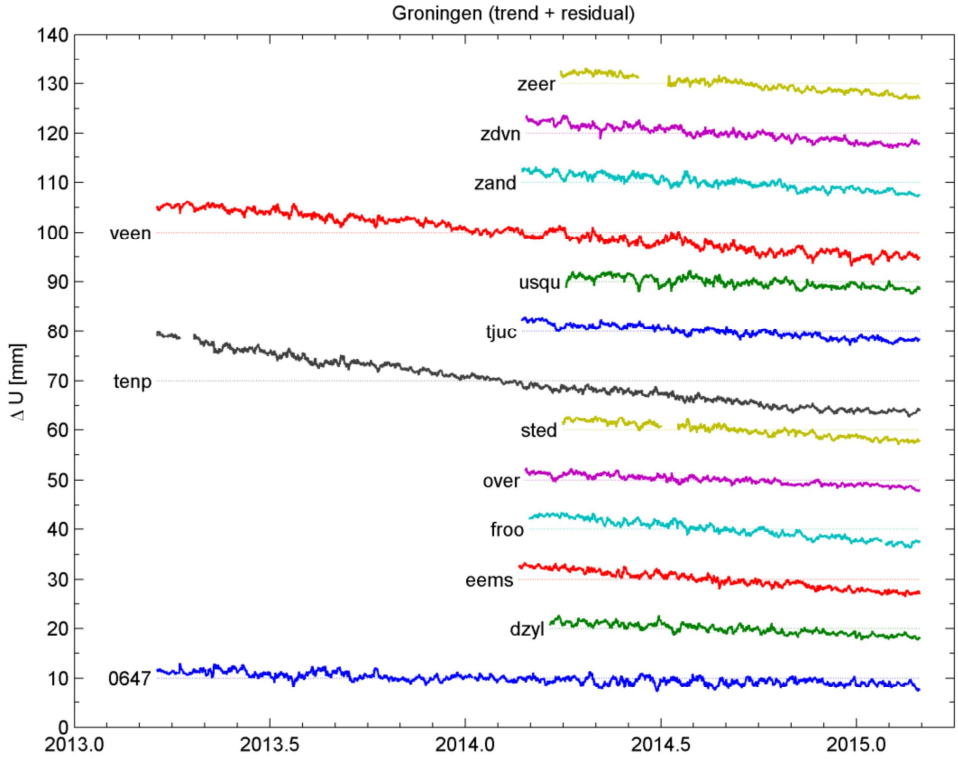
6.1 Ontwikkeling bodemdaling

De ontwikkeling van de bodemdaling wordt continu gemonitord met een tiental over het veld verdeelde permanente GPS stations. De GPS stations Ten Post en Veendam werden door NAM in 2013 geplaatst, de overige stations werden door NAM begin 2014 geplaatst. In opdracht van SodM zijn door de TU Delft en CBS in 2014 en 2015 studies gedaan naar de verwerking van de GPS (Global Positioning) data van deze stations. In de analyse door TU Delft werden verstorende ruis en seizoenseffecten uit het signaal van de individuele stations verwijderd. Hierdoor ontstaat een duidelijker beeld van de bodemdaling door de gaswinning. De resultaten voor GPS-station ten Post (figuur 6-1) laten na januari 2014 een duidelijke afname van de bodemdalingssnelheid zien met ongeveer een factor 2.



Figuur 6-1: De dalingssnelheid bij Ten Post, in het centrumgebied neemt met ongeveer een factor 2 af na de productie ingreep van januari 2014. Bron: TUDelft

Zoals figuur 6-2 laat zien komt de bodemdalingssnelheid bij Ten Post in de loop van 2015 overeen met de dalingsnelheden van andere, omliggende GPS stations (bijvoorbeeld Stedum, Overschild en Zeerijp) in het centrum van het veld.



Figuur 6-2: Daling van de Groningen GPS stations Bron: TUDelft

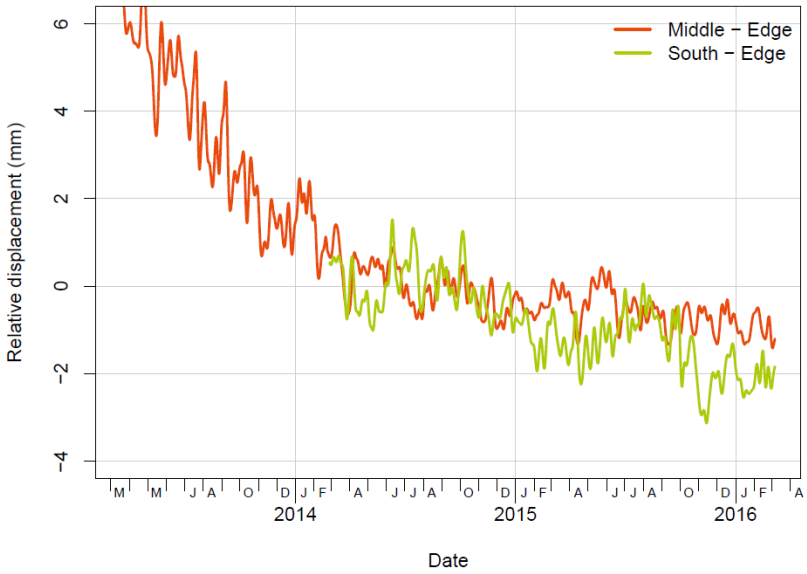
In analyses van CBS van de GPS-hoogtereeksen wordt niet gekeken naar de metingen van individuele stations. In plaats daarvan wordt gekeken naar de verschillen tussen de GPS metingen van (combinaties van) van verschillende stations. De studie van CBS is in 2016 herhaald met een uitgebreidere dataset van GPS tijdreeksen tot 3 april 2016 (ref.23).

Zoals ook in de eerdere CBS analyses bleek, laten de gegevens in het centrale gebied een statistisch significante trendbreuk zien in de relatieve dalingssnelheid van het centrum ten opzichte van de rand van het veld, ongeveer twee maanden nadat de productie in januari 2014 in het centrum sterk werd gereduceerd.

CBS concludeert dat in het centrumgebied rond Loppersum en Ten Post, een voortgaande maar sterk afgenomen daling optreedt. Figuur 6-3 toont het verschil tussen de gemiddelde hoogten van het centrale gebied t.o.v. de rand van het veld (rode lijn). Ter vergelijking wordt ook de gemiddelde hoogte in het zuidelijke gebied t.o.v. de rand weergegeven (groene lijn). Ook zijn er in 2015 geen grote verschillen meer in de dalingssnelheid tussen "het centrum" en "de rand" van het veld.

De resultaten in 2016 zijn volledig in lijn met de resultaten die beschreven zijn in voorgaande CBS-rapporten.

De bodemdalingsmetingen laten een (in tijd vertraagde) verlaging van de dalingssnelheid in het centrale gebied zien na de sterke afname van de productie in dat gebied in januari 2014.

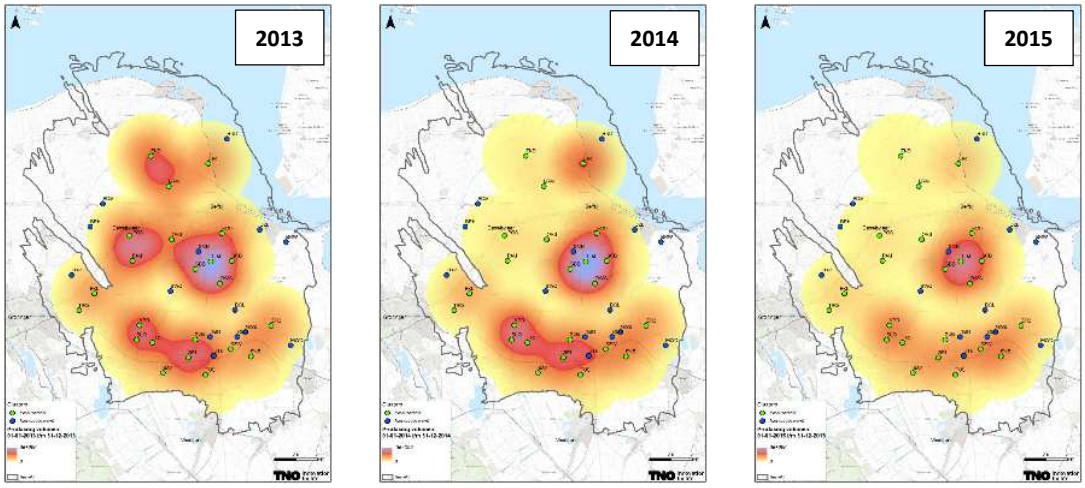


Figuur 6-3: In rood aangegeven het verschil tussen de gemiddelde hoogte in het centrumgebied ('middle') en de rand van het veld ('edge'). Bron: CBS

6.2 Ontwikkeling ruimtelijke verdeling seismiciteit

Productiedichtheidskaarten

De kaarten in figuur 6-4 tonen de ruimtelijke dichtheid van de gasproductie voor de drie opeenvolgende jaren van 2013 tot en met 2015. De kaarten zijn gemaakt door TNO (ref.17) met een standaard GIS applicatie.

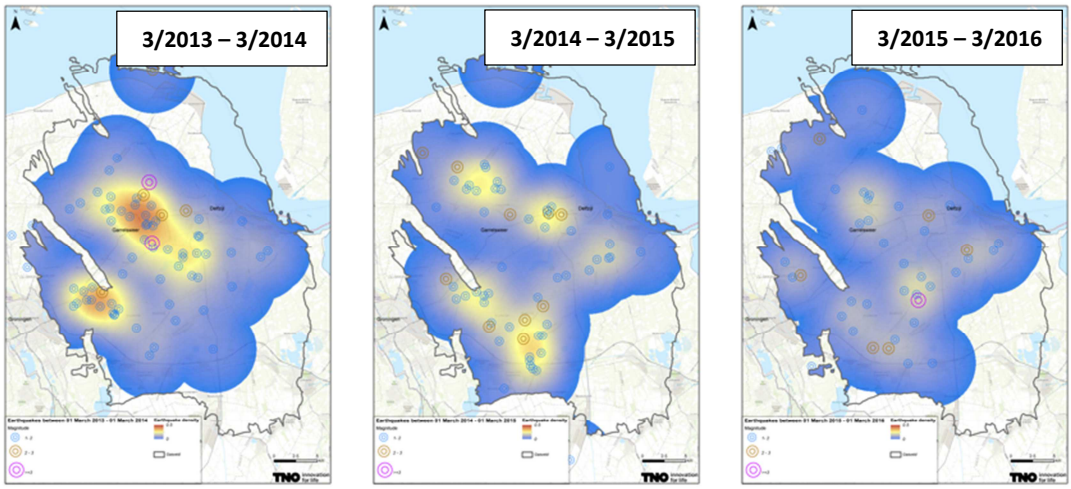


Figuur 6-4: Regionale verdeling van de dichtheid van de gasproductie per jaar. Bron: TNO.

Na de relatief hoge productie in 2013 (linker figuur) is vanaf januari 2014 de productie in het centrum (Loppersumgebied) en in het noordwesten van het Groningenveld sterk teruggebracht. De relatief hoge productie in de overige randgebieden is nog enige tijd doorgezet of zelfs verhoogd en pas in een later stadium gereduceerd. In de middelste kaart is de sterke afname van de productie in het centrum en noordwesten na begin 2014 goed zichtbaar. Vanaf januari 2015 is ook de productie in het zuidwestelijk deel van het veld gereduceerd. Een vergelijking tussen het eerste en het derde kaartje laat de uiteindelijke afname van de jaarlijkse gasproductie over het gehele veld in de laatste drie jaar zien.

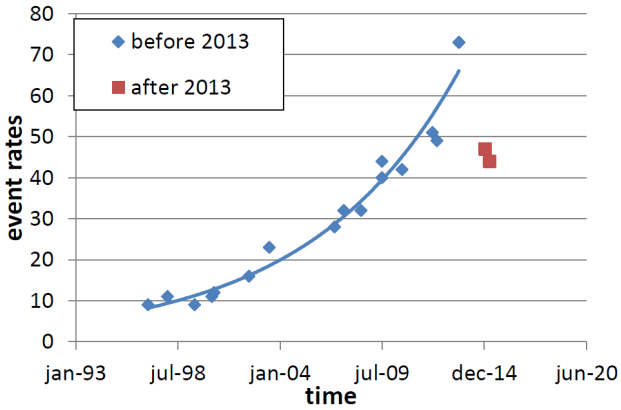
Aardbevingsdichtheidkaarten

De kaarten in figuur 6-5 tonen de aardbevingsdichtheden voor drie opeenvolgende jaren in de periode van 1 maart 2013 tot 1 maart 2016. Op de linker kaart zijn twee 'hotspots' met een hoge aardbevingsdichtheid zichtbaar. De middelste kaart toont de afname van de aardbevingsdichtheid in het centrum en het noordwesten na de sterke productieafname in het Loppersumgebied. In 2014 ontstond nog een toename van de aardbevingsdichtheid in het zuidelijke gebied waar de productie in 2014 op een relatief hoog niveau werd voortgezet. De rechterkaart toont de aardbevingsdichtheid in het afgelopen jaar, na het eveneens limiteren van de productie in het zuidwestelijke gebied. Bijna overal is deze lager dan in beide eerdere jaren. Er zijn geen 'hot spots' meer zichtbaar.



Figuur 6-5: Regionale verdeling van de dichtheid van de opgetreden aardbevingen (M ≥ 1,0) per jaar. Bron: TNO

CBS bevestigt dat de waargenomen effecten in de aantallen bevingen en in de verdeling van de bevingen over het veld na de aanpassingen in de gasproductie statistisch significant zijn op betrouwbaarheidsniveau' s van 95 tot 99% (ref.22).



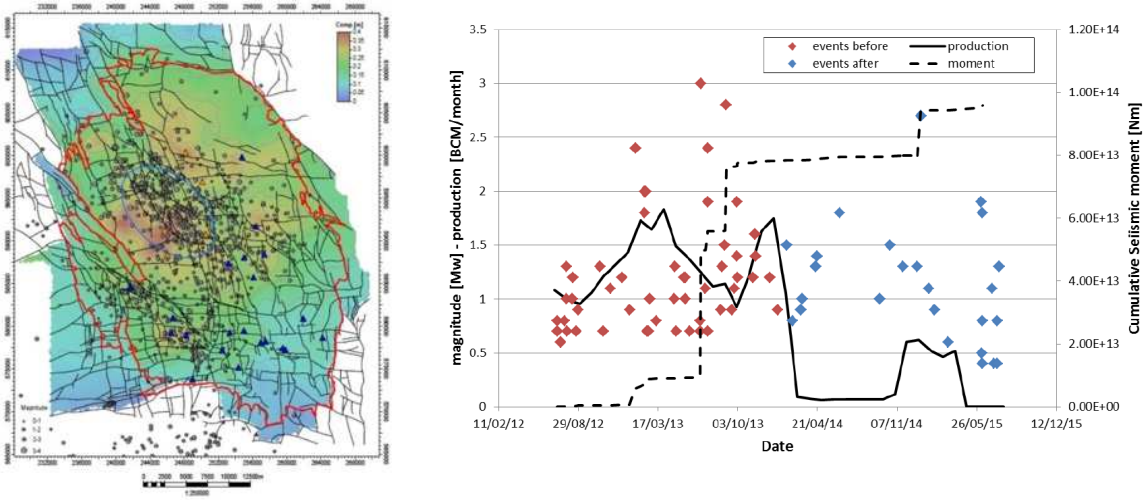
Figuur 6-6: De jaarlijkse 'event rate' M>1.0 voor het gehele Groningen veld volgens het 'Bayesian change point model'. Een sterke toename van de jaarlijkse bevingen t/m 2013 en afname vanaf het 'Bayesian change point' in mei 2014. Bron: TNO (ref.17).

TNO komt voor de productie ingreep in januari 2014 tot een vergelijkbare conclusie op basis van een analyse met een 'Bayesian change point model (figuur 6-6; ref.17).

De ingrepen in de productie zijn effectief geweest; de seismiciteit blijkt op relatief korte termijn regelbaar. Er is een duidelijk statistisch significant verband vastgesteld tussen de ingrepen in de productie sinds januari 2014 en de frequentie en verdeling van de aardbevingen.

6.2.1 Ontwikkeling seismiciteit centrumgebied (omgeving Loppersum)

De figuren in appendix D van het TNO rapport van april 2016 (figuur 6-7; ref.17) tonen de ontwikkeling van de seismische events en het seismisch moment in het ellipsvormig gekozen centrumgebied (zie blauwe ellips, linker kaart). De rechter grafiek toont met de zwarte lijn de maandelijkse gasproductie in dit centrale gebied (www.nlog.nl). De productie neemt sterk af in januari 2014 en wordt slechts kort hervat in het najaar van 2014. De bevingen vanaf 1,5 jaar vóór de productiebeperking van januari 2014 zijn rood weergegeven. De bevingen tot 1,5 jaar na de productiebeperking zijn blauw weergegeven (source www.knmi.nl). De onderbroken lijn toont de toename van het cumulatieve vrijgekomen seismische moment in de drie jaar. De toename wordt vooral bepaald door de grotere bevingen in 2013 en één grotere beving in januari 2015. Deze beving vond plaats kort nadat de productie tijdelijk en op een hoog niveau weer opgestart was in het centrale gebied. De beving van Huizinge (M=3,6 d.d. 16 aug 2012) valt net buiten deze analyse.



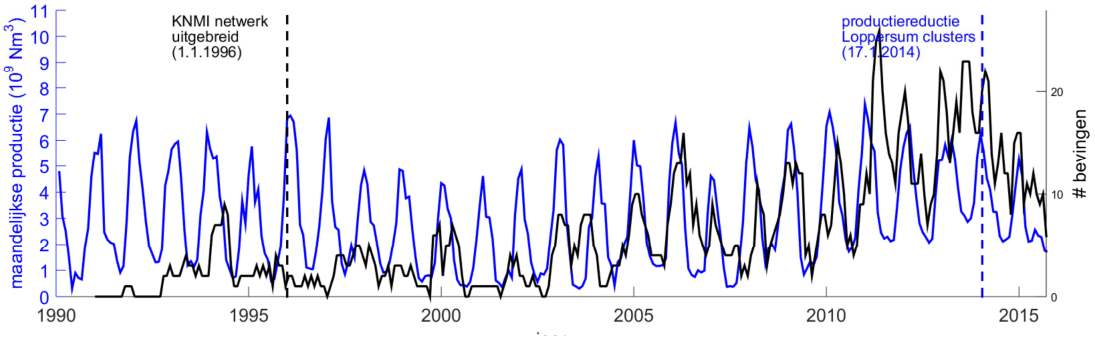
Figuur 6-7: De ontwikkeling van de seismische events en het seismisch moment in het ellipsvormig gekozen centrumgebied (blauwe ellips, linker kaart). De rechter grafiek toont met de zwarte lijn de maandelijkse gasproductie en de aardbevingen 1,5 jaar voor (rode stippen) en 1,5 jaar na de ingreep (blauwe stippen) in dit centrale gebied.

Na de productiebeperking in het centrale (Loppersum-) gebied in begin 2014 is daar een sterke afname van vooral de zwaardere bevingen zichtbaar.

6.2.2 Ontwikkeling jaarlijkse fluctuaties in gaswinning en seismiciteit

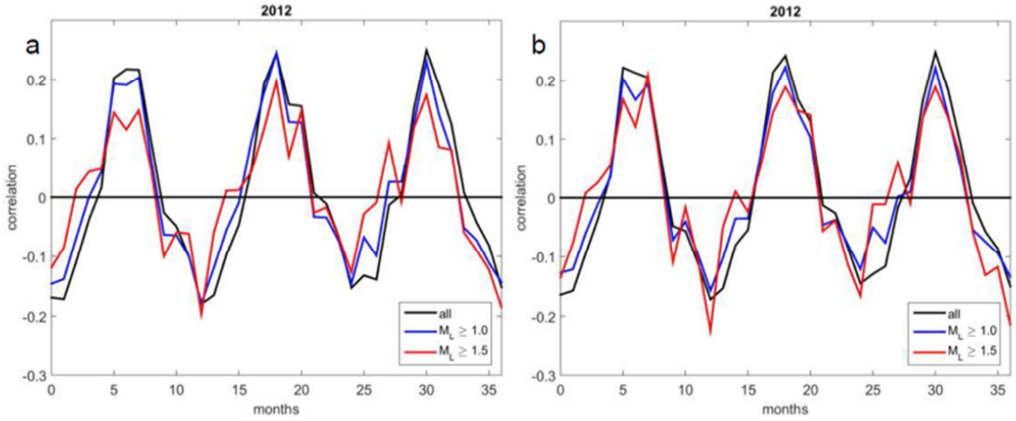
Vanaf eind jaren zestig is het gas geproduceerd met een seizoensfluctuatie. SodM dringt sinds 2012 aan op onderzoek naar het effect van deze productiefluctuaties op de seismiciteit. Onderzoeken door NAM in 2013 en 2015 gaven geen ondersteuning voor het bestaan van zo'n effect. Een verklaring daarvoor zijn de verstorende effecten van de drukvoortplanting in het veld op de door NAM toegepaste analysemethodieken. TNO heeft in 2015 op basis van de waargenomen variaties in de seismiciteit binnen een productiejaar laten zien dat de voor het Groningenveld karakteristieke grote jaarlijkse seizoensfluctuaties in de productie de seismiciteit beïnvloeden met een vertraging van 5-7 maanden (ref.15). Dat wordt

geïllustreerd in figuur 6-8 waar de maandelijkse productie wordt getoond in combinatie met het 3-maandelijks voortschrijdend gemiddelde van de seismiciteit (M >= 1.0) sinds 1990.



Figuur 6-8: Gasproductie uit het Groningenveld (op maandbasis) in blauw en het aantal bevingen met magnitude groter dan 1,0 (op maandbasis met 3-maandelijks voortschrijdend gemiddelde) in zwart. Bron: TNO (ref.15)

Het verband tussen de fluctuaties in de productie en resulterende fluctuaties in de seismiciteit is ook duidelijk te zien in de '*stacked cross correlaties*' tussen productie en seismiciteit die door TNO zijn berekend (figuur 6-9). Dat geldt zowel voor de bevingen met magnitude groter of gelijk aan 1,0 als voor de bevingen met een magnitude groter of gelijk aan 1,5.



Figuur 6-9: Stacked crosscorrelaties tussen seismiciteit en productie voor de gehele catalogus (a) en voor de catalogus waar de naschokken uit zijn verwijderd (b). Bron: TNO (ref.15).

CBS heeft in samenwerking met TNO m.b.v. een nieuwe studie in 2016 laten zien dat het mogelijk is te corrigeren voor de verstorende effecten van drukvoortplanting. Na deze correctie blijkt er een statistisch significant verband te bestaan tussen de jaarlijkse zomer-winter fluctuaties en de waargenomen seismiciteit. Met behulp van meer gegevens uit het veld zelf en een verfijnde techniek is deze conclusie van CBS nu beter onderbouwd dan in een eerdere studie in 2015, waarbij zowel naar het tijdstip als naar de positie van de bevingen wordt gekeken (zie ook Bijlage II, ref.24). Ook geeft CBS aan dat de effecten met een hoge mate van waarschijnlijkheid met elkaar in causaal verband staan.

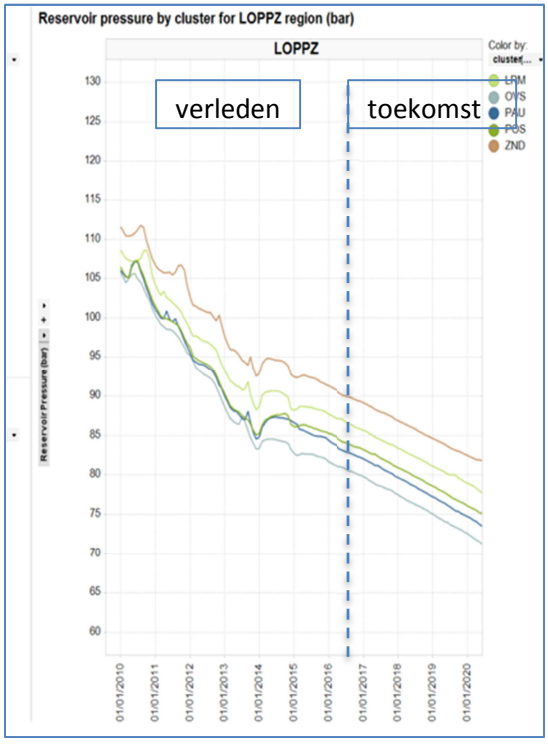
Er is een statistisch significant verband tussen de jaarlijkse zomer-winter productiefluctuaties en waargenomen fluctuaties in de seismiciteit. Een causaal verband is waarschijnlijk.

7. Synthese en conclusies

De verschillende in de voorgaande hoofdstukken besproken analyses en berekeningen hebben tot een veelheid aan (deels voorlopige) conclusies en noties geleid. Ongetwijfeld zal een deel daarvan in de toekomst door het verkrijgen van meer informatie en ten gevolge van voortschrijdend inzicht verder worden bijgesteld. In dit hoofdstuk worden de op dit moment voor het huidige advies belangrijkste noties samengevat en conclusies getrokken die voor het advies van belang zijn.

Effect van eerder genomen maatregelen

- Het ingrijpen in de productie vanaf 2014 heeft duidelijk effect gehad op de mate van seismiciteit. De seismische activiteit is na de ingrepen in de productie sterker afgenomen dan voorafgaand aan de maatregelen voorspeld werd. Analyses van CBS en TNO geven aan dat de effecten op een hoog betrouwbaarheidsniveau statistisch significant zijn.
- Na de ingreep van begin 2014 zijn er zorgen geweest of het zeer sterk reduceren van de winning uit de productieclusters rond Loppersum zou gaan leiden tot een toename van de productie en de seismiciteit op andere plaatsen in het veld. In eerste instantie was hiervan enige sprake, maar na verdergaande reductie van het winningsniveau is ook in de overige delen van het gebied de seismische activiteit inmiddels beduidend lager dan in 2013 en 2014.
- Na de ingreep van begin 2014 is geopperd dat het positieve effect op de seismiciteit in de regio Loppersum slechts tijdelijk zou kunnen zijn vanwege het feit dat drukken uiteindelijk weer zullen vereffenen. Omdat het niet (alleen) gaat om reservoirdruk, of cumulatieve compactie als bepalende factoren, maar ook om de snelheid waarmee de reservoirdruk daalt, is er goede reden om aan te nemen dat het effect niet tijdelijk is. In de regio Loppersum worden weinig bevingen meer waargenomen, terwijl de reservoir druk inmiddels weer geleidelijk aan het dalen is.



Figuur 7-1: Drukontwikkeling Loppersumgebied sinds 2010. Na de ingreep in januari 2014 is de drukdaling langzamer en gelijkmatig. Bron: NAM

SodM is van mening dat het systeem regelbaar is gebleken. De mate waarin het systeem op veranderingen in de productie reageert, is nog niet goed te voorspellen, de richting wel.

Risicoberekening van NAM

Centraal in het ingediende winningsplan staat de berekening van het seismisch veiligheidsrisico met behulp van een complexe modelleringsketen die de meeste onzekerheden behandelt door Monte Carlo simulaties toe te passen. De laatste twee jaar is door NAM veel energie gestoken in het verbeteren en verfijnen van deze vorm van modellering. Was het in 2013 nog slechts mogelijk seismische dreiging te berekenen, inmiddels is dit model in staat per locatie het individueel risico te berekenen.

SodM plaats twee kanttekeningen bij deze centrale rol van het berekende veiligheidsrisico.

1. De Mijnbouwwet (Art. 33) stelt dat schade zoveel mogelijk voorkomen moet worden. Dat geldt ook voor schade die nauwelijks bijdraagt aan het veiligheidsrisico. Het volstaat niet er alleen voor te zorgen dat het veiligheidsrisico binnen de norm (van 10^{-5} per jaar) blijft, en daar waar dat nog niet het geval is huizen te versterken.
2. Er is een aantal redenen om de uitkomsten van de berekening van het veiligheidsrisico in twijfel te trekken.
    a. Er zijn nog steeds grote onzekerheden in de gehanteerde modellen voor de risicoberekening.
    b. In een vroeg stadium gemaakte keuzes en aannames in de gebruikte modellen hebben een grote invloed op de effecten van veranderingen in de gasproductie op de berekende risico's.
    c. De verschillende risico's waaraan een individu wordt blootgesteld zijn door NAM niet opgeteld in een berekening van het individueel risico. Voor de berekening van de risico's door vallende objecten heeft NAM een alternatieve, onafhankelijke berekeningsmethodiek opgezet. Daarnaast zijn de ketenrisico's nog niet (goed) in kaart gebracht en niet meegenomen. Hierdoor is toetsing tegen de norm van 10^{-5} per jaar, zoals vastgesteld door de Minister van Economische Zaken, niet mogelijk.

Een relativering van de uitkomsten van de modellering en daarmee van de berekening van het seismisch risico is op zijn plaats. SodM acht het daarom van belang om naast de uitkomst van modellen die seismische dreiging en seismisch risico voor de komende jaren voorspellen, de waarnemingen van daadwerkelijk opgetreden bevingen in het verleden te blijven plaatsen.

SodM is van mening dat de resultaten van de risicoanalyse niet bruikbaar zijn om sterke kwantitatieve uitspraken te kunnen doen over het risiconiveau en het effect van productiemaatregelen.

Twijfels over het op compactie gebaseerde seismologisch model

Specifiek met betrekking tot het door NAM gebruikte seismologisch model om de hoeveelheid bevingen te voorspellen (gegeven een bepaald productiescenario) heeft SodM ernstige twijfels. Compactie is niet de enige oorzaak van de aardbevingen. Aardbevingen worden veroorzaakt door toenemende spanning op breuken in de diepe ondergrond. Niet alleen de resultaten van de risicoanalyse worden sterk bepaald door het gebruikte seismologische model met cumulatieve compactie als proxy, maar ook de voorspellingen over aantallen bevingen leunen op dit model. Het gebruik van dit model is mogelijk gerechtvaardigd zolang er geen significante veranderingen in het productiepatroon zijn. Gegeven het feit dat de productie uit het Groningen gasveld een grote mate van fluctuatie heeft gekend en recent de ingrepen tot een sterke regionale reductie van de winning en tot een vermindering van de fluctuaties hebben geleid, twijfelt SodM sterk aan de bruikbaarheid van dit op cumulatieve

compactie gebaseerde seismologisch model. Dit heeft consequenties voor 1. de uitkomsten van de risicoberekeningen, 2. de onderbouwing van NAM's conclusie dat '*de frequentie van aardbevingen vertraagt, maar uiteindelijk niet wezenlijk vermindert*' en 3. voor de voorspelling van aantallen bevingen in het algemeen. NAM onderkent overigens (ref. 8, p. 81) dat een 'fault based seismological model' een goed alternatief zou kunnen zijn en schrijft: '*Fault based and compaction based metrics need to be compared to determine the best seismological model*.' Die vergelijking moet nog plaatsvinden.

Effect van (seizoens-)fluctuaties in de winning op seismiciteit

Vanaf eind jaren zestig is het gas geproduceerd met een seizoensfluctuatie. Hierbij werd 's winters meer gas gewonnen dan 's zomers. SodM dringt vanaf 2012 aan op onderzoek naar het effect van deze productiefluctuaties op de seismiciteit. Onderzoeken door NAM in 2013 en 2015 gaven geen ondersteuning voor het bestaan van zo'n effect. Een mogelijke verklaring zouden de verstorende effecten van de drukvoortplanting in het veld (als gevolg van de winning) op de door NAM toegepaste analysemethodieken kunnen zijn. In 2015 heeft TNO laten zien dat de voor het Groningenveld karakteristieke jaarlijkse seizoensfluctuatie in de winning de waargenomen variaties in het aantal bevingen beïnvloedt (met een vertraging van vijf tot zeven maanden). CBS heeft in een nieuwe studie in 2016 laten zien dat het mogelijk is te corrigeren voor de verstorende effecten van drukvoortplanting. CBS gebruikte de gemodelleerde reservoirdrukken (afkomstig van de reservoirsimulator) op de locaties van de bevingen. Na deze correctie blijkt er een statistisch significant verband te bestaan tussen de jaarlijkse seizoensfluctuaties en de waargenomen seismiciteit, waarbij zowel naar het tijdstip als naar de positie van de bevingen wordt gekeken (zie ook Bijlage II). Ook geeft CBS aan dat de variaties in de productie (en dus van de wisseling in snelheid van drukdaling) en de variaties in waargenomen seismiciteit met een hoge mate van waarschijnlijkheid met elkaar in causaal verband staan.

Er zijn nu voldoende aanwijzingen om op basis daarvan te pleiten voor het zoveel mogelijk vermijden van fluctuaties in de productie. Waarschijnlijk is het ook onverstandig te sterke ruimtelijke verschillen in drukdalingssnelheid te laten ontstaan. Ook is het belangrijk om het ontstaan van zogenaamde nieuwe 'hot spots' op de aardbevingsdichtheidskaarten te voorkomen.

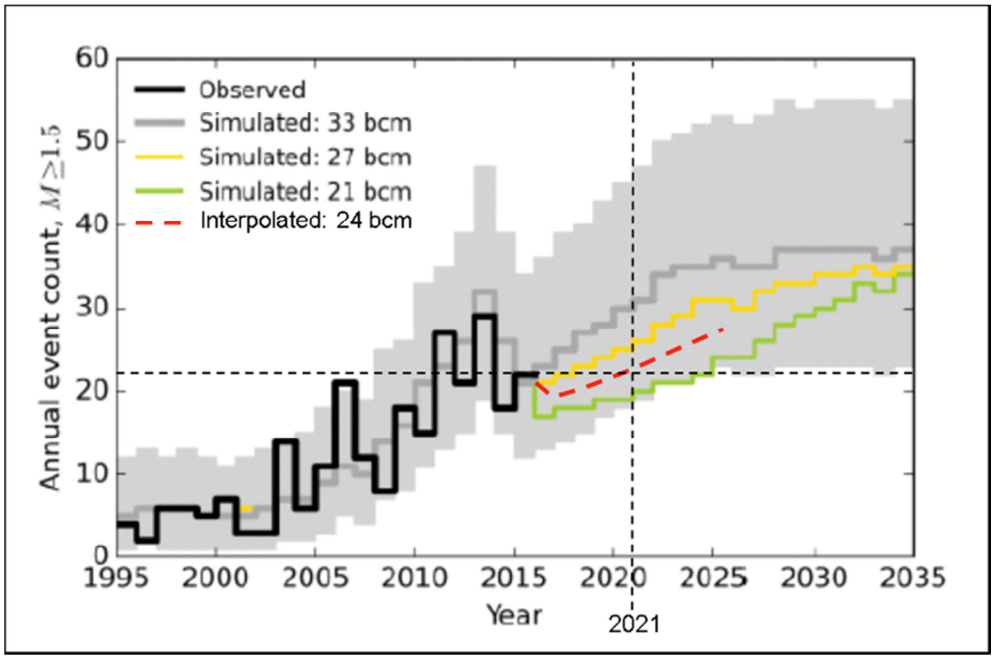
Sinds maart 2015 zijn seizoensfluctuaties vrijwel afwezig geweest. Ook is het winningsniveau in die periode lager dan in 2014. Het aantal zwaardere bevingen lijkt gedurende dezelfde periode te zijn afgenomen (zie ook Bijlage III). De periode nog te kort om een verband tussen fluctuaties en seismische activiteit te kunnen bewijzen of de afname statistisch te bewijzen. Daarvoor is het nauwkeurig volgen en analyseren van trends in de seismische activiteit de komende jaren, bij voorkeur bij een zo constant mogelijk productieniveau van groot belang.

Verantwoord winningsniveau

De vraag wat een verantwoord jaarlijks winningsniveau zou zijn, is ondanks de toegenomen kennis en inzichten op dit moment niet eenduidig te beantwoorden.

- Het effect van een volledig wegnemen van de seizoensfluctuatie op schade en risico is nog niet te kwantificeren. Het is denkbaar dat dit effect zo groot is dat bij het voorgestelde niveau van 27 miljard Nm^3/jaar de seismische activiteit en daarmee de schade en overlast worden teruggebracht tot een niveau dat als verantwoord beschouwd kan worden.

- Anderzijds is het zo dat NAM met het huidige op compactie gebaseerde seismologisch model voor beide productiescenario's van 33 en 27 miljard Nm^3/jaar een toename van seismische activiteit voorspelt gedurende de komende 10 jaar. Voor het scenario van 21 miljard Nm^3/jaar voorspelt NAM in die periode een seismische activiteit lager dan in 2015 waargenomen. Interpolatie van de voorspellingen voor scenario's van 21 en 27 miljard Nm^3/jaar laat zien dat een winningsniveau van 24 miljard Nm^3/jaar tot 2021 niet leidt tot hogere aantallen bevingen dan waargenomen in 2015.



Figuur 7-2: Voorspelling van de ontwikkeling van het jaarlijks aantal bevingen volgens het seismologisch model van NAM (ref.10). De interpolatie voor 24 miljard Nm^3 is van SodM. Deze interpolatie laat zien dat tot 2021 het te verwachten aantal bevingen (M≥1,5) lager is dan het waargenomen aantal in 2015.

- Omdat SodM betwijfelt of het seismologisch model van NAM in staat is de aantallen bevingen goed te voorspellen indien overgegaan wordt tot het wegnemen van de seizoensfluctuaties, is het de verwachting van SodM dat in dat geval het model van NAM de toename van het aantal bevingen overschat. De voorspelling kan daarom als een *worst-case* scenario genomen worden.
- Omdat beide effecten nog niet goed te kwantificeren zijn, is het, raadzaam om op de korte termijn uit voorzorg een winningsniveau te kiezen dat zich met een veiligheidsmarge marge onder de 27 miljard Nm^3/jaar bevindt. Belangrijk is in elk geval dat het te kiezen niveau het mogelijk maakt om vlak (zonder fluctuaties) te winnen. Dit betekent ook dat veranderingen in de verdeling van de winning over de verschillende productieclusters (dus de ruimtelijke verdeling) zoveel mogelijk vermeden dienen te worden.
- De optredende productiefluctuaties worden beïnvloed door het jaarlijks productieniveau. Bij een jaarproductie van 21 miljard Nm^3/jaar kan het veld volgens berekeningen van NAM vlak geproduceerd worden (ref.3). Bij 27 miljard Nm^3/jaar nemen treden zomer-winter fluctuaties op.

Meet-en regelprotocol

Het door NAM bij het winningsplan gevoegde Meet- en regelprotocol is niet ten genoegen van de Inspecteur-generaal der Mijnen. Dit betekent dat er op dit moment geen adequaat risico-beheerssysteem is voor het seismisch risico ten gevolge van de gaswinning in het Groningen gasveld. De productie kan hiermee nog niet voldoende risicogericht (in tijd en ruimte) worden geoptimaliseerd.

In afwezigheid van een adequaat risicobeheerssysteem, adviseert SodM om als extra waarborg (tenminste tijdelijk) een alarmeringssysteem in te richten, zodat bij dreigende toename van de seismiciteit zo tijdig mogelijk ingegrepen kan worden. SodM stelt voor hierbij uit te gaan van twee signaalparameters: de aardbevingsdichtheid (bepaald met een 12 maanden voortschrijdend gemiddelde) en de gemeten grondversnellingen. Op basis van de analyse beschreven in Bijlage V adviseert SodM voorlopig uit te gaan van alarmwaarden van respectievelijk 0,25 bevingen/km^2/jaar (bevingen met een sterkte van 1,0 of hoger) en 0,05g. Indien één van deze alarmwaarden wordt overschreden, zal van NAM een analyse en rapportage ten genoegen van de Inspecteur-generaal der Mijnen worden verlangd. SodM zal, op basis van deze analyse en rapportage en vanuit zijn rol als toezichthouder, op de kortst mogelijk termijn de minister van nieuw advies voorzien.

8. Advies

Alles overwegende komt SodM tot het volgende advies.

Met betrekking tot het winningsplan adviseert SodM om instemming te geven onder het stellen van de hierna genoemde voorschriften en beperkingen:

1. Vermijd fluctuaties in de gaswinning, waaronder seizoensfluctuaties, zoveel mogelijk. Ook de verdeling van de winning over de clusters kan het beste zo constant mogelijk gehouden worden. De huidige ruimtelijke verdeling van productie dient gehandhaafd te worden tot aannemelijk is gemaakt dat een alternatieve verdeling tot minder bevingen leidt. Toch noodzakelijke wisselingen, vanwege onderhoud of plotseling intredende koude, dienen zo beheerst mogelijk plaats te vinden.
2. Beperk de winning de eerste jaren tot ca. 24 miljard Nm^3 per gasjaar totdat aan de volgende voorwaarden is voldaan:
    - NAM dient ten genoegen van de Inspecteur-generaal der Mijnen een nieuw Meet-en regelprotocol in dat voldoet aan de door het Ministerie van Economische Zaken daarvoor gestelde kaders.
    - Een op risico geoptimaliseerde verdeling van de productie over het veld wordt uitgewerkt en toegepast.
    - NAM toont op basis van objectieve waarnemingen ten genoegen van de Inspecteur-generaal der Mijnen aan dat de verlaging van het winningsniveau naar ca. 24 miljard Nm^3 per jaar, in combinatie met het vermijden van fluctuaties, heeft geleid tot een verdere afname van de seismiciteit.
3. Pas nadat aan deze drie voorwaarden is voldaan, kan op een beheerste manier de winning, gebruikmakend van het Meet- en regelprotocol, mogelijk en tot een maximum van 27 miljard Nm^3 per gasjaar worden verhoogd.
4. NAM dient voor 1 maart 2021 een actualisatie van het winningsplan in.

Met betrekking tot een aantal geconstateerde omissies in het ingediende winningsplan adviseert SodM van NAM te verlangen dat:

5. de mate van schade voor de lagere schadeniveaus (DS1, DS2 en DS3) alsnog door NAM berekend wordt. Tevens dient het schadedeel van het maatschappelijk risico bepaald te worden,
6. de opgetreden bodemdaling ook bepaald wordt op basis van alleen de peilmerkgegevens,
7. een verbeterde onzekerheidsanalyse voor de berekende bodemdaling alsnog ingediend wordt, en
8. het groepsrisico voor zowel het gehele Groningen gasveld als voor alle dorpen en steden alsnog door NAM wordt bepaald.

SodM stelt vast dat het ingediende Meet- en regelprotocol niet ten genoegen van de Inspecteur-generaal der Mijnen is.

9. SodM adviseert om van NAM een nieuw Meet-en regelprotocol te verlangen dat voldoet aan de door het Ministerie van Economische Zaken daarvoor gestelde kaders.

SodM adviseert om tot aan de acceptatie van het Meet- en regelprotocol als extra waarborg een tijdelijk alarmeringssysteem te hanteren bestaande uit twee signaalparameters:

1. voor de aardbevingsdichtheid[17] een voorlopige alarmwaarde van 0,25 bevingen/km^2/jaar (bevingen met een sterkte van 1,0 of hoger)
2. voor maximale piek grondversnelling[18] een voorlopige alarmwaarde van 0,05g

10. NAM levert elk halfjaar, of zodra ten minste één van de genoemde alarmwaarden wordt overschreden, een rapport met analyses van de ontwikkelingen van de seismiciteit en van voorgestelde beheersmaatregelen.

Bovendien zal in geval van overschrijden van één de genoemde alarmwaarden en o.a. op basis van dat rapport SodM op de kortst mogelijk termijn de minister van nieuw advies voorzien.

[17] Bepaald met een 'Kernel Density' (standaard GIS applicatie) met een straal van 5 km en een cell grootte van 50 m.
[18] Maximale horizontale grondversnelling zoals gerapporteerd door het KNMI op http://rdsa.knmi.nl/opencms/nl-rrsm/index.html.

9. Referenties

1. Winningsplan Groningen Gasveld 2016 – integrale aanvulling - 14042016, 14 april 2016.
2. Meet- en regelprotocol 2016, 1 april 2016.
3. Technical Addendum to the Winningsplan Groningen 2016 (Chapter 1-5), 15 april 2016.
4. Technical Addendum to the Winningsplan Groningen (Chapter 6), 15 april 2016.
5. Technical Addendum to the Winningsplan Groningen (Chapter 7), 15 april 2016.
6. Technical Addendum to the Winningsplan Groningen (Chapter 8), 15 april 2016.
7. Technical Addendum to the Winningsplan Groningen (Chapter 9), 15 april 2016.
8. Study and Data Acquisition Plan for Induced Seismicity for Winningsplan 2016 (Part 1), 1 April 2016.
9. Study and Data Acquisition Plan for Induced Seismicity for Winningsplan 2016 (Part 2), 1 April 2016.
10. Supplement to the Technical Addendum for Winningsplan Groningen 2016, 1 May 2016.
11. Development of v2 Partial Collapse Fragility and Consequence Functions for the Groningen Field, Helen Crowley, Rui Pinho, Barbara Polidoro and Peter Stafford, November 2015.
12. An activity rate model of induced seismicity within the Groningen field (part 1), Bourne, S. and S. Oates, July 2015.
13. An activity rate model of induced seismicity within the Groningen field (part 2), Bourne, S. and S. Oates, July 2015.
14. Risk Assessment of Falling Hazards in Earthquakes in the Groningen region, T. Taig and F. Pickup, March 2016.
15. Response of induced seismicity to production changes in the Groningen field, Karin van Thienen-Visser et al., TNO 2015 R11367, 10 November 2015.
16. Literatuurstudie seismologisch model Groningen, AGE-16-10.024, 4 april 2016.
17. Groningen field 2013 to present: Gas production and induced seismicity, TNO 2016 R10425, 14 April 2016.
18. Non-linear and equivalent linear site response analysis for the Groningen area, TNO 2016 R10460, 1 May 2016.
19. Review winningsplan 2016, TNO-AGE 16-10.031, 2016.
20. Relatie tussen PGA waarden en kans op schade voor geïnduceerde aardbevingen in Groningen, Dr. ir. C.P.W. Geurts en Prof. dr. ir. R.D.J.M. Steenbergen, M0100296951, 27 mei 2016.
21. Berekenen van individueel risico ten gevolge van aardbevingen op basis van sommatie over schadegrenstoestanden, Prof. dr. ir. R.D.J.M. Steenbergen, M0100296952, 27 mei 2016.
22. Trend changes in tremor rates in Groningen – update May 2016, Frank P.Pijpers, Statistics Netherlands.
23. Trend changes in ground subsidence in Groningen – update May 2016, Frank P.Pijpers, Statistics Netherlands.
24. A phenomenological relationship between reservoir pressure and tremor rates in Groningen, May 2016, Frank P.Pijpers, Statistics Netherlands.
25. GNSS Processing Groningen Hans van der Marel, Technische Universiteit Delft, Geoscience and Remote Sensing v29 Versie 1.1 (29 oktober 2015; herzien 8 november 2015.

26. Final Evaluation Note on NAM's Winningsplan Groningen 2016 - Groningen Scientific Advisory Committee, 23 May 2016.
27. Review of "Hazard and Risk Assessment for Induced Seismicity in Groningen – Update 7th November 2015", William L. Ellsworth and Arthur F. McGarr, US Geological Survey.
28. e-mail "One additional thought on ground motions", William L. Ellsworth, 1 december 2015.
29. Review of the report "Hazard and Risk Assessment for induced seismicity in Groningen (interim update November 2015)" by NAM, dated November 7 2015, Stefan Wiemer, Swiss Seismological Service, ETH Zürich.
30. Presentatie "Meet- & regelprotocol; Kaders voor het managen van het seismisch risico in Groningen".
31. Eindadvies "Handelingsperspectief voor Groningen", Adviescommissie 'Omgaan met risico's van geïnduceerde aardbevingen' (Commissie-Meijdam), 14 december 2015.
32. Verslag workshop 'Evaluatie Maatschappelijk Risico Aardbevingen Groningen', 11 mei 2016.
33. E-mail "Re: Programma workshop 'Evaluatie Maatschappelijk Risico Aardbevingen", Prof. dr. Ira Helsloot, 20 mei 2016.
34. Aspects of fault zones around the Rotliegend reservoirs and the possible effects of salt in the fault zones on rates of seismicity in these zones, May 2016, Janos L. Urai et al., RWTH Aachen University, Institut für geothermisches Ressourcenmanagement, Bingen.

Bijlage I: definities en begrippen

Seismische dreiging en risico

Conservatief:
Term die gebruikt wordt om aan te geven dat de voor berekeningen gebruikte uitgangspunten – of een opeenstapeling van onzekere prognoses – leiden tot een pessimistische voorspelling van de toekomstige situatie.

Kwetsbaarheidscurve *(Engels: Fragility curve):*
Empirische of rekenkundig bepaalde statistische relatie tussen bodembeweging (grondversnelling) en belastbaarheid van verschillende typen huizen en gebouwen, die gebruikt wordt om mogelijke schade te berekenen.

Seismische dreiging:
De seismische dreiging (Engels: hazard) is de kans (bijv. 0,2% per jaar) dat er een aardbeving plaatsvindt met een grondversnelling welke een gegeven grenswaarde overschrijdt (binnen een bepaalde periode, bijv. 1, 10 of 50 jaar).

Opmerking: Omdat het aantal bevingen van een bepaalde sterkte met de tijd kan veranderen, wordt de seismische overschrijdingskans altijd gespecificeerd voor een bepaald tijdvak

Seismisch risico:
De kans op door aardbevingen veroorzaakte schade (aan mensen, gebouwen, infrastructuur, productie). Risico wordt – in het algemeen – bepaald door de combinatie van de kans dat iets gebeurt en de potentiële effecten daarvan. In die zin is "seismisch risico" de combinatie van de "seismische dreiging" en de potentiële effecten.

Individueel risico:
De kans dat iemand komt te overlijden als gevolg van een aardbeving, in de periode van een jaar. De definitie van individueel risico telt al het aardbevingsrisico dat een persoon loopt bij elkaar op en gaat ervan uit dat een persoon het grootste deel van zijn tijd doorbrengt in gebouwen (ref.31).

Groepsrisico:
De kans per jaar dat een groep personen van een bepaalde grootte (bijvoorbeeld 10, 100 of 1000 personen) tegelijk slachtoffer wordt van een incident (in dit rapport: als gevolg van een aardbeving).

Aardbevingbestendig
In de huidige context wordt hiermee alleen bedoeld een voldoende weerstand tegen instorten ten gevolge van een aardbeving. Scheurvorming of zwaardere schade blijft mogelijk bij zware (zeldzaam optredende) bevingen.

Sterkte/capaciteit/weerstand tegen aardbevingen
Synoniemen voor de piekgrondversnelling waarbij een bouwwerk (net) zal instorten. De sterkte is een onzekere grootheid, waardoor in bouwnormen gerekend wordt met waarden die corresponderen met bepaalde onderschrijdingskansen.

Algemene (technische) termen

Empirisch:
Letterlijke betekenis: 'proefondervindelijk'. Een empirisch resultaat is een onderzoeksresultaat dat is verkregen door het vergelijken van de drijvende kracht van een proces met de waargenomen respons, zonder dat (noodzakelijkerwijs) de fysische relatie tussen die drijvende kracht en de respons is verklaard en begrepen. Extrapolatie van langs empirische weg verkregen resultaten is alleen toegestaan onder de aanname dat het onderzochte systeem zich in andere omstandigheden (bijv. in de toekomst, of op andere ruimtelijk schaal) net zo zal gedragen als in de huidige situatie. Zonder die toevoeging heeft een extrapolatie geen waarde.

Probabilistisch:
Letterlijke betekenis: 'rekening houdend met waarschijnlijkheid'. In een probabilistisch rekenschema wordt een groot aantal (realistische) scenario's doorgerekend, waarbij voor elk scenario de keuze van input parameters rekening houdt met hun waarschijnlijkheidsverdeling (d.w.z. de kans dat een parameter een bepaalde waarde heeft).

Aleatorische onzekerheid:
De toevallige of statistische onzekerheid. Zelfs bij perfecte modellen, volledige kennis en volledig begrip blijft deze onzekerheid bestaan. Een goed voorbeeld is het gooien van kop of munt. Bij tien keer gooien is het aantal malen dat kop optreedt niet te voorspellen. Wel kan voor iedere mogelijke uitkomst de waarschijnlijkheid bepaald worden. Een ander voorbeeld is het aantal aardbevingen van een gegeven sterkte in een gegeven jaar. Ook daarvoor kan de uitkomst niet voorspeld worden, wel de waarschijnlijkheid van de verschillende uitkomsten. De aleatorische onzekerheid is niet te verminderen.

Epistemische onzekerheid:
De onzekerheid die het gevolg is van de onjuistheden, onnauwkeurigheden of onvolledigheid van gebruikte berekeningsmodellen en van de onzekerheden van de ingebrachte randvoorwaarden en parameters, zoals van toepassing in een deterministische gevaarsanalyse of een probabilistische risicoanalyse. Deze onzekerheid wordt veroorzaakt door een gebrek aan kennis. Op basis van meer kennis, meer onderzoek en meer metingen kan de epistemische onzekerheid in de loop van de tijd vaak worden teruggebracht.

Autocorrelatie:
De mate van gelijkenis tussen een signaal en een in de tijd verschoven kopie daarvan. Bijvoorbeeld de grafiek van het aantal aardbevingen per maand tegen de tijd en een in de tijd verschoven versie daarvan. Het is een wiskundig instrument om zich herhalende patronen te vinden, zoals de aanwezigheid van een periodiek signaal in ruis. Bij aardbevingen kan de techniek gebruikt worden om te onderzoeken of er in bepaalde perioden in het jaar meer of juist minder bevingen optreden.

Crosscorrelatie:
De mate van gelijkenis tussen twee verschillende signalen waarbij het tweede signaal ten opzichte van het eerste signaal in de tijd verschoven wordt. Het is een wiskundig instrument om te onderzoeken of het tweede signaal mogelijk een vertraagd gevolg is van het eerste signaal en om de grootte van die vertraging vast te stellen. Voor geïnduceerde aardbevingen kan de techniek gebruikt worden om te onderzoeken of veranderingen in het maandelijks aantal bevingen volgen op veranderingen in de maandelijkse gasproductie en met welke eventuele vertraging.

Eenheden

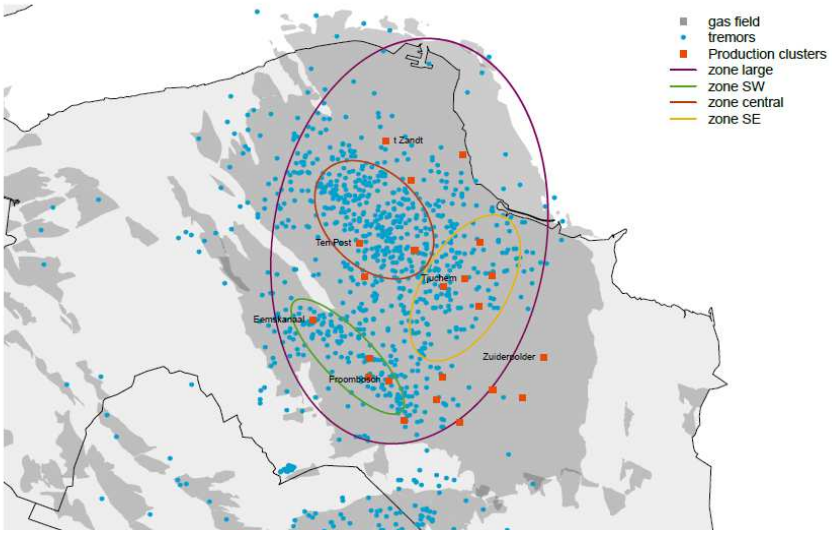
Normaal kubieke meter (Nm^3):

Bij getallen van hoeveelheden gas hoort aangegeven te worden bij welke druk en temperatuur de hoeveelheid is gemeten. Bij een "normaal" kubieke meter gas hoort een druk van 101,325 kiloPascal (1 atmosfeer) en 0 graden Celsius. De gebruikelijke afkorting voor een normaal m^3 is: Nm^3.

Bijlage II: CBS studies m.b.t. trends en correlaties seismiciteit.

1. CBS vervolganalyse trendveranderingen aardbevingen (per deelregio):

Deze analyse (ref.22) is een voortzetting van onderzoek dat is uitgevoerd sinds medio 2014. De analyses worden in opdracht van SodM uitgevoerd ten behoeve van de statistische onderbouwing van (het toezicht op) de optimalisering van de Groningen gasproductie. In deze analyses zijn aardbevingen tot eind februari 2016 meegenomen.



Figuur II-1: Door het CBS zijn ellipsvormige gebieden gebruikt om deelregio's, risicogericht te analyseren. Aardbevingen blauw, productieclusters rood.

Een aantal ellipsvormige gebieden zijn gedefinieerd om de trends in de aardbevingen in deze deelgebieden sinds 1995 risicogericht te analyseren.

Centraal staat daarbij het ellipsvormige centrale gebied, het Loppersumgebied (bruine ellips). Ook het zuidwestelijke gebied van Froombosch tot Eemskanaal is geanalyseerd (groene ellips) en in een later stadium ook het zuidoostelijk gebied rondom Tjuchem (gele ellips). Er omheen ligt het referentiegebied (paarse ellips).

Uit de analyse per deelregio wordt geconcludeerd dat er ruimtelijk gezien een statistisch significant groter aantal aardbevingen opgetreden is in de zuidwestelijke en centrale zone. Vergeleken met het omliggende gebied betreft het een factor van circa 2.2 respectievelijk 2.8 (voor magnitudes M> 1). Het zuidoostelijke gebied toont die vergrote aardbevingsdichtheid niet.

Voor alle regio's zuidwest, zuidoost, het centrale gebied als ook het omliggende referentiegebied is sinds januari 1995 een trend van toenemende aardbevingen gevonden die gefit kan worden door een exponentiële toename met een verdubbelingstijd van ongeveer 5,4 jaar.

Ook in de laatste 23 maanden, sinds maart 2014, zijn de data consistent met dit gedrag in ruimte en tijd, met uitzondering van de centrale zone waar de productie in januari 2014 substantieel gereduceerd is en waar de dalingsnelheid, gemeten met GPS-hoogtemetingen, een trendbreuk toont ongeveer rond 23 maart 2014.

Voor deze centrale regio is de hypothese van continu toenemende aardbevingen verworpen met een betrouwbaarheid van 99%. In de centrale regio is het aantal aardbevingen significant lager dan de oorspronkelijke trend en is consistent met de hypothese dat het aantal aardbevingen (per tijdseenheid) is gereduceerd onder het niveau van 23 maart 2014.

Met dit onderzoek kan causaliteit noch bewezen, noch uitgesloten worden, maar de data zijn consistent met de hypothese dat de gereduceerde productie in het centrale gebied een plaatselijk effect heeft gehad dat niet alleen de aardbevingen minder snel toenamen als voorheen, maar zelfs wat afnamen in de tijd. (ref. 22)

Met behulp van een Monte Carlo analyse is vastgesteld dat het aantal aardbevingen in het centrale deel van het veld na 23 maart 2014 statistisch significant lager is dan het zou zijn geweest wanneer de trend van de periode daarvoor zou zijn voortgezet.

In de deelregio's zuidoost en zuidwest zijn na diverse productiewijzigingen nog geen significante trendveranderingen vastgesteld.

2. CBS-studie naar de correlatie tussen gasproductie en seismiciteit

Ook dit onderzoek is door het CBS uitgevoerd ten behoeve van de statistische onderbouwing van de optimalisering van de gasproductie. Nu is de aandacht gericht op de relatie tussen de aanzienlijke gasdrukvariaties door de gasproductie bij de diverse clusters en de aardbevingen in Groningen.

In de eerdere CBS studies is aangetoond dat een sterke reductie in gasproductie in het centrumgebied werd gevolgd door een vermindering van de dalingssnelheid en een afname van de frequentie van bevingen met een vertraging van circa 9 weken. Het lijkt erop dat als het signaal van een productievariatie een gebied (met breuken) bereikt, de bodemdaling en de seismiciteit op de zelfde tijdschaal reageren.

Uit deze analyse van CBS (ref. 24) blijkt dat er een duidelijke correlatie is in de zin dat voorafgaand aan aardbevingen er op de locatie van die aardbeving een signaal is te zien in de gasdruk in het reservoir. De jaarlijkse modulatie van gasextractie is duidelijk zichtbaar, hetgeen niet het geval is wanneer dezelfde analyse op een verzameling van willekeurige tijdstippen en locaties wordt uitgevoerd.

Dit blijkt uit een analyse waarbij de reservoir-gasdruk wordt gevolgd in de tijd op locaties waar bevingen plaats hebben gevonden. Het gemiddelde drukverloop voorafgaand aan alle bevingen wordt vergeleken met het gemiddelde drukverloop elders. Hieruit komt duidelijk naar voren dat op de bevingslocaties ook na middeling de drukvariatie veroorzaakt door de zomer-winter variatie in gaswinning zichtbaar blijft, terwijl na dezelfde middeling elders in het reservoir die druk variatie is verdwenen. Variaties in gasdruk treden wel overal in het reservoir op, maar juist op speciale locaties, waarschijnlijk breuklijnen, lijkt dit tot bevingen aanleiding te geven.

Bij deze studie is gebruik gemaakt van een (MoRes) reservoirmodel om de diffusie van de drukgolf door het reservoir uit te rekenen. TNO heeft deze drukgegevens ter beschikking gesteld.

Nauwkeurige analyse van de modulatie maakt aannemelijk dat de waarschijnlijkheid voor het optreden van aardbevingen op een bepaalde locatie binnen enkele weken reageert op veranderingen in de lokale gasdruk-veranderingen in het reservoir op die locatie. Er zijn echter ook aanwijzingen voor een invloed die op een veel langere tijdschaal van meerdere jaren werkzaam is.

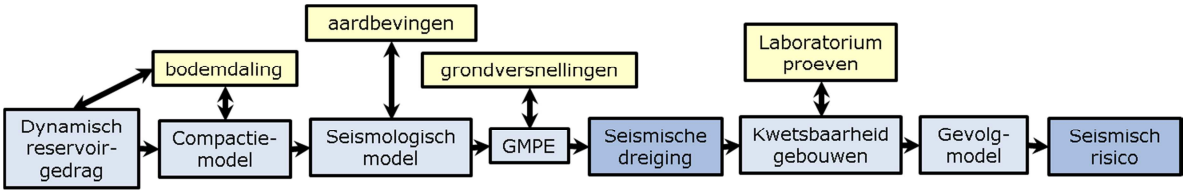
CBS en ook SodM achten de hypothese gerechtvaardigd dat veel breuksystemen door de lange termijn drukdaling in een (bijna) kritische spanningstoestand zijn gekomen.

Het additionele effect van korte termijn productievariaties kan zijn dat ze tijdelijk, maar ook herhaaldelijk, het systeem naar een kritische toestand duwen en zo als een trigger voor clusters van aardbevingen fungeren.

Bijlage III: PHRA methodiek

Centraal in het door NAM ingediende winningsplan staat de door NAM vanaf 2014 ontwikkelde methodiek van een probabilistische dreigings- en risicoanalyse (PHRA). Deze bestaat uit een serie complexe modellen, waarbij de onzekerheden in de grootte van de parameters worden behandeld met zogenaamde Monte Carlo simulaties.

Samengevat ziet de keten van modellen er als volgt uit:



Figuur III-1: De keten van modellen in de NAM PHRA.

Voor de beoordeling van de risicoanalyse van de NAM wordt hieronder eerst ingegaan op deze modelketen en de belangrijkste aannamen en benaderingen daarin. Vervolgens wordt gekeken of alle onzekerheden volledig en consistent meegenomen zijn en komt de kwaliteitscontrole op de berekening aan bod. Daarna wordt ingegaan op de resultaten van NAM voor het individueel en maatschappelijk risico en de ketenrisico's.

1. De modelketen

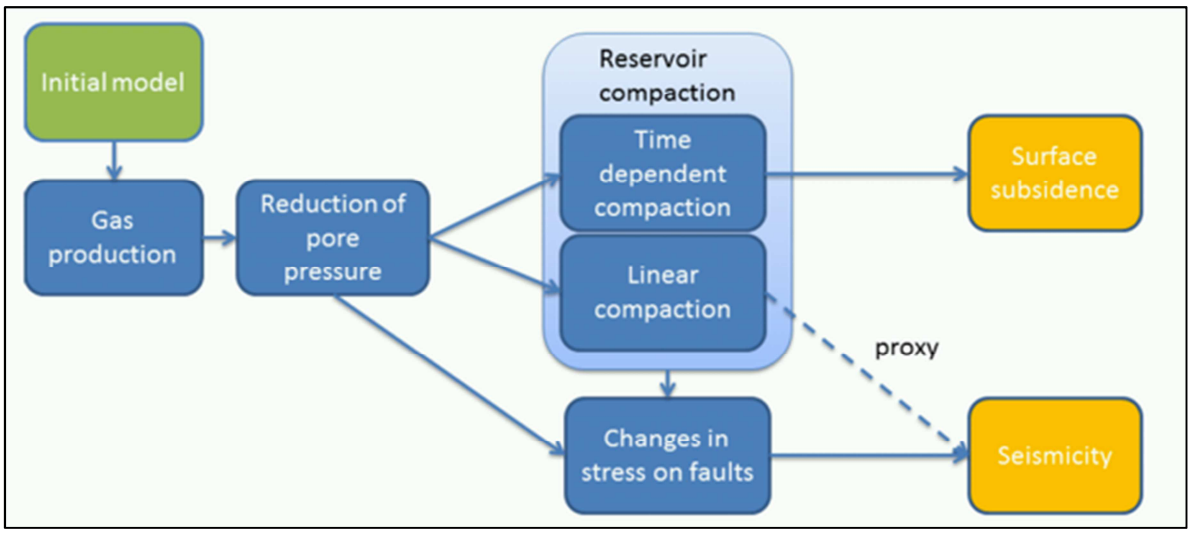
Seismologisch model

Op verschillende plaatsen in het winningsplan en in de technische bijlagen stelt NAM dat compactie van het reservoir de oorzaak is van aardbevingen. Zo stelt NAM (ref.1; p.50) dat '*… er een overtuigende correlatie bestaat tussen het gebied met de grootste compactie en het gebied met de meeste en zwaardere bevingen. Dit suggereert nog altijd dat reservoircompactie de belangrijkste oorzaak is voor seismiciteit.'* Naar de mening van SodM is hier een belangrijke nuancering op zijn plaats. Een suggestie is nog geen bewijs. TNO schrijft hierover (ref.17): *'Now, in 2016 we have learned that seismicity is not primairily caused by compaction. Faults play a major role'.* In onderstaand figuur III-2 worden de afhankelijkheden door TNO weergegeven. Het is beter compactie als een benadering (*proxy*) te zien in plaats van als primaire oorzaak. Deze notie heeft belangrijke consequenties. Wanneer men – zoals NAM doet - compactie op een bepaalde plaats als maat gebruikt voor de kans op het optreden van een beving op diezelfde plaats, wordt gekozen voor een benadering die zijn beperkingen kent. De SAC geeft aan dat het simpele feit dat er bevingen in het veld plaatsvinden, bewijst dat niet-elastisch kruip- en breekgedrag

Gaswinning leidt tot een daling van de reservoirdruk (poriëndruk). Die daling betekent een verandering van de mechanische spanningen (stress) in de ondergrond. De verandering in mechanische spanningen heeft vervolgens twee gevolgen. De eerste is reservoircompactie (een vorm van vervorming oftewel strain), aan het aardoppervlak indirect waarneembaar als bodemdaling. De tweede is een veranderde spanningstoestand aan bestaande breuken die kan leiden tot bevingen (verschuivingen van gesteentepakketten langs bestaande geologische breuken). Een complicerende factor is dat de compactie van het reservoir op zichzelf ook weer tot een verandering van spanningen leidt, die kan bijdragen aan de veranderde spanningstoestand aan de breukvlakken.

een belangrijke rol speelt (ref.26). Zowel de SAC als TNO stellen dat het gebruik van compactie als proxy alleen gerechtvaardigd lijkt zolang er geen bruikbaar en werkbaar alternatief fysisch model is en in het geval van het ontbreken van significante veranderingen, zoals bijv. de sterke reductie van de winning in bepaalde gebieden. Op het moment dat er echter sprake is van veranderingen in de snelheid van winning kan het niet-elastische kruip- en breekgedrag niet langer buiten beschouwing gelaten worden.

Zoals ook in het advies van SodM van december 2015 is aangegeven, wijzen de geraadpleegde internationale experts (ref.27; ref.28; ref.29) erop dat in de literatuur verschillende alternatieve relaties tussen veranderingen in de ondergrond en het optreden van bevingen zijn beschreven. Na ruim drie jaar van intensieve onderzoeken van vele relevante aspecten, is het opvallend dat er nog zo veel onduidelijk is over de fundamentele fysische mechanismen en dat NAM deze alternatieven nauwelijks heeft verkend. NAM onderkent overigens (ref.8; p.81) dat een 'fault based seismological model' een goed alternatief zou kunnen zijn en schrijft: *'Fault based and compaction based metrics need to be compared to determine the best seismological model.'* Zulk een vergelijk moet dus nog plaatsvinden. Feit is dat de productie uit het Groningen gasveld een grote mate van fluctuatie heeft gekend en recent de ingrepen tot een sterke regionale reductie van de winning en tot een reductie van de seizoensfluctuatie hebben geleid. Het nu door NAM gehanteerde seismologisch model is geheel empirisch van aard en daardoor alleen in staat de toekomstige *activity rate* te voorspellen onder aannamen die discutabel zijn wanneer de wijze van winning sterk wordt veranderd.



Figuur III-2: Afhankelijkheden tussen productie, compactie, bodemdaling, spanning en aardbevingen

GMPE

De door NAM gebruikte empirische relatie tussen de kracht van een beving bij de bron en de resulterende bewegingen aan het aardoppervlak, de Ground Motion Prediction Equation (GMPE), is specifiek voor Groningen ontwikkeld. Het model houdt rekening met de specifieke karakteristieken van Groningse bevingen en de reactie van de lokale ondiepe ondergrond op trillingen ('site response').

In het advies van SodM van december 2015 is naar voren gebracht dat de geraadpleegde internationale experts kanttekeningen plaatsten bij de uitgangspunten voor de modellering van de grondversnellingen voor grotere magnitude bevingen (M>4.0) in de GMPE V2 (ref.27;

ref.28; ref.29). Met name het scenario voor de ondergrens van de stress-vermindering op de breuk door een beving werd niet realistisch geacht. In het winningsplan 2016 heeft NAM dit scenario als onwaarschijnlijk ingeschat en niet meegewogen in de berekening van het risico. Hiermee is, op dit onderdeel, aan de kritiek van de reviewers te gemoed gekomen.

Als tweede kanttekening werd het gebruikte model voor het bronsignaal naar voren gebracht (ref.27; ref.28). Ook TNO plaatst kanttekeningen bij het bronmodel (ref.19): *"It is not clear to what extent the source properties of the small, hitherto observed earthquakes are representative for the yet to be seen earthquakes of larger magnitudes." Z*waardere bevingen in Groningen zijn mogelijk meer vergelijkbaar met bevingen van dezelfde magnitude elders ter wereld, dan op dit moment in de NAM analyse wordt aangenomen (ref.19; ref.27; ref.28). Zowel de internationale experts als TNO stellen dat andere bronmodellen of empirisch bepaalde GMPE relaties van elders ter wereld, eventueel gecorrigeerd voor de specifieke ondiepe bovengrond in Groningen, als alternatieve modellen in beschouwing genomen zouden moeten worden.

SodM heeft TNO ook gevraagd om de manier waarop de reactie van de ondiepe ondergrond wordt meegenomen te verifiëren (ref.18). Het gaat hierbij om de opslingering en demping die kan optreden in de ondiepe bodemlagen; het zogenaamde niet-lineair gedrag van de ondiepe ondergrond. TNO heeft hierbij de "equivalente lineaire methode" zoals door NAM gebruikt in de GMPE V2 vergeleken met een zuiver niet-lineaire methode en concludeert: *"De equivalent lineaire methode geeft voor de bestudeerde profielen hogere spectrale versnellingen dan de niet-lineaire methode en is daarmee conservatief.*

Echter, TNO komt ook tot de conclusie (ref.18) dat *"It should be noted, however, that the damping effect of the soils – though anticipated by many experts – has not been observed in the Groningen case."*, terwijl (ref.18) " *For the current registered events these acceleration levels have already been reached at several locations in the Groningen Field."* Op basis van deze discrepantie deelt SodM de zorg van TNO dat "*The introduction of the non-linear site response analysis in V2 has had a large effect on the hazard and risk assessment submitted for the Winningsplan 2016. However, it is not clear if this part of the Groningen-specific site response analysis is sufficiently mature to warrant such an important influence."*

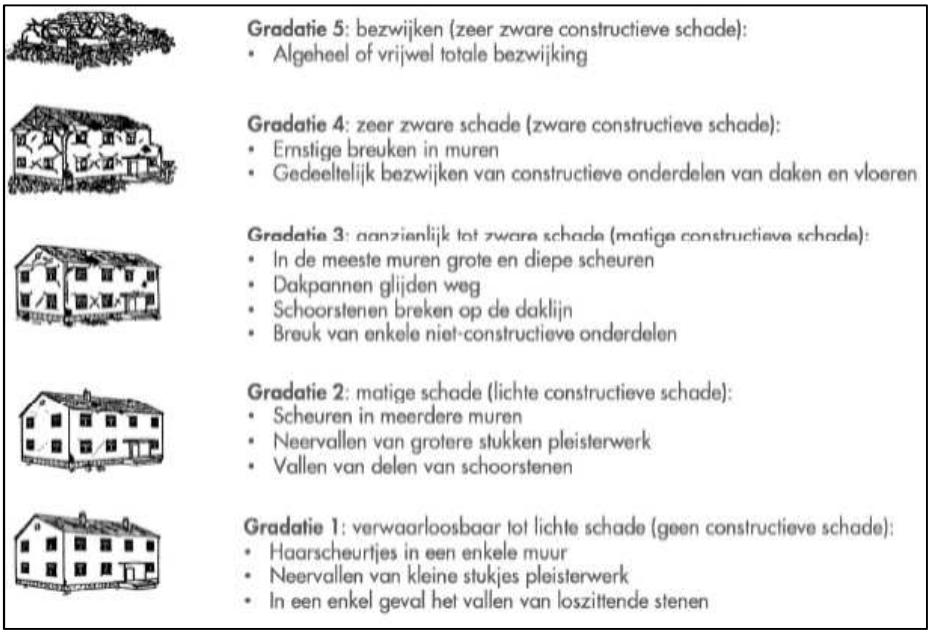
Al met al moet met betrekking tot het model van de GMPE vastgesteld worden dat er nog flinke onzekerheden bestaan. Iets wat ook door de SAC wordt opgemerkt.

Kwetsbaarheid gebouwen en het gevolgmodel
In de risicoanalyse gebruikt NAM rekenmodellen om de seismische weerstand voor gebouwen in te schatten. Deze modellen worden gekalibreerd met zogenoemde kwetsbaarheidscurves ('fragility functions') en materiaaleigenschappen zoals deze uit laboratoriumproeven op (delen van) muren zijn bepaald. In de modellen worden gebouwen doorgerekend tot het moment waarop instorting bijna plaatsvindt (ref.11). Dit komt overeen met de grens tussen gradatie 4 (DS4) en gradatie 5 (DS5) schade volgens de Europese schaal voor seismiciteit (EMS). Volledige instorting van gebouwen wordt op dit moment (PHRA V2) niet meegenomen in de analyse.

In het gevolgmodel is er bij het bereiken van deze grens van uitgegaan dat constructieve onderdelen van muren en daken van het gebouw gedeeltelijk zouden kunnen bezwijken. Op basis van de mate van bezwijken (15-25% aan volumeverlies), wordt de kans op dodelijke slachtoffers bepaald. Voor de meeste gebouwen resulteert dit in een beperkte kans op overlijden (7-10%).

Naar de mening van zowel SodM, TNO als de SAC leidt het niet meenemen van het volledig instorten van gebouwen (DS5) tot een onderschatting van het daadwerkelijke risico (ref.21, ref.26). Bij grotere mate van instorting (> 50% volume verlies) en volledige instorting van bakstenen gebouwen loopt de overlijdenskans volgens de relatie van NAM op van 22% tot 44% (ref.11). Internationale literatuur laat eveneens zien dat de overlijdenskans bij grotere mate van instorting (>50%) op kan lopen tot 20% voor woonhuizen met betonnen vloerdelen (ref.21).

Al met al is het effect van de gemaakte keuzes in de modellen voor kwetsbaarheid en gevolg op de huidige risico-inschatting van NAM dat de gepresenteerde resultaten een ondergrens voor het daadwerkelijke risico vormen.



2. Onzekerheden

Onzekerheden zijn belangrijk voor elk van de modellen in de modelketen. NAM legt in de risicoberekening veel nadruk op het meenemen van alle onzekerheden. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen twee soorten onzekerheden: onzekerheden door gebrek aan kennis (epistemische onzekerheden) en onzekerheden in de waarden van modelparameters (aleatorische onzekerheden).

Onzekerheden in modelparameters (aleatorische onzekerheden)

NAM gebruikt de Monte Carlo methodiek om onzekerheden in de waarden van de modelparameters mee te nemen in de berekening van het risico. De invloed van deze onzekerheden kan groot zijn. Dit blijkt uit het effect van het incorrect meenemen van de "site-to-site variability" in de risicoanalyse van november 2015. De hazard werd hierdoor met 35% overschat en de inschatting van het aantal gebouwen met een risico groter dan 10^{-5}/jaar werd

De Monte Carlo methode is een methode waarbij een modelberekening niet een keer, maar vele malen wordt herhaald met steeds andere waarden voor de modelparameters. De parameterwaarden worden willekeurig uit een bandbreedte van mogelijke waarden getrokken. Het resultaat is een verdelingsfunctie die het gehele gebied van mogelijke uitkomsten weergeeft.

een factor 30 hoger ingeschat (3000 versus 100 gebouwen) dan nu.

NAM verschaft nergens in het winningsplan, de technische bijlage of in de achterliggende technische rapporten een eenduidig overzicht van alle modelparameters en de spreiding in de waarden van deze parameters. Naar de mening van SodM is het op dit moment onmogelijk om in te schatten of voor alle parameters een adequate spreiding is meegenomen.

Onzekerheden door gebrek aan kennis (epistemische onzekerheden)
In de risicoberekeningen van NAM worden onzekerheden door gebrek aan kennis verwerkt in verschillende scenario's voor deelmodellen in de modelketen. Op basis van een inschatting van hoe waarschijnlijk de verschillende scenario's zijn, wordt een gewogen gemiddelde over alle scenario's berekend.

NAM neemt in vier deelmodellen de onzekerheden vanwege gebrek aan kennis (epistemische onzekerheid) mee in de risicoanalyse: het seismologisch model (Mmax), de GMPE (de stress vermindering op de breuk door een beving), de kwetsbaarheidscurves (drie realisaties) en in het gevolgmodel (de kans op overlijden) (ref.6, p.16). In alle gevallen worden de scenario's bepaald op basis van inschattingen door de experts die de modellen hebben opgezet zonder een duidelijke fysische of modelmatige basis.

Zoals bij de bespreking van het seismologisch model hierboven aangegeven, is het gebruikte, op compactie gebaseerde model slechts één van een aantal mogelijke modellen. Alternatieve modellen moeten worden onderzocht en dienen minimaal onderdeel uit te maken van de risicoanalyse als scenario's. Hierin schiet de risicoanalyse van NAM op dit moment tekort. Dit standpunt wordt ook gedeeld door de SAC (ref.26).

Voor de GMPE geldt dat zowel de internationale experts als TNO aanbevelen om andere bronmodellen of empirische bepaalde GMPE relaties van elders ter wereld, eventueel gecorrigeerd voor de specifieke ondiepe bovengrond in Groningen, als alternatieve modellen in beschouwing te nemen.

De onzekerheden in kennis voor het gebruikte compactiemodel en dynamisch model zijn voor de bodemdalingsberekeningen wel goed in kaart gebracht en (deels) als scenario's meegenomen. In de risicoanalyse zijn deze echter buiten beschouwing gelaten.

Op basis van het bovenstaande is SodM van mening dat in de risicoanalyse in het winningsplan (nog) niet alle onzekerheden volledig en consistent worden behandeld.

Classificatie van gebouwen
De gebouwen in Groningen die aan de trillingen ten gevolge van de aardbevingen worden blootgesteld worden in de aanpak van NAM op basis van constructieve kenmerken ingedeeld in typologieën. De precieze constructieve kenmerken van de meeste gebouwen zijn echter niet in detail bekend, waardoor het toewijzen van een gebouw aan een specifieke typologie moeilijk is. Hierdoor worden gebouwen op basis van waarschijnlijkheid aan typologieën toegewezen en wordt een gewogen gemiddeld risico over deze typologieën voor het gebouw berekend. Wetenschappelijk gezien is dit een geoorloofde rekenkundige aanpak.

In werkelijkheid behoort elk gebouw echter tot één unieke, maar onbekende typologie. Het resultaat van het berekenen van een gewogen gemiddelde over verschillende typologieën is dat sterke huizen zwakker worden ingeschat dan ze zijn terwijl zwakke huizen sterker lijken dan ze zijn. Bij vergelijking van het gewogen gemiddelde risico van de gebouwen tegen de norm leidt dit tot een mogelijke onderschatting van het aantal gebouwen en inwoners

waarvan het werkelijke risico niet aan de norm voldoet. Het is zelfs mogelijk dat het gemiddelde risico van alle gebouwen en inwoners onder de norm wordt berekend, terwijl in werkelijkheid het risico van velen niet aan de norm voldoet. Dit wordt gereflecteerd in de spreiding in de berekende risico's waarbij er 100 gebouwen worden berekend waarvan het *gemiddeld* risico niet aan de norm van 10-5/jaar voldoet, maar ook dat er 1000 gebouwen zijn waarvan niet met 90% zekerheid gezegd kan worden dat het daadwerkelijke risico aan de norm zal voldoen.

Slechts een beperkt aantal gebouwen zoals scholen, ziekenhuizen en kerken worden in de indeling aan één typologie toegekend en kennen dit probleem niet. Alleen door intensieve inspectie van alle gebouwen met bijdragen van de meest kwetsbare huizen typologieën kan de spreiding in typologieën worden teruggebracht tot 1-2 typologieën per gebouw. SodM acht dit cruciaal om te komen tot een goede inschatting van het individueel Risico ten gevolge van het (gedeeltelijk) instorten van gebouwen en voor de NCG om de juiste versterkingsmaatregelen te kunnen nemen.

3. Kwaliteitscontrole

Controle van de kwaliteit van de risicoberekening moet plaats vinden op twee niveaus. Allereerst dienen alle afzonderlijke modellen gevalideerd te worden. Vervolgens is er de kwaliteitscontrole op de implementatie van de modellen in de risicoberekening.

Validatie van modellen

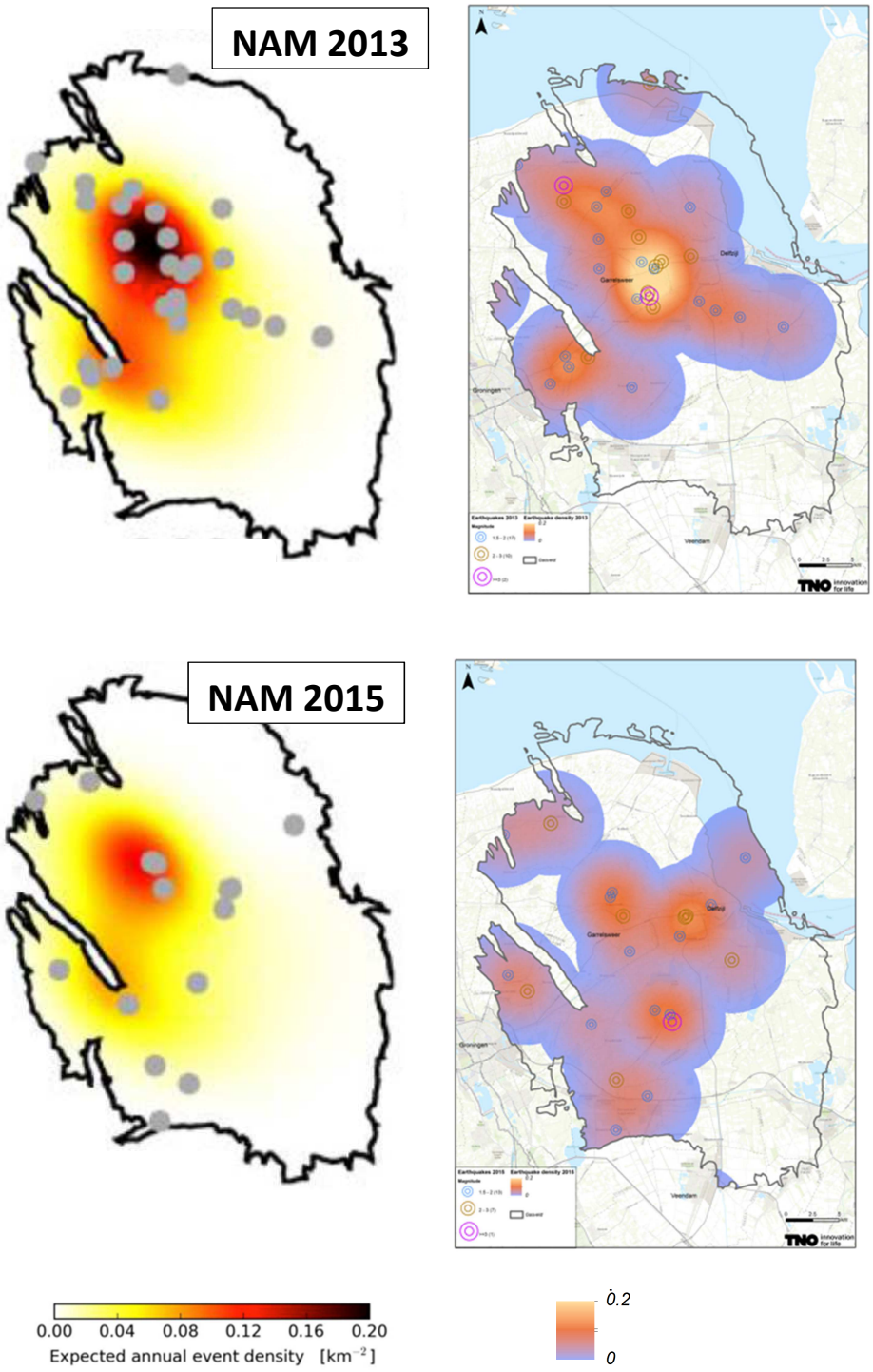
Verschillende deelmodellen in de NAM modelketen zijn empirisch bepaald op basis van de waarnemingen in het Groningen gasveld (bv. seismologisch model en de GMPE). Deze relaties worden vervolgens gebruikt om toekomstig gedrag door te rekenen. De kwetsbaarheid van gebouwen is afgeleid uit modelberekeningen welke gekalibreerd worden met laboratoriumproeven. Het gevolgmodel is tot stand gekomen door een combinatie van modelleren, waarnemingen en expert inschattingen.

Verschillende experts [ref.26, ref.27, ref.28, ref.29] uiten hun zorgen over de vraag of alle deelmodellen van de modelketen wel voldoende ver doorontwikkeld, accuraat en robuust genoeg zijn om sterke kwantitatieve uitspraken over het risiconiveau te doen. Vooral de deelmodellen tussen dreiging en risico zijn relatief onderontwikkeld.

De empirische modellen, die ten grondslag liggen aan de dreigingsberekeningen, zijn rechtstreeks te valideren aan nieuwe waarnemingen. Voor de GMPE geldt dat zwaardere bevingen dan tot nu toe waargenomen moeten optreden om de relatie te valideren. Het doel is echter juist om deze nu en in de toekomst te voorkomen. Het seismologisch model is gebaseerd op de aardbevingsdichtheid en de relatie tussen lichtere en zwaardere bevingen. Dit model kan direct worden gevalideerd aan nieuwe observaties.

In figuur III-3 wordt de voorspelling van het NAM model voor de aardbevingsdichtheid in de jaren 2013 en 2015 vergeleken met de feitelijk waargenomen bevingsdichtheid zoals in kaart gebracht door TNO (ref.17). In 2013 komt de modelvoorspelling voor de bevingsdichtheid redelijk goed overeen met de waarnemingen. De grootste waargenomen dichtheid ligt een paar kilometer zuidelijker dan het model voorspelde, maar het algemene beeld van de hogere bevingsdichtheden in het centrum van het veld en bij Eemskanaal is consistent. Voor 2015 is het beeld in de waarnemingen (rechts) niet langer een concentratie van bevingen in het centrum en bij Eemskanaal, zoals de voorspelling links laat zien, maar een lagere en meer over het hele veld verdeelde bevingsdichtheid. Dit beeld wordt door het model van

NAM niet gegeven. Weliswaar is de bevingsdichtheid gedaald in de modelvoorspelling, maar de locatie van de bevingsdichtheid is ongewijzigd. Waarschijnlijk komt dit doordat de locaties van de grootste reservoircompactie (bepalend in het model van NAM) niet wijzigen. De waarnemingen zijn echter wel consistent met de veranderingen in productiedichtheid (zie H2).



Figuur III-3: Aardbevingsdichtheidskaarten (M≥1,5) voor 2013 (boven) en 2015 (onder). Links is de modelvoorspelling van NAM gegeven, rechts de waarnemingen zoals in kaart gebracht door TNO.

Indien het zo is dat de jaarlijkse swing in productie de activity rate de afgelopen twee decennia in sterke mate heeft beïnvloed, dan zou het wegnemen van deze swing in de laatste anderhalf jaar (Figuur 3-1) kunnen verklaren waarom het compactiemodel de recente waarneming niet goed voorspeld heeft. Immers, het model gebruikt uitsluitend empirisch de waargenomen bevingen uit het verleden als voorspelling voor de activity rate. In die waarnemingen ligt het zeer regelmatig patroon van de seizoensfluctuaties opgesloten.

De verhouding tussen lichtere en zwaardere bevingen (de zogenaamde b-waarde) kan ook eenvoudig op basis van de data worden gevalideerd. In het seismologisch model [ref.12, ref.13] wordt een relatie tussen de b-waarde en cumulatieve compactie afgeleid en gebruikt in de modelvoorspelling. Deze relatie betekent dat bij grotere compactie er een relatief grotere kans op zwaardere bevingen is. Kijkende naar de waargenomen bevingen zien we voor de perioden 1 mei 2012-1 mei 2013, 1 mei 2013- 1 mei 2014 en 1 mei 2014- 1 mei 2015 aantallen bevingen van M ≥1,5 van respectievelijk 22, 22 en 18, voor M ≥2,0 van respectievelijk 9, 8 en 9 en voor de bevingen met een M≥2,5 respectievelijk 4, 3 en 5. In de periode 1 mei 2015-1 mei 2016 zijn er 19 bevingen met magnitude M ≥1,5, 6 bevingen met magnitude M ≥2,0 en 1 beving met een magnitude M ≥2,5 geregistreerd. Hoewel deze waarden nog binnen de statistische onzekerheids-bandbreedte vallen zijn dit in 2016 substantieel minder zwaardere bevingen, terwijl het aantal lichtere bevingen vergelijkbaar is gebleven. Dit is niet consistent met de alleen maar toenemende kans op zwaardere bevingen die het NAM model voorspelt.

SodM acht het van groot belang dat gegeven de twijfels aan de geldigheid van compactie als proxy in geval van veranderingen van productiesnelheid, de komende jaren het seismologisch model voortdurend aan de nieuwe gegevens (verkregen door een actieve en intensieve monitoring) wordt gevalideerd. Tevens zou het model tegen de fluctuaties in de seismiciteit ten gevolge van de seizoensfluctuaties in de productie moeten worden gevalideerd.

Implementatie van de modellen

De kwaliteitscontrole op de implementatie van de modellen door NAM vindt plaats door de uitkomsten van twee volledig onafhankelijke implementaties in twee verschillende programmeertalen tegen elkaar te valideren. Dankzij deze benchmark-techniek zijn meerdere programmeerfouten (inclusief de fout in de "site-response"-implementatie) geïdentificeerd.

SodM deelt de mening dat dit een adequate manier is om implementatiefouten te identificeren. SodM zou echter graag zien dat de gehele modelketen en implementatie volledig onafhankelijk geïmplementeerd en gevalideerd zou worden.

Bijlage IV: Beschouwing maatschappelijk Risico

SodM heeft herhaaldelijk aangedrongen op het feit dat groepsrisico's voor de besluitvorming minstens net zo belangrijk zijn als het individueel risico. Vooral de jaarlijkse kans dat er een groep personen komt te overlijden ten gevolge van een geïnduceerde aardbeving in de regio Groningen is een belangrijk gegeven. Hiermee wordt inzicht verkregen in de slachtofferfrequentie ten gevolge van de bevingen en de aanvaardbaarheid van deze frequentie. De commissie Meijdam heeft het gebruik van groepsrisico afgeraden, omdat dit "*moeilijk te operationaliseren"* is en "*het begrip geen wettelijke basis heeft"* (ref.31; p.5). De commissie is wel van mening dat "*naarmate de gevolgen van risico's groter kunnen zijn, de kans op dit gevolgen kleiner moeten zijn"* (ref.31; p.5).

In haar eindadvies "Handelingsperspectief voor Groningen" adviseert de commissie het gebruik van een alternatieve risicomaat: het maatschappelijk risico. Als definitie voor maatschappelijk risico wordt gegeven (ref.31; p.18):

> *"Het maatschappelijk risico beschrijft de verwachting van de kans, inclusief de variantie ervan, dat een groep mensen omkomt als gevolg van een aardbeving. In dit maatschappelijke risico is rekening gehouden met het basisveiligheidsniveau en de schade die ontstaat als gevolg van een aardbeving:*
>
> *MR(N)=E(N)-E(10^{-5} van de blootgestelde groep mensen)*
> *MR(S)=E(S)"*

Hierbij staat 10^{-5} voor de uniforme verdeling van p=10^{-5} die past bij de aanname dat alle huizen aan de basisveiligheid voldoen en uitgaande van volledig onafhankelijk falen. Voor de berekening van de variantie wordt geadviseerd het stappenplan van prof.dr.ir. P. van Gelder van de TU Delft te gebruiken. SodM heeft in haar advies van december 2015 deze methodologie voor de berekening van het maatschappelijk risico onderschreven.

NAM heeft in het "Supplement to the winningsplan Groningen 2016" een eerste berekening van het maatschappelijk risico opgenomen. Om deze eerste berekeningen van een nieuwe risicomaat goed te kunnen toetsen heeft SodM een workshop met risico experts belegd (ref.32). Daar is besproken hoe, wat door commissie Meijdam is voorgesteld, in de implementatie van NAM uitwerkt; hoe de resultaten geïnterpreteerd moeten worden en waarvoor de resultaten gebruikt kunnen worden. Tenslotte is de experts om aanbevelingen gevraagd.

<u>Uitwerking maatschappelijk risico door NAM</u>

NAM interpreteert het maatschappelijk risico als *"an assessment of the annual frequency (F) with which a given number of fatalities (N) due to a single earthquake is exceeded adjusted by subtracting the equivalent frequency for a reference group risk defined as an independent individual probability of fatality of 10-5 per year"* (ref.10; p.19). In formulevorm geeft dit:

> MR(N)=GR(N)-RGR(N)

Waar GR niets anders dan het groepsrisico is en RGR het referentie groepsriscio. NAM concludeert dat voor minder dan 10 slachtoffers per jaar per aardbeving het RGR > GR waardoor het MR negatief wordt. Voor meer dan 10 slachtoffers per jaar per aardbeving zal het MR gelijk worden aan het GR.

Toetsing methodologie

De experts op de workshop komen tot de conclusie dat NAM de aanbevelingen van de commissie Meijdam correct hebben geïmplementeerd. Alle deelnemers op één na hebben bezwaren tegen de door de commissie Meijdam gekozen definitie voor het maatschappelijk risico. Die bezwaren betreffen vooral het toepassen van een correctiefactor voor het individuele (ongecorreleerde) risico (basisveiligheidsniveau):

- De relevantie van de correctiefactor wordt niet begrepen;
- Het is conceptueel onjuist om een norm en een risicoberekening in één risicomaat te combineren;
- De toegepaste correctie voor het berekende maatschappelijke risico leidt voor 1 persoon tot een negatief getal wat geen betekenis heeft. Daarentegen heeft de correctie voor grotere groepen slachtoffers (vanaf 10 en meer slachtoffers) geen effect en resulteert de traditionele groepsrisicocurve voor de verschillende deelgebieden;
- Met deze definitie wordt weer een ander soort risicomaat geïntroduceerd terwijl het risico op verwarring met de al bestaande risicomaten al groot is. Het maakt bovendien vergelijking met andere risicogebieden alleen maar lastiger.

Voorstel van de workshop is om deze correctie in de toekomst niet meer toe te passen en de resultaten voor het groepsrisico alleen te berekenen voor gelijktijdige aantallen slachtoffers boven de 10.

In een reactie stelt de expert van de commissie Meijdam echter *"ik denk dat de aanwezigen niet goed hebben begrepen wat de cie. bedoelde met de correctiefactor. Dat ging immers om te voorkomen dat bij kleine groepen er een onjuist beeld ontstaat. Je kent het argument wel: neem immers 100.000 mensen dan is de kans ongeveer 1 dat er een slachtoffer per jaar valt en dat is toegestaan volgens de norm. Bij grotere groepen gaat de correctie inderdaad voorspelbaar snel naar ongeveer niks en dat is niet erg. Als er overigens iets negatiefs uitkomt dan is er een rekenfout gemaakt want dat kan simpelweg niet"* (ref.33).

De door NAM voorgestelde normalisering op basis van het aantal blootgestelde mensen krijgt geen ondersteuning van de aanwezigen. Volgens de experts wordt met deze normalisering het individueel risico met het Groepsrisico gemengd, waardoor de maat onbruikbaar wordt.

SodM benadrukt nogmaals dat de berekening van het maatschappelijk risico tot doel heeft om de kans op een groep slachtoffers in beeld te krijgen. SodM acht de toegevoegde waarde van de correctiefactor zoals benadrukt door de expert van de commissie Meijdam dan ook minimaal en sluit zich aan bij het voorstel van de experts.

Toepassing berekeningen

De deelnemers zijn het er over eens dat de berekende lokale maatschappelijk veiligheidsrisico's nuttig en bruikbaar zijn voor de prioritering van maatregelen (productiemaatregelen en versterkingsmaatregelen). Vooral voor extra maatregelen die getroffen kunnen worden boven de maatregelen die nodig zijn voor het realiseren van het basisveiligheidsniveau. Ook kan worden ingezoomd op hotspots om de oorzaak van een lokaal verhoogd risiconiveau vast te stellen. Bijvoorbeeld het effect van grote flatgebouwen op de resultaten. Ook voor de veiligheidsregio zijn de maatschappelijk risicogetallen op regionale basis van nut. Een normering van het berekende maatschappelijke risico op basis van het toevallige aantal inwoners is niet nuttig, zelfs ongewenst. Het gebruik van een norm op deze metric wordt sterk ontraden.

Daarnaast was er unanimiteit dat de maatschappelijk risicogetallen niet gebruikt kunnen worden voor de vaststelling van het risico op maatschappelijke ontwrichting. Daarvoor is alleen een berekening van het groepsrisico voor het gehele gasveld nuttig. Ter vergelijking: je kijkt bij Schiphol ook niet naar het groepsrisico per landingsbaan om de mogelijke maatschappelijke ontwrichting vast te stellen. Dit groepsrisico zou vergeleken moeten worden met groepsrisico's van andere risicodomeinen zoals het groepsrisico bij Schiphol of het groepsrisico van overstromingen. Het feit dat het bij een vergelijking van risico's mogelijk om verschillende aantallen blootgestelde mensen gaat is geen argument om deze niet te berekenen en te vergelijken (vergelijk de Nationale RisicoBeoordeling NRB).

Resultaten eerste berekening

De experts zijn het erover eens dat de uitkomsten van de berekeningen hoge kansen op grotere groepen slachtoffers geven. Hierbij moet opgemerkt dat het alleen gaat om de kans op een groep slachtoffers door het instorten van gebouwen. Vallende objecten en ketenrisico's vormen geen onderdeel van de berekeningen. Hierdoor geven de getallen een onderschatting van het daadwerkelijke regionale maatschappelijke risico.

De indruk is dat het groepsrisico voor het gehele veld en het maatschappelijk risico voor de stad Groningen vergelijkbaar zijn met de risico's rond Schiphol, maar duidelijk lager dan de meest recente inzichten voor het overstromingsrisico.

Daar staat tegenover dat het oordeel over overstromingsrisico's relatief soepel is, omdat rekening wordt gehouden met het deels natuurlijk karakter ervan; door de mens veroorzaakte risico's worden meestal strenger beoordeeld.

Bijlage V: Het alarmeringssysteem

Het feit dat het Meet- en regelprotocol niet ten genoegen van de Inspecteur-generaal der Mijnen is betekent dat er op dit moment geen adequaat risico-beheerssysteem is voor het seismisch risico ten gevolge van de gaswinning in het Groningen gasveld. SodM stelt daarom voor om als extra waarborg (ten minste tijdelijk) een alarmeringssysteem in te richten, zodat bij dreigende escalatie van de seismiciteit zo tijdig mogelijk ingegrepen kan worden.

Gegeven de grote onzekerheden in de risicoberekeningen vormen de meet- en monitoringsresultaten de basis voor het alarmeringssysteem. De uitgangspunten van de voorgestelde methodiek zijn:

- Mijnbouwwet artikel 33;
- Eenvoudig en transparant;
- Volledig onafhankelijk;
- Basis wordt gevormd door meet- en monitoringsresultaten;
- Alarmwaarden op basis van maatschappelijke overwegingen;
- Duidelijke, eenduidige acties bij overschrijding grenswaarden.

SodM adviseert om in de tijdelijke alarmeringsmethodiek uit te gaan van slechts twee parameters: de aardbevingsdichtheid en de gemeten grondversnellingen.

Alarmwaarde voor aardbevingsdichtheid

De alarmwaarde voor de aardbevingsdichtheid is afhankelijk van de methode waarop de aardbevingsdichtheden worden bepaald. SodM baseert zich hierbij vooralsnog op de methodiek zoals gebruikt door TNO[19] in zijn verschillende rapportages over de afgelopen jaren. Uitgangspunt voor de alarmwaarde zijn de waarden van de afgelopen jaren en de maatschappelijke onrust die is ontstaan bij de grote bevingsdichtheid in de regio Loppersum in 2013 en bij de toename van de bevingsdichtheid in het zuidwesten van het veld na de insluiting van de Loppersumclusters en de verhoging van de productie in deze regio (zie ook figuur 6-5). In deze regio's worden in de jaren maart 2013-maart 2014, respectievelijk maart 2014-maart 2015, bevingsdichtheden van ruim boven de 0,3 bevingen/km^2 weergegeven. Naar de mening van SodM is het raadzaam deze grote bevingsdichtheden nu en in de toekomst te vermijden. De bevingsdichtheid in het jaar maart 2015 tot maart 2016 was over het gehele veld duidelijk lager en meer over het veld verspreidt. Nergens boven het veld werden in dat jaar bevingsdichtheden boven de 0,25 bevingen/km^2 weergegeven. SodM adviseert om voorlopig de alarmwaarde voor de bevingsdichtheid vast te stellen op 0,25 bevingen/km^2/jaar. Om de ontwikkeling van de bevingsdichtheid goed te kunnen volgen adviseert SodM om de bevingsdichtheid te bepalen met een maandelijks bepaalde voortschrijdend gemiddelde over een periode van 12 maanden.

Alarmwaarde voor gemeten grondversnelling

SodM heeft TNO gevraagd om onderbouwing aan te leveren voor de definiëring van de alarmwaarde voor de grondversnelling (ref.20). TNO stelt dat in Nederland de SBR richtlijn-A doorgaans gebruikt wordt om te beoordelen of een trilling acceptabel is. Deze SBR richtlijn-A gebruikt grenswaarden voor de trilling snelheid als maat voor de beoordeling. TNO concludeert dat de acceptabele kans op het initiëren van scheuren (DS1 schade) door

[19] Bepaald met een 'Kernel Density' (standaard GIS applicatie) met een straal van 5 km en een cell grootte van 50 m.

trillingen (heien, zwaar verkeer, etc.) in Nederland in de orde van 1% tot 10% is afhankelijk van de staat van het gebouw. Op basis van eerdere TNO-studies en de relatie tussen schade en grondversnellingen voor Groningen wordt geconcludeerd dat bij 1% kans op schade de ondergrens voor de grondversnelling een waarde van 0,03g voor goed metselwerk en 0,02g voor slecht metselwerk (boerderijen) heeft. De kans op 10% schade bij een slecht metselwerk gebouw komt overeen met een grondversnelling van 0,05g.

Verreweg de meeste aardbevingen in Groningen met M≥2,0 geven grondversnellingen van minder dan 0,02g. Sinds september 2013 heeft het KNMI 2 bevingen gerapporteerd met grondversnellingen tussen de 0,02 en 0,03g en 2 bevingen met piekgrondversnellingen groter dan 0,05g (tabel V-1). NAM concludeert in de technische bijlage bij het winningsplan (ref.6; p.8) dat van de gebouwen die bij de Huizinge aardbeving blootgesteld zijn aan een piekgrondversnelling van 0,04g ongeveer bij 25% van de gebouwen aangifte van schade is gedaan. Dit percentage komt overeen met de voor Leermens en Zandeweer bevingen gerapporteerde percentages. In de praktijk in Groningen is er reeds bij kleine bevingen sprake van grotere kansen op schade.

Tabel V-1: Bevingen sinds september 2013 met piekgrondversnellingen van 0,02g of groter (bron www.knmi.nl).

Datum	Plaats	Magnitude	Max pga (g)
25-2-2016	Froombosch	2,4	0,021g
5-11-2014	Zandeweer	2,9	0,082g
13-2-2014	Leermens	3,0	0,071g
04-09-2013	Zeerijp	2,8	0,025g

DS2-schade is veel ingrijpender en moeilijk te repareren; DS3 schade leidt er in veel gevallen tot dat gebouwen niet te herstellen zijn. Vanuit dit oogpunt heeft TNO ook gekeken naar de relatie tussen DS1 en DS2 en DS3 schade. TNO concludeert dat bij 10% kans op DS1 schade er ongeveer 2% kans op DS2 schade en 0,5% kans op DS3 schade is. Dit lijkt niet onredelijk voor de Groningse situatie (ref.20).

Gegeven het feit dat de piekgrondversnelling slechts in een klein gebied optreedt, adviseert SodM om de alarmwaarde voor de piekgrondversnelling[20] te koppelen aan de SBR richtlijn-A, welke uitgaat van een kans van 1-10%, afhankelijk van de staat van het gebouw, op het initiëren van scheuren door trillingen. Conform de TNO analyse komt dit overeen met ongeveer een piekgrondversnelling van 0,05g.

[20] Maximale horizontale grondversnelling zoals gerapporteerd door het KNMI op http://rdsa.knmi.nl/opencms/nl-rrsm/index.html.