



Staatstoezicht op de Mijnen
Ministerie van Economische Zaken

Seismisch risico Groningenveld

Beoordeling rapportages & advies

Staatstoezicht op de Mijnen

December 2015

Inhoud

Samenvatting.....	4
1. Leeswijzer	9
2. Inleiding	10
3. Werkwijze SodM	13
3.1 Afbakening van de vragen	13
3.2 Volgen van de onderzoeken.....	13
3.3 Toetsing kritische onderdelen.....	13
3.4 Verwachtingenbrief	14
3.5 Verificatie documenten	14
4. Monitoring van bodembewegingen: trends en correlaties.....	15
4.1 Algemeen	15
4.2 Bodemdaling	15
4.2.1 NAM InSAR analyse.....	15
4.2.2 TU Delft controle NAM GPS-data analyse.....	15
4.2.3 TU Delft onafhankelijke eigen GPS processing.....	16
4.2.4 CBS analyse GPS-dalingssnelheid.....	17
4.3 SodM conclusies bodemdaling.....	18
4.4 Seismiciteit	18
4.4.1 NAM analyse seismiciteit trends	18
4.4.2 TNO studie ruimtelijke productieverdeling en seismiciteit.....	19
4.4.3 TNO Bayesiaanse statistische analyse.....	22
4.4.4 TNO studie jaarlijkse productiefuctuaties en seismiciteit.....	22
4.4.5 CBS vervolgstudie trendveranderingen aardbevingsdichtheid	23
4.4.6 CBS-studie naar de mogelijke correlatie tussen gasproductie en seismiciteit.....	24
4.5 SodM conclusies seismiciteit	24
4.6 SodM conclusies NAM Meet- en regelrapportage	25
5. Seismische dreiging en seismisch risico	26
5.1 Algemeen	26
5.2 Seismische dreiging	26
5.2.1 Dreigingsanalyse NAM	26
5.2.2 Commentaar internationale experts	27
5.2.3 KNMI dreigingsanalyse vs. de NAM analyse.....	28
5.3 SodM conclusie dreigingsanalyse.....	29
5.4 Seismisch risico.....	29
5.4.1 Seismisch risicoanalyse NAM.....	29

5.5	SodM conclusies seismisch risicoanalyse	32
5.5.1	Toetsing aan de norm	32
5.5.2	SodM conclusies groepsrisico.....	33
5.6	Aard en omvang van schade	34
6.	Maatregelen om het seismisch risico te beperken	35
6.1	Algemeen	35
6.2	Effectiviteit.....	35
6.2.1	Productiebeperkingen.....	35
6.2.2	Versterkingsprogramma.....	36
6.2.3	Drukhandhaving.....	37
6.2.4	Omkering gassysteem	37
6.3	SodM conclusies effectiviteit maatregelen.....	40
7.	Advies	43
	Geraadpleegde rapporten.....	45
	Bijlage: definities en begrippen	47

Samenvatting

Dit rapport gaat over de seismische dreiging en het seismisch risico¹ van aardbevingen die veroorzaakt worden door gaswinning uit het Groningenveld. Ook gaat het over de resultaten van de monitoring van aardbevingen en bodemdaling. Het rapport is opgesteld op verzoek van de Minister van Economische Zaken. Het is enerzijds gebaseerd op rapporten die NAM eind oktober en begin november 2015 bij Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) heeft ingediend. Anderzijds is het rapport gebaseerd op onafhankelijke analyses en controleberekeningen die SodM heeft laten uitvoeren door TNO, TU Delft en het CBS. Tevens heeft SodM enkele aardbevingsdeskundigen van de Amerikaanse Geologische Dienst en de Zwitserse Seismologische Dienst geraadpleegd. In deze samenvatting worden de belangrijkste conclusies en kanttekeningen vermeld, gevolgd door het advies dat SodM daaraan verbindt.

De belangrijkste conclusies en kanttekeningen van SodM zijn de volgende:

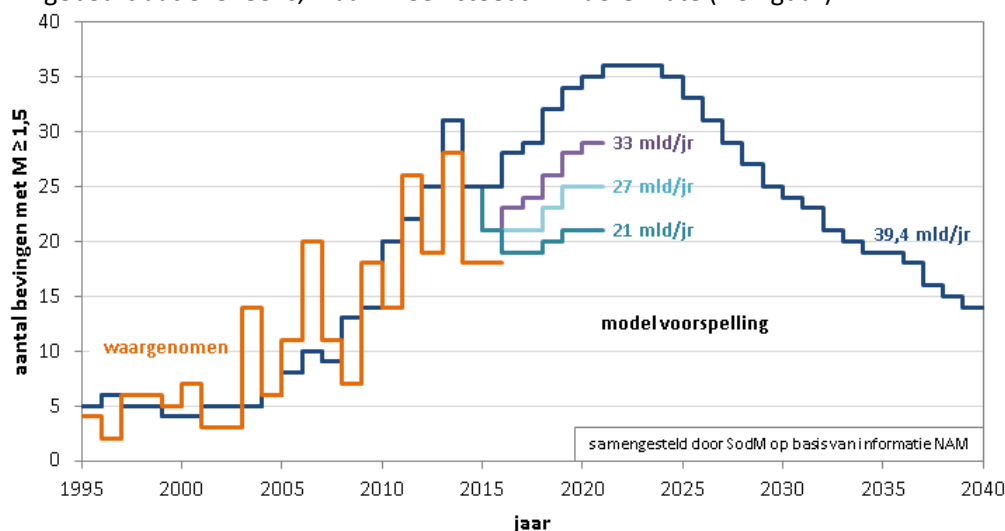
Conclusies

1. De metingen bevestigen dat het aantal aardbevingen en de regionale verdeling van de bevingen beïnvloed worden door de hoogte en verdeling van de gasproductie. Als de gasproductie afneemt, neemt daardoor het aantal bevingen af en vermindert de kans op sterke bevingen. De seismiciteit reageert met een vertraging van enkele maanden tot een halfjaar op veranderingen in de productie.
2. SodM heeft de analyses van NAM van de seismische dreiging en het seismisch risico beoordeeld. NAM heeft de analyses uitgevoerd voor drie productieniveaus: 33, 27 en 21 miljard Nm³ per jaar, voor de periode 2016 – 2021. NAM heeft deze hoeveelheden voor de hele periode over het Groningenveld verdeeld op basis van de huidige regionale productieplafonds, die in beginsel alleen gelden voor het gasjaar 2015/2016. Uit de beoordeling van SodM blijkt het volgende:
 - a) Het niveau van de seismische dreiging blijkt in het gebied rond Loppersum lager dan in mei 2015 verondersteld. De oorzaak van de gunstiger uitkomst is, dat de onzekerheid in de berekeningen is afgenomen door een beter begrip van de samenstelling van de ondiepe ondergrond (tot ca. 200 meter diepte) en de invloed daarvan op de voortplanting van trillingsgolven. Overigens blijkt uit de berekeningen van NAM dat het niveau van de seismische dreiging bij de stad Groningen en bij Delfzijl vrijwel niet is afgenomen ten opzichte van mei 2015.
 - b) Bij een productieniveau van 33 miljard Nm³ per jaar zal het aantal aardbevingen, en daardoor het seismisch risico, in de komende 5 jaar (en ook nog in de jaren daarna)

¹ **Seismische dreiging:** de kans (0,2% per jaar) dat er een aardbeving plaats vindt met een grondversnelling welke een gegeven grenswaarde overschrijdt.

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.

naar verwachting toenemen. Bij 27 miljard Nm³ per jaar en 21 miljard Nm³ per jaar gebeurt dat eveneens, maar in een steeds mindere mate (zie figuur).



Toename van het voorspelde aantal bevingen met magnitude groter of gelijk aan 1,5 voor verschillende productiescenario's. Bij de voorspelling hoort een onzekerheidsbandbreedte (in het rapport wordt daar nader op ingegaan). Voor 2015 is het aantal bevingen tot 26 november 2015 opgenomen (figuur is samengesteld door SodM op basis van informatie NAM).

- c) SodM heeft in juni 2015 geadviseerd om NAM te laten bepalen “bij welke combinatie van jaarproductie, productieverdeling en gebouwenversterking het omslagpunt ligt naar een veiligheidsniveau dat voldoet aan de vastgestelde norm”. Uit de rapportage van NAM blijkt dat dit advies niet is opgevolgd. NAM focust op een productieniveau van 33 miljard Nm³ per jaar voor de periode 2016 – 2021 en beschouwt dit als een “verantwoord niveau van gaswinning”, omdat de versterkingsopgave die noodzakelijk is om aan de veiligheidsnorm (individueel risico van 10⁻⁵/jaar voor bestaande bouw) te voldoen, volgens NAM in 5 jaar gerealiseerd kan worden, uitgaande van het huidige versterkingstempo. De versterkingsopgave omvat volgens NAM 4.000 huizen. SodM komt echter tot de conclusie, dat dit aantal erg onzeker is. In werkelijkheid zou het aantal te versterken huizen veel hoger kunnen uitvallen. Bovendien zal bij een productieniveau van 33 miljard Nm³/jaar het aantal aardbevingen per jaar - en daardoor ook de kans op sterkere aardbevingen en het seismisch risico - gestaag toenemen, waardoor er ook na 2021 nog een lange periode van versterking tegemoet kan worden gezien. Naast de grote onzekerheid in de versterkingsopgave en het tegenvallende versterkingstempo tot nu toe vindt SodM het daardoor niet aannemelijk dat een productieniveau van 33 miljard Nm³/jaar zal kunnen voldoen aan de vastgestelde norm.
- d) De analyse van het seismisch risico van NAM gaat vooral over de veiligheid: de kans dat mensen gevaar lopen door het bezwijken van woningen. Het aspect “schade aan gebouwen” (scheuren e.d.) blijft in deze seismisch risicoanalyse buiten beeld. De mijnbouwwet geeft echter aan dat er ook maatregelen moeten worden genomen om schade aan gebouwen te beperken of te voorkómen.

3. SodM heeft enkele analyses van NAM over de effecten van een “omkering van het gassysteem” op de seismiteit beoordeeld. Het gaat hierbij om de mogelijke gevolgen van een andere wijze van gaswinning uit het Groningenveld: een verhoudingsgewijs lage basisproductie met scherpe productief fluctuaties, bijvoorbeeld door een snelle toename van de gasvraag vanwege een plotselinge winterse kou. Uit de rapporten van NAM blijkt dat het (nog) niet mogelijk is om het effect van snelle productief fluctuaties op de seismiteit vast te stellen. SodM heeft eerder aangegeven dat er aanwijzingen zijn dat een vlakke productie gunstiger is dan een productiepatroon met veel pieken. SodM onderschrijft de opvatting van NAM dat er nog te weinig gegevens voorhanden zijn om het effect (op de seismiteit) van snelle productief fluctuaties feitelijk te onderbouwen.
4. In juni 2015 heeft SodM geadviseerd om het veiligheidsniveau voor industriële objecten zo spoedig mogelijk te herzien en uit te breiden met scenario's voor aardbevingen en faalkansen van insluitsystemen onder aardbevingsbelasting. Uit de rapportage van NAM blijkt echter, dat studies inzake het veiligheidsrisico voor industriële objecten nog niet zijn afgerond. Op z'n vroegst wordt aan het einde van het eerste kwartaal 2016 duidelijkheid verkregen over de resultaten voor het chemiepark Delfzijl.
5. In juni 2015 heeft SodM geadviseerd om zo snel mogelijk de kans op grotere groepen slachtoffers voor het door geïnduceerde aardbevingen beïnvloede gebied te bepalen. Uit de groepsrisico-rapportage van NAM blijkt echter, dat er nog geen informatie is over de plaatsen boven het Groningen gasveld waar de kans op grotere groepen slachtoffers het grootst is. Evenmin is duidelijk hoe effectief de veiligheidsmaatregelen zijn om deze risico's te voorkomen of te beperken. In het winningsplan-2016 zal NAM dit nader uitwerken.

Kanttelingen

- De onzekerheden in de rekenmodellen, waarmee de seismische dreiging en het seismisch risico worden bepaald, zijn nog steeds groot.
- SodM wijst erop, evenals in het advies van juni 2015, dat de gunstige gevolgen van de productiemaatregel in de vijf Loppersum clusters tijdelijk zijn. Doordat de gasvoerende gesteentelagen in het hele Groningenveld met elkaar in verbinding staan, zal de gaswinning en de daarmee gepaard gaande drukdaling in de rest van het gasveld, op een termijn van 3 à 5 jaar (gerekend vanaf begin 2014) weer leiden tot een toename van de drukdaling rond Loppersum. Uit nader onderzoek zal moeten blijken of een continuering van de Loppersum maatregel verstandig is, dan wel dat het voor een evenwichtige verdeling van de compactie van het gasvoerende gesteente beter is om weer enkele clusters bij te zetten.
- Om verantwoord onderzoek te kunnen doen naar het effect van snelle productief fluctuaties op de seismiteit zijn momenteel te weinig meetgegevens voorhanden. Door de versterking van het meetnet, die de afgelopen twee jaar is gerealiseerd, komen in toenemende mate gegevens beschikbaar. SodM gaat ervan uit dat er waarschijnlijk nog twee à drie jaar nodig is om de aanwijzingen dat snelle productief fluctuaties ongunstig zijn voor de seismiteit op hun juistheid te testen.

Advies SodM

Op grond van de conclusie en kanttekeningen die er thans liggen heeft SodM vier adviezen geformuleerd: drie hebben betrekking op acties die NAM zou moeten ondernemen, zo nodig op voorschrift van de Minister van Economische Zaken (nrs. 1, 2 en 4); één advies heeft betrekking op het werkprogramma van de Nationaal Coördinator Groningen (nr.3).

1. **Breng de gasproductie terug tot een niveau waarbij het seismisch risico geminimaliseerd en zoveel mogelijk gestabiliseerd wordt, maar waarbij zodanig gelijkmatig wordt geproduceerd, dat snelle productief fluctuaties (tijdsduur week/maand) vermeden worden.**

Toelichting: Zolang niet duidelijk is wat de invloed is van snelle productief fluctuaties (op week- en maandbasis) op de seismiciteit acht SodM het niet verstandig om het productieniveau dermate te verlagen dat snelle productief fluctuaties onontkoombaar zijn. Indien er vanuit het oogpunt van leveringszekerheid in een koude winter een hogere gasproductie uit het Groningen gasveld noodzakelijk is, acht SodM het raadzaam deze verhoging zo gelijkmatig mogelijk door te voeren. Vanzelfsprekend moet worden getoetst of de combinatie van het productieniveau en versterkingsopgave aan de vastgestelde norm voldoet en realistisch is.

2. **Bepaal de jaarlijkse productieverdeling over de clusters in het Groningen veld op basis van het seismisch risico.**

Toelichting: De analyse van NAM van de seismische dreiging en het seismisch risico is voor de hele periode 2016 - 2021 gebaseerd op de thans geldende regionale productieplafonds, die in beginsel alleen gelden voor het gasjaar 2015/2016. SodM heeft er echter eerder op gewezen dat de productieverdeling over het gasveld moet plaatsvinden op basis van een adequate meet- en regelcyclus, waarbij rekening wordt gehouden met de ontwikkelingen in de seismiciteit, het seismisch risico en de voortschrijdende inzichten in bijvoorbeeld de seismische dreiging (grondversnellingen). SodM vindt dat ook de optie “drukhandhaving” in de beschouwing moet worden meegenomen, omdat ook die maatregel kan leiden tot een afname van het seismisch risico. Ook moet de uitwerking van de technische bijlage van het meet- en regelprotocol verbeterd worden. SodM wijst erop, dat aanpak aan de bron (het seismisch risico terugbrengen door de productie te beperken) effectief is gebleken: het werkt snel, is goed te monitoren en het beperkt de omvang en duur van het versterkingsprogramma.

3. **Baseer het versterkingsprogramma van gebouwen bij voorkeur op seismische dreiging- en risicokaarten die gegrond zijn op de methode die NAM volgt en zorg dat de berekeningen – zodra mogelijk - bij een onafhankelijke instantie worden belegd.**

Toelichting: Op dit moment wordt voor de prioritering van het versterken van gebouwen en in de Nationale Praktijkrichtlijn (NPR) de PGA-kaart van KNMI van 16 oktober 2015 gebruikt. Deze kaart is gebaseerd op de statistiek van opgetreden aardbevingen, een methode die traditioneel in de aardbevingswereld wordt toegepast. In de analyse van NAM wordt voor de berekening van de seismische dreiging en het seismisch risico een methode gebruikt die rekening houdt met de respons van gasvoerende gesteentelagen op veranderingen in het productieniveau en de reactie van de ondiepe ondergrond op trillingen (opslingering en demping). SodM adviseert om, zodra dit mogelijk is, het versterkingsprogramma en de

Nationale Praktijk Richtlijn te baseren op de methode die NAM toepast en de statistische methode van KNMI te gebruiken als een globale check op de uitkomsten. Om acceptatie van de kaarten te bevorderen adviseert SodM om de uitwerking van de methodiek bij een onafhankelijke instantie te beleggen.

Overigens blijkt uit de huidige risicokaarten van NAM dat er ook buiten het “verstevigingsgebied” grote aantallen gebouwen zijn (met name bij Delfzijl en Groningen) met een risico hoger dan 10^{-5} /jaar.

4. Laat zo snel mogelijk het maatschappelijk risico voor het door geïnduceerde aardbevingen beïnvloede gebied bepalen op basis van de methode die deskundigen van de commissie Meijdam, SodM en andere instellingen met elkaar zijn overeengekomen.

Toelichting: SodM vindt, dat de kans op grotere groepen slachtoffers ten gevolge van een geïnduceerde aardbevingen (het maatschappelijk risico) net zo relevant is als het individueel risico. Deskundigen van de commissie Meijdam, SodM en andere instellingen zijn in beginsel met elkaar een methode overeengekomen om dit maatschappelijk risico te bepalen en met kaarten inzichtelijk te maken hoe de kans op groepen slachtoffers over het aardbevingsgebied varieert. Het is van belang dat deze analyse nu zo snel mogelijk wordt uitgevoerd.

1. Leeswijzer

Dit rapport is als volgt opgebouwd:

Hoofdstuk 2 geeft een algemene inleiding op dit rapport. Daarin komt onder meer aan de orde: waarover gaat dit rapport? Wat is de status van de adviezen die SodM in juni 2015 heeft uitgebracht?

Hoofdstuk 3 schetst de werkwijze van SodM bij het opstellen van dit rapport.

Hoofdstuk 4 gaat nader in op de onderzoeken van NAM naar trends en correlaties in het verloop van de bodemdaling en de seismische activiteit. Het gaat dan vooral om het effect van het terugbrengen van de gaswinning rond Loppersum op de bodemdaling en de seismiciteit. Ook wordt gekeken naar de mogelijke verbanden tussen seismische activiteit, het productietempo en plotselinge veranderingen in het productietempo. SodM vergelijkt de analyses van NAM met analyses die op verzoek van SodM door het CBS en TNO zijn uitgevoerd. De paragraaf eindigt met enkele conclusies.

Hoofdstuk 5 geeft het oordeel van SodM op de analyse die NAM in november 2015 heeft ingediend over de seismische dreiging (hazard) en het seismisch risico. De visie van SodM is mede gebaseerd op de visie van seismologische deskundigen van de Amerikaanse Geologische Dienst en de Zwitserse Seismologische Dienst, die SodM heeft geraadpleegd. Aan het einde van de paragraaf worden de conclusies van SodM over de seismische dreiging en het seismisch risico vermeld.

Hoofdstuk 6 gaat over de maatregelen die nodig zijn om het seismisch risico binnen de vastgestelde risiconorm te brengen en te houden.

Hoofdstuk 7 bevat het advies van SodM op basis van de conclusies uit de voorgaande paragrafen.

Aan het rapport is een lijst van geraadpleegde documenten toegevoegd.

De bijlage bevat een omschrijving van de gebruikte vaktermen.

2. Inleiding

Onderzoeken

In juni 2015 heeft SodM een advies uitgebracht aan de Minister van Economische Zaken over de seismische dreiging en het seismisch risico als gevolg van de gaswinning in Groningen. Naar aanleiding van dit advies heeft de Minister van Economische Zaken zijn instemmingsbesluit met het “winningsplan gaswinning Groningenveld” gewijzigd². In het verlengde daarvan heeft de Minister aan NAM verzocht twee onderzoeksporen nader uit te werken. Spoor 1: onderzoek naar een verantwoord niveau van gaswinning. Spoor 2: onderzoek naar de effecten op de seismiciteit van een omkering van het gassysteem³. Aan SodM werd verzocht om de resultaten van beide onderzoeken te beoordelen. Dit rapport gaat op beide onderzoeken in.

Meet- en regelprotocol

Op grond van het Meet- en Regelprotocol 2015 maakt NAM elk halfjaar een rapportage van de metingen inzake de bodembeweging (bodemdaling en aardbevingen). In het protocol is vastgelegd dat de gaswinning voortaan wordt ingericht op basis van een jaarlijks te doorlopen cyclus, die bestaat uit: meten → analyseren meetgegevens → voorspellingsmodellen bijwerken → implementeren van eventuele maatregelen om het aardbevingsrisico binnen aanvaardbare grenzen te houden → meetplan bijwerken → meten, enz.

SodM houdt toezicht op alle onderdelen van deze cyclus. In Figuur 2.1 is de cyclus en het toezicht daarop (de rode cyclus) gevisualiseerd.

In dit rapport wordt een overzicht gegeven van de metingen die NAM heeft uitgevoerd en welke interpretatie SodM daaraan geeft. Die interpretatie berust mede op controleberekeningen die SodM heeft laten uitvoeren door TNO, het CBS en de TU Delft. Daarnaast wordt in het kader van de Meet- en regelcyclus ook ingegaan op de seismische dreigings- en risicoanalyse en de benodigde maatregelen. Voor de beoordeling van deze seismische dreiging- en risicoanalyse heeft SodM seismologische deskundigen geraadpleegd van de Amerikaanse Geologische Dienst en de Zwitserse Seismologische Dienst.

Opvolging adviezen van SodM juni 2015

In het rapport dat SodM in juni 2015 aan de Minister van Economische Zaken uitbracht zijn vijf adviezen opgenomen. Hieronder wordt van elk advies aangegeven in welke mate er opvolging aan is gegeven. Tevens wordt aangegeven op welke onderwerpen SodM in dit rapport terugkomt.

Advies 1: Stel op korte termijn de norm vast voor het plaatsgebonden risico van geïnduceerde aardbevingen

Status: In het tweede advies van de commissie Meijdam wordt een voorstel gedaan om voor alle bouwwerken – zowel nieuwbouw als bestaande bouw – een veiligheidsnorm voor het objectgebonden individueel risico van 10^{-5} /jaar te hanteren. Voor bestaande bouw is een niveau tussen 10^{-4} en 10^{-5} tijdelijk aanvaardbaar. De minister heeft in de Kamerbrief van 3 november 2015 aangegeven deze normen over te nemen, maar de termijn waarbinnen gebouwen op niveau (10^{-5} /jaar) gebracht moeten zijn in overleg met de NCG nader te zullen vaststellen.

² Besluit van 29 juni 2015, kenmerk DGETM-EM/15086003.

³ Kamerstuk 33529, nr. 174.

Advies 2: Breng de gasproductie zo snel als realistisch mogelijk is zodanig terug dat de risico's voldoen aan de vastgestelde norm. Onderzoek daarvoor op korte termijn:

- a. Het effect van kortdurende (enkele weken), sterke productief fluctuaties in de verschillende regio's van het Groningenveld op de seismiciteit
- b. Bij welke combinatie van jaarproductie, productieverdeling en gebouwenversterking het omslagpunt ligt naar een veiligheidsniveau dat voldoet aan de vastgestelde norm.

Status: Het onderzoek naar het effect van sterke productief fluctuaties heeft een plaats gekregen in "spoor 2" (omkering van het gassysteem), dat de Minister van Economische Zaken in juni 2015 in gang heeft gezet. NAM heeft hierover rapportages ingediend, die SodM heeft beoordeeld. In paragraaf 6.2.4 van dit rapport wordt hier nader op ingegaan. Het onderzoek naar het omslagpunt maakt deel uit van "spoor 1": het onderzoek naar een "veilig niveau van de gaswinning". In paragraaf 6.3 van het huidige rapport komt dit aan de orde.

Advies 3: Zorg dat de gasproductie in het tweede halfjaar van 2015 niet boven het productieplafond van het eerste halfjaar uitgaat en dat de verdeling van de gasproductie over de verschillende regio's, met inachtneming van de huidige productieplafonds, zodanig plaatsvindt, dat het seismisch risico wordt geminimaliseerd.

Status: De Minister van Economische Zaken heeft in het instemmingsbesluit van 29 juni 2015 een voorschrift opgenomen (artikel 2, lid 14), dat NAM uiterlijk 15 augustus 2015 een rapport aan SodM moest voorleggen waaruit zou blijken hoe NAM de gasproductie voor het 2^e halfjaar 2015 over het Groningen gasveld zou verdelen, op een zodanige manier dat het seismisch risico zoveel mogelijk zou worden geminimaliseerd en aan de andere kant ook de productieplafonds voor de verschillende regio's in acht zouden worden genomen. NAM heeft het gevraagde rapport op 14 augustus 2015 aan SodM voorgelegd. SodM heeft vervolgens het rapport geverifieerd en vastgesteld dat NAM aan het voorschrift heeft voldaan (brief SodM aan NAM van 11 september 2015).

Advies 4: Zorg, dat alle inrichtingen die vallen onder het Besluit Externe Veiligheid, inclusief mijnbouwwerken, hun reeds bestaande kwantitatieve risicoanalyse voor het vaststellen van het "plaatsgebonden risico" en het "groepsrisico voor omwonenden" zo spoedig mogelijk uitbreiden met scenario's voor aardbevingen en faalkansen van insluitsystemen onder aardbevingsbelasting.

Status: Uit de rapportage die NAM heeft ingediend blijkt dat studies inzake het veiligheidsrisico voor industriële objecten en infrastructuur nog niet zijn afgerond. Op z'n vroegst wordt aan het einde van het eerste kwartaal 2016 duidelijkheid verkregen over de resultaten voor het chemiepark Delfzijl.

Advies 5: Laat zo snel mogelijk het groepsrisico voor het door geïnduceerde aardbevingen beïnvloede gebied bepalen.

Status: De Minister van Economische Zaken heeft aan de commissie Meijdam, SodM en NAM gevraagd om gezamenlijk tot een risicomaat te komen. In dit rapport wordt in paragraaf 5.4.1.5 en paragraaf 5.5.2 nader op het groepsrisico ingegaan.

De Afdeling bestuursrechtspraak van de Raad van State heeft op 18 november 2015 een uitspraak gedaan over het besluit tot instemming met het winningsplan voor de gaswinning door NAM in Groningen. Zowel het instemmingsbesluit van de Minister van Economische Zaken van januari 2015 als zijn wijzigingsbesluit van juni 2015 zijn vernietigd. In afwachting van nieuwe besluitvorming heeft de Afdeling een voorlopige voorziening getroffen. Een onderdeel van deze voorlopige voorziening is, dat “de bij het (gewijzigde) instemmingsbesluit gestelde bepalingen moeten worden geacht te blijven gelden (...)”. Om die reden wordt in dit rapport van SodM gewoon naar de onderscheiden voorschriften in het (gewijzigde) instemmingsbesluit verwezen.



3. Werkwijze SodM

Om tot een goed onderbouwd rapport te komen heeft SodM de volgende werkwijze gevolgd.

3.1 Afbakening van de vragen

SodM heeft zich in dit rapport gericht op beantwoording van drie vragen:

- a. Welke conclusies kunnen er worden getrokken uit de monitoring van de bodemdaling en de seismiciteit in de afgelopen jaren?
- b. Wat is volgens NAM een verantwoord niveau van gaswinning uit het Groningenveld en kan die conclusie door SodM worden gedeeld?
- c. Wat is volgens NAM het effect van de “omkering van het gassysteem” op de seismiciteit en kan die conclusie door SodM worden gedeeld?

Het antwoord op de eerste vraag is belangrijk, omdat het duidelijk maakt of productiemaatregelen invloed hebben op de seismiciteit. Het antwoord op de tweede vraag is van belang voor de Minister van Economische Zaken om een besluit te kunnen nemen over het productieniveau voor de komende jaren. Het antwoord op de derde vraag is van belang voor de Minister van Economische Zaken om een gevoel te krijgen hoeveel invloed een sterk variabel productieprofiel heeft op de seismiciteit van het Groningenveld.

3.2 Volgen van de onderzoeken

SodM heeft de voortgang van de onderzoeken die NAM in het afgelopen halfjaar heeft uitgevoerd, op de voet gevolgd. Deskundigen van SodM hebben als observator deelgenomen aan een speciaal ingestelde klankbordgroep van onafhankelijke experts. Deze klankbordgroep – de *Scientific Advisory Committee* (SAC) - is ingesteld door het Ministerie van Economische Zaken om de wetenschappelijke onderzoeken van NAM te begeleiden. Door als observator deel te nemen aan deze klankbordgroep krijgt SodM inzicht in het werk dat NAM uitvoert en kan SodM kennis nemen van de commentaren van onafhankelijke experts op dit werk.

3.3 Toetsing kritische onderdelen

SodM heeft het CBS en TNO verzocht om controleberekeningen uit te voeren op trends en correlaties in de seismische activiteit. Aan het CBS en de TU Delft heeft SodM opdracht gegeven om enkele controleberekeningen te doen op geodetisch gebied (GPS en InSAR monitoring van bodemdaling). De resultaten van deze analyses heeft SodM vergeleken met de monitoringsrapportages van NAM.

Voor de beoordeling van de analyse van NAM van de seismische dreiging en het seismisch risico heeft SodM seismologische deskundigen geraadpleegd van de Amerikaanse Geologische Dienst en de Zwitserse Seismologische Dienst.

3.4 Verwachtingenbrief

SodM heeft NAM op 29 juli 2015 in een “verwachtingenbrief” zo gedetailleerd mogelijk aangegeven hoe de dienst de voorschriften, behorend bij het instemmingsbesluit van 30 januari 2015 en het wijzigingsbesluit van 29 juni 2015 inzake het winningsplan Groningenveld, interpreteerde en wat de dienst van NAM verwachtte op (uiterlijk) 7 november 2015.

NAM heeft op deze brief gereageerd op 13 augustus 2015. In deze brief gaf NAM aan, dat de risicomaat nog in ontwikkeling is en dat dit tot gevolg zou kunnen hebben dat NAM niet op tijd gereed zou kunnen zijn met haar berekeningen. SodM heeft hierop gereageerd per brief van 4 september 2015.

3.5 Verificatie documenten

Op 30 oktober 2015 heeft NAM bij SodM rapporten ingediend over trends en correlaties met betrekking tot metingen van bodemdaling en seismiciteit. Op 6 november 2015 heeft SodM het rapport van NAM ontvangen over de seismische dreiging en het seismisch risico. Daarna heeft SodM een verificatieproces uitgevoerd, dat als volgt is verlopen:

- 1 – 10 november 2015 verificatie door SodM van ingediende documenten NAM
- 13 november 2015 verzoek van SodM aan NAM om aanvullende informatie.
- 30 november 2015 aanlevering door NAM van de door SodM gevraagde aanvullende informatie.

4. Monitoring van bodembewegingen: trends en correlaties

4.1 Algemeen

Onderzoeken naar trends en correlaties in de bodemdaling en de seismiciteit van het Groningenveld worden door NAM o.a. verricht om de regelbaarheid van de seismiciteit in het Groningenveld te bepalen. Uiteindelijk doel is door een cyclische, adaptieve aanpak, de toename van het seismisch risico zo veel mogelijk te beperken⁴. De resultaten van de monitoringsgegevens en de analyses daarvan worden halfjaarlijks door NAM gerapporteerd en door SodM geëvalueerd. In dit hoofdstuk wordt een opsomming gegeven van de belangrijkste conclusies uit de NAM Meet- en Regelrapportage van november 2015 (referentie 4.1). De resultaten en conclusies van NAM worden vergeleken met de resultaten van de onderzoeken die TNO, het CBS en TU Delft op verzoek van SodM ter controle hebben uitgevoerd.

4.2 Bodemdaling

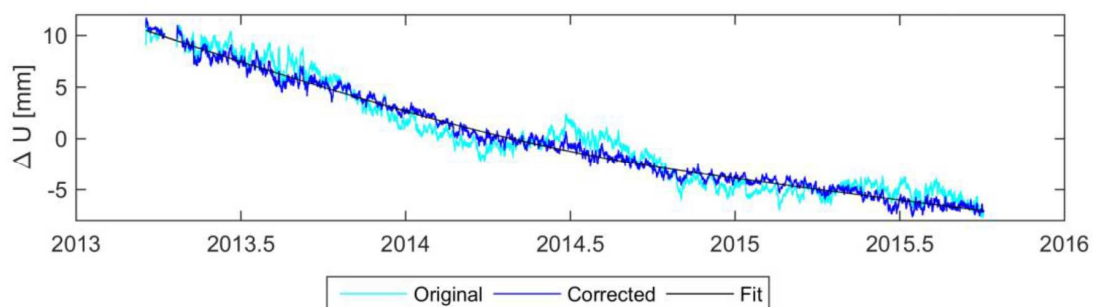
4.2.1 NAM InSAR analyse

Door NAM is onderzocht of na de productiebeperking van januari 2014 in Loppersum een verandering waargenomen wordt in de bodemdalingssnelheid zoals gemeten met InSAR. Met deze techniek wordt met behulp van radar vanuit een satelliet de bodembeweging op wekelijkse tot maandelijks basis gemeten. In de Meet- en Regelrapportage beschrijft NAM het resultaat als volgt: “De gegevens ondersteunen *niet* de conclusie dat de bodemdalingssnelheid is veranderd” (Referentie 4.2).

4.2.2 TU Delft controle NAM GPS-data analyse

In opdracht van SodM is door de TU Delft een studie gedaan naar de processing van de GPS (Global Positioning) data in Groningen door/namens NAM (referentie 4.3). In vervolg op een eerdere studie zijn de GPS-tijdreeksen, aangeleverd door/namens NAM, opnieuw geanalyseerd. Versturende ruis en seizoenseffecten worden daarbij door TU Delft uit het signaal verwijderd. Hierdoor ontstaat een duidelijker beeld van de bodemdaling door de gaswinning, zoals hoogteveranderingen en horizontale verplaatsingen. De resultaten voor Ten Post (Figuur 4.1) laten na januari 2014 een duidelijke afname van de bodemdalingssnelheid zien met ongeveer een factor 2.

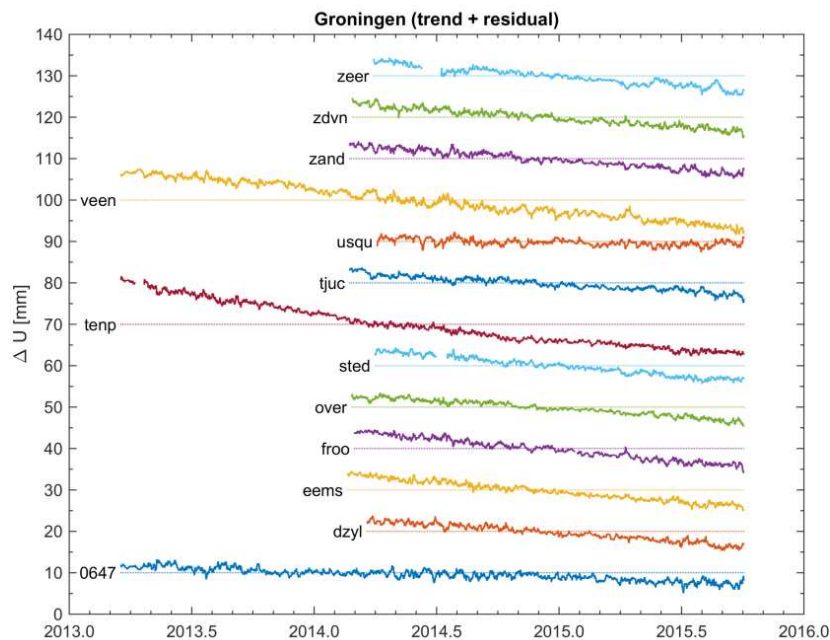
⁴ Artikel 4 van het instemmingsbesluit van 30 januari 2015.



Figuur 4.1: De dalingsnelheid bij Ten Post, in het centrumgebied, neemt met ongeveer een factor 2 af na de productie ingreep van januari 2014.

De zakkingsnelheid bij Ten Post komt in 2015 overeen met de zakkingsnelheden van andere, omliggende GPS stations (bijvoorbeeld Stedum, Overschild en Zeerijp) in het centrum van het veld (Figuur 4.2). Ook de GPS stations op enige afstand van het centrum (bijvoorbeeld Eemskanaal en Delfzijl) vertonen na januari 2014 vergelijkbare dalingsnelheden. Er zijn in 2015 (een jaar na de productiemaatregelen bij Loppersum) geen grote verschillen in dalingsnelheid tussen het centrum van het veld en de dalingsnelheid aan de rand van het veld.

Het GPS station bij Usquert, dat aanzienlijk verder van het centrum ligt, vertoont na de verbeterde processing nauwelijks bodemdaling. Dat komt overeen met de geringe bodemdaling op basis van waterpassingen op deze locatie.



Figuur 4.2: Overzicht bodemdaling GPS stations boven het veld Groningen (uit referentie 4.2)

4.2.3 TU Delft onafhankelijke eigen GPS processing

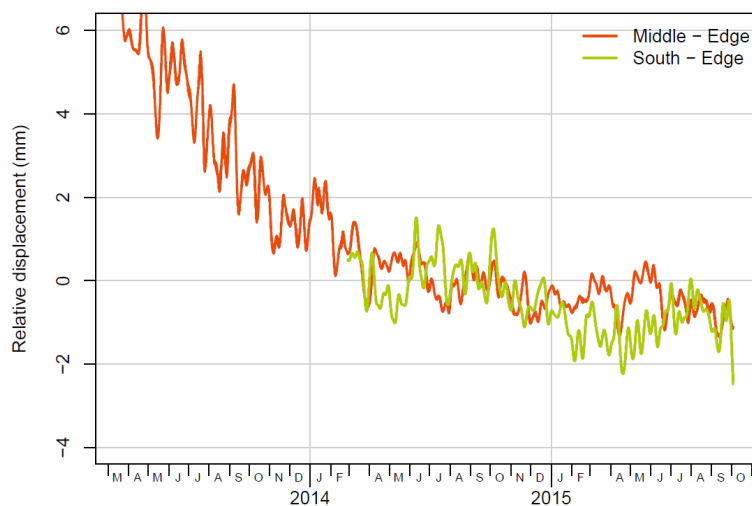
De TU Delft heeft ter controle ook een volledig onafhankelijke analyse van de ruwe GPS metingen

t/m augustus 2015 uitgevoerd (referentie 4.3). Bij deze methode worden geen referentiestationen gebruikt. De ruwe data worden per station verwerkt op basis van satellietbanen en –klokken (Gypsi software JPL). Door de aard van de berekeningen zijn de resultaten van deze analyse minder precies dan de berekeningen uitgevoerd door/namens de NAM maar zijn er geen versturende effecten van de beweging van een referentiestation. De resulterende trends komen goed overeen met de resultaten in Figuur 4.1 en leiden niet tot andere conclusies.

4.2.4 CBS analyse GPS-dalingssnelheid

Op verzoek van SodM heeft het CBS (Centraal Bureau voor de Statistiek) een actualisatie van de analyse van de door NAM aangeleverde GPS-hoogtedata gemaakt met inbegrip van nieuwe, meer recente gegevens. De dalingssnelheid in het centrum van het veld is vergeleken met die aan de rand. Ter controle is ook de daling in het zuidelijke gebied met de daling aan de rand vergeleken (referentie 4.4).

De CBS resultaten zijn in lijn met de resultaten die beschreven zijn in voorgaande CBS-rapporten van Pijpers en van der Laan in december 2014 respectievelijk mei 2015. Uit de GPS-data concludeert CBS dat er een voortgaande maar sterk afgenomen bodemdaling is in het centrale gebied waar de productie gereduceerd is in januari 2014. De vertraging tussen afname in gasproductie en afname in lokale bodemdalingssnelheid is volgens het CBS ongeveer 9 weken. Onderstaande figuur toont het verschil tussen de gemiddelde hoogten van het centrale gebied t.o.v. de rand. Ter vergelijking wordt ook de gemiddelde hoogte in het zuidelijke gebied t.o.v. de rand weergegeven. De meetdata tonen een geleidelijke trendverandering. In het gebied rond Loppersum en Ten Post, is gedurende 2014 en 2015 een duidelijke afname te zien van de snelheid waarmee de bodem in het centrum daalt ten opzichte van de gebieden daarbuiten.



Figuur 4.3: Verschil tussen gemiddelde hoogte in het centrumgebied en de rand van het veld (in rood).

Het CBS heeft dezelfde analyse ook uitgevoerd na de verwijdering van ruis en seizoen effecten uit de GPS data door de TU Delft. Dat leidt tot identieke conclusies. Ook uit een alternatieve

fitprocedure van de bodemdaling met een gladde functie, blijkt een aanzienlijk lagere dalingssnelheid na begin 2014 dan in de periode daarvoor.

De afname van de dalingssnelheid in het Loppersumgebied lijkt volgens het CBS gerelateerd te zijn aan de verlaagde productie in het centrale gebied.

4.3 SodM conclusies bodemdaling

NAM heeft op basis van InSAR metingen geen verandering van de bodemdalingsnelheid in het centrale gebied kunnen vaststellen, na de sterke productieafname in januari 2014. De beide controlestudies van TU Delft en de controlestudie van het CBS wijzen echter onafhankelijk van elkaar op een (in tijd vertraagde) verlaging van de dalingssnelheid in het centrale gebied, na de sterke productieafname in januari 2014. De waargenomen tijdvertraging is in de orde van 3 tot 5 maanden.

Een mogelijke verklaring voor de verschillende resultaten van NAM en de controlestudies van de TU Delft en CBS is dat NAM voornamelijk gebruik maakt van PS-InSAR data en dat een deel van de versturende effecten op de GPS metingen door/voor NAM niet worden verwijderd.

SodM heeft geen redenen om te twijfelen aan de resultaten van de analyses die ter controle door TU Delft en CBS zijn uitgevoerd en komt daarom tot de volgende conclusie:

- De bodemdaling reageert op een termijn van enkele maanden duidelijk op veranderingen in de productiesnelheid.

4.4 Seismiciteit

4.4.1 NAM analyse seismiciteit trends

De onderstaande samenvatting van de resultaten van de NAM analyses is integraal overgenomen uit de NAM 'Meet en regelrapportage' van november 2015 (referentie 4.1):

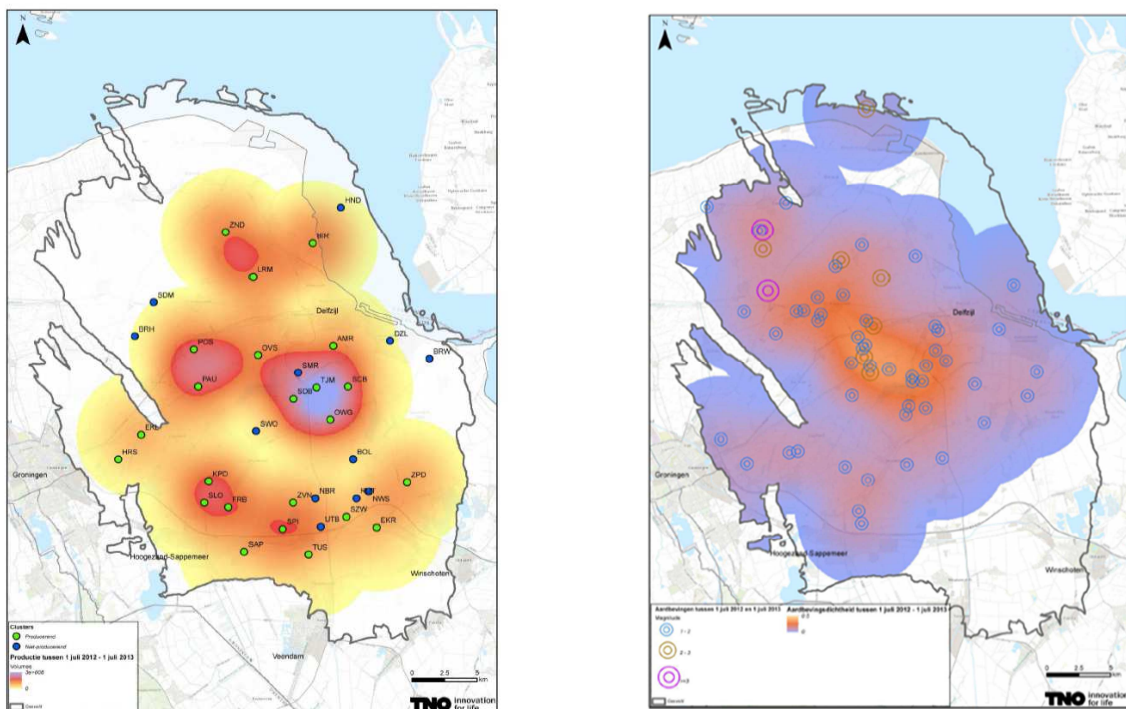
- *Activity Rate* rond Loppersum: T.a.v. de onderzoeksvraag of er sprake is van een verandering in de '*activity rate*' na de productiebeperking in Loppersum lieten voorlopige resultaten gerapporteerd in mei 2015 dit niet duidelijk zien. Met de toevoeging van aardbevingsdata van januari tot en met september 2015 is gevonden dat de '*activity rate*' rond Loppersum inderdaad gedaald is. Bovendien zijn de analyses toegepast in de andere regio's (referentie 4.5).
- *Activity Rate* als gevolg van seizoen-gerelateerde productieveranderingen: Deze zijn (volgens NAM) nog niet afdoende aangetoond. Het ligt in de verwachting dat het nieuwe KNMI seismische netwerk de analyse gemakkelijker zal maken (referentie 4.6).
- *Gutenberg-Richter b waarde*: Onderzocht is of de verdeling van aantallen aardbevingen per magnitude verandert in de tijd of op basis van de geproduceerde volumes. Zulke veranderingen in deze verdeling zijn volgens NAM niet geconstateerd. Wel is er sprake van ruimtelijke variaties in de *b*-waarde (referentie 4.7).

- *Seismiciteit in andere gasvelden:* De seismiciteit in andere Nederlandse gasvelden is onderzocht en vergeleken met de seismiciteit in het Groningenveld (referentie 4.8).
- *Methodiek voor vergelijking van seismologische modellen:* Een methodiek is ontworpen en beschreven om de beschrijvende waarde van verschillende modellen op statistisch relevante wijze te testen (referentie 4.9).

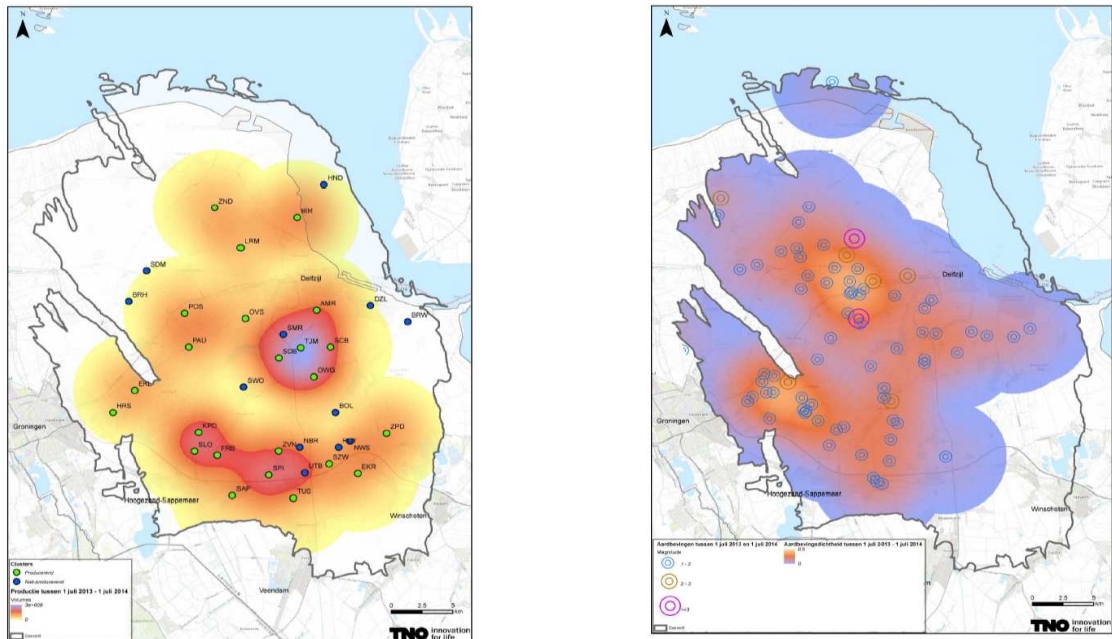
4.4.2 TNO studie ruimtelijke productieverdeling en seismiciteit

Op verzoek van SodM heeft TNO onderzocht of er een samenhang zichtbaar is tussen de verdeling van de productie en de geïnduceerde seismiciteit in het Groningenveld (referentie 4.11). Het gaat hierbij om visualisaties. Een aantal resultaten wordt getoond in onderstaande figuren. De linker figuur geeft telkens een indicatie van de productieverdeling voor een gegeven periode. De figuren rechts tonen de aardbevingsdichtheid gedurende dezelfde periode (voor details zie referentie 4.11). De veranderingen in het ruimtelijk patroon van de bevingen volgen volgens TNO de veranderingen in de productieverdeling in grote lijnen met een vertraging van enkele maanden. In de periode juli 2012-juli 2013 is een 'hot spot' (een gebied met een grotere dichtheid van bevingen) zichtbaar in het centrale gebied in de omgeving van Loppersum (Figuur 4.4). Tussen 2013 en 2014 ontstaat een tweede 'hot spot' consistent met de in 2014 verhoogde productie bij de zuidelijke clusters waaronder Slochteren en Froombosch (Figuur 4.5). In de periode juli 2014-juli 2015 verdwijnt de 'hot spot' in het Loppersumgebied. Er ontstaat dan geleidelijk een vrij egale verdeling van bevingen over het veld (Figuur 4.6).

Juli 2012 - juli 2013

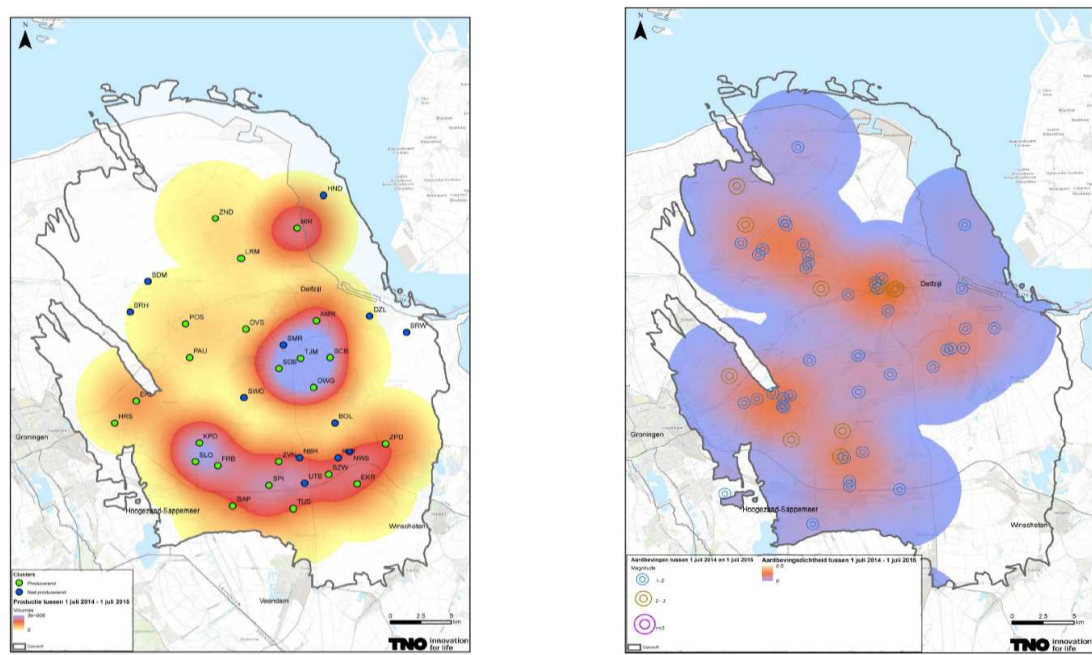


Juli 2013 – juli 2014

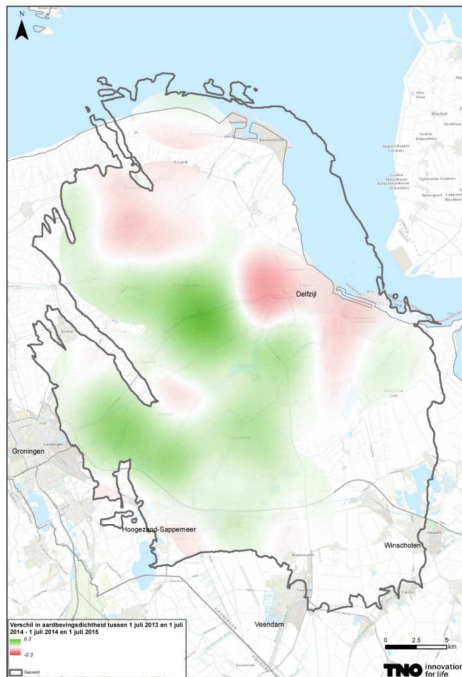


Figuur 4.5: Verdeling gasproductie (links) en de aardbevingsdichtheid (rechts) gedurende dezelfde periode. Productieafname in het centrum (links) en productietoename in het zuiden resulteren in 2 seismische ‘hot spots’

Juli 2014 – juli 2015

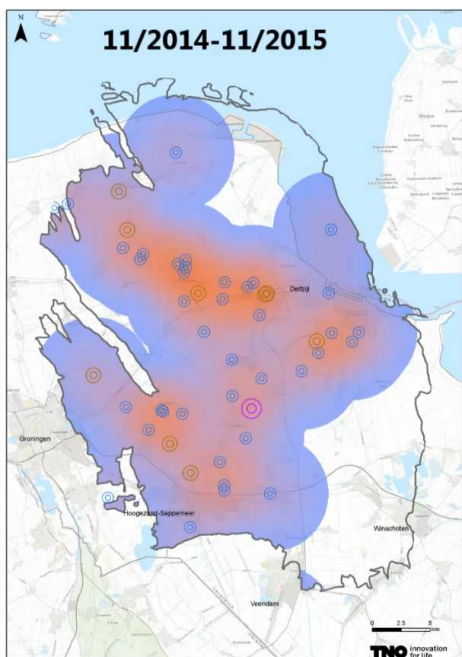


Figuur 4.6: Verdeling gasproductie (links) en de aardbevingsdichtheid (rechts) in dezelfde periode. Zeer beperkte productie in Loppersumgebied en afname in Zuid-West leiden tot een dichtheid van bevingen zonder sterke ‘hot spots’



Het cumulatieve effect van de ingrepen in de hoogte en de verdeling van de productie sinds januari 2014 lijkt zichtbaar in Figuur 4.7. Groen geeft het gebied aan waar de bevangsdichtheid in de periode juli 2014 – juli 2015 is gedaald ten opzichte van de periode juli 2013 – juli 2014. Rood geeft aan waar deze is toegenomen. Die gebieden komen in grote lijn overeen met de gebieden waar de productie is afgenomen en toegenomen. In de analyse is rekening gehouden met het feit dat de seimiciteit met een vertraging van ongeveer een half jaar reageert op veranderingen in de productie. Voor details zie referentie 4.11.

Figuur 4.7: Wijziging in aardbevingsdichtheid juli 2014 – juli 2015 ten opzichte van juli 2013 – juli 2014



Zeer recent lijkt er overigens weer een toename van bevingen in de regio rond Appingedam. De aardbevingsdata tussen november 2014 en november 2015 (Figuur 4.8) tonen een toename van bevingen in het gebied rond Appingedam, consistent met het optreden van twee bevingen met een magnitudes van 2.3 (beide) bij Appingedam in februari en maart 2015. Volgens TNO is de doorgaande productie uit Amsweer, Tjuchem, Siddeburen, Oudeweg en Schaapbulten mogelijk een verklaring hiervoor. Op 30 september 2015 vond een beving met magnitude 3.1 plaats bij Hellingum. Het is de meest zuidelijke beving met een magnitude boven de 3.0 tot nu toe.

Opmerkelijk is volgens SodM dat de noordelijke clusters Bierum (BIR) en 't Zand (ZND) buiten het gebied met de relatief hoge aardbevingsdichtheid liggen. Dit lijkt gerelateerd aan de ligging ten oosten van de NW-ZO breukstructuur.

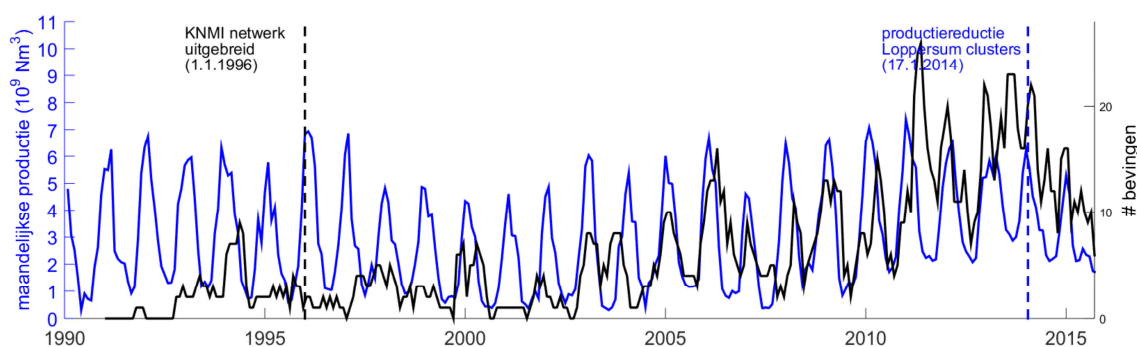
Figuur 4.8: Links: bevingen 1 nov 2014- 1 nov 2015 tonen een concentratie van bevingen rond Appingedam/Delfzijl.

4.4.3 TNO Bayesiaanse statistische analyse

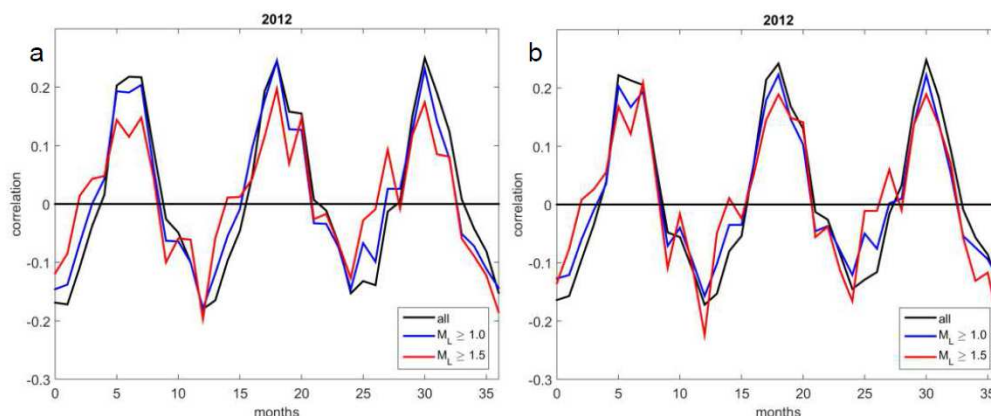
Een duidelijke invloed van veranderingen in de ruimtelijke verdeling van de productie op de seismiciteit wordt door TNO ook aangetoond op basis van een Bayesiaanse statistische analyse van de seismiciteit. De resultaten van deze statistische analyse van TNO zijn consistent met de uitkomst van de CBS-studies dat de aardbevingsdichtheid in het centrale gebied is afgenomen (zie “CBS studie trendveranderingen aardbevingsdichtheid”). Na de sterke vermindering van de productie in de regio Loppersum in januari 2014 is er volgens TNO een statistisch significante afname van het aantal bevingen (met ongeveer 60%) in deze regio te zien. In het Zuid-Westen is de seismiciteit volgens de TNO analyse toegenomen. In januari 2015 is de productie in het Zuid-Westen van het Groningenveld teruggebracht naar het productieniveau van 2012. Een reactie van de seismiciteit hierop is nog niet statistisch vast te stellen. In Oost is de productie ook licht verminderd naar iets onder het niveau van 2012.

4.4.4 TNO studie jaarlijkse productiefluctuaties en seismiciteit

De resultaten van de TNO analyse laten duidelijk zien dat de jaarlijkse productiefluctuaties de seismiciteit beïnvloeden met een vertraging van 5-7 maanden. TNO maakt dit allereerst zichtbaar in Figuur 4.9 waar het 3-maandelijks voorwaarts gemiddelde van de seismiciteit ($M \geq 1.0$) sinds 1990 wordt vergeleken met de maandelijkse productie (referentie 4.10).



Figuur 4.9: Gasproductie Groningen veld (op maandbasis) en het aantal bevingen met magnitude groter dan 1,0 (op maandbasis met 3-maandelijks voortschrijdend gemiddelde). Bron: TNO



Figuur 4.10: Stacked crosscorrelaties tussen seismiciteit en productie (referentie 4.11) voor de gehele catalogus (a) en voor de catalogus waar de naschokken uit zijn verwijderd (b). Bron: TNO.

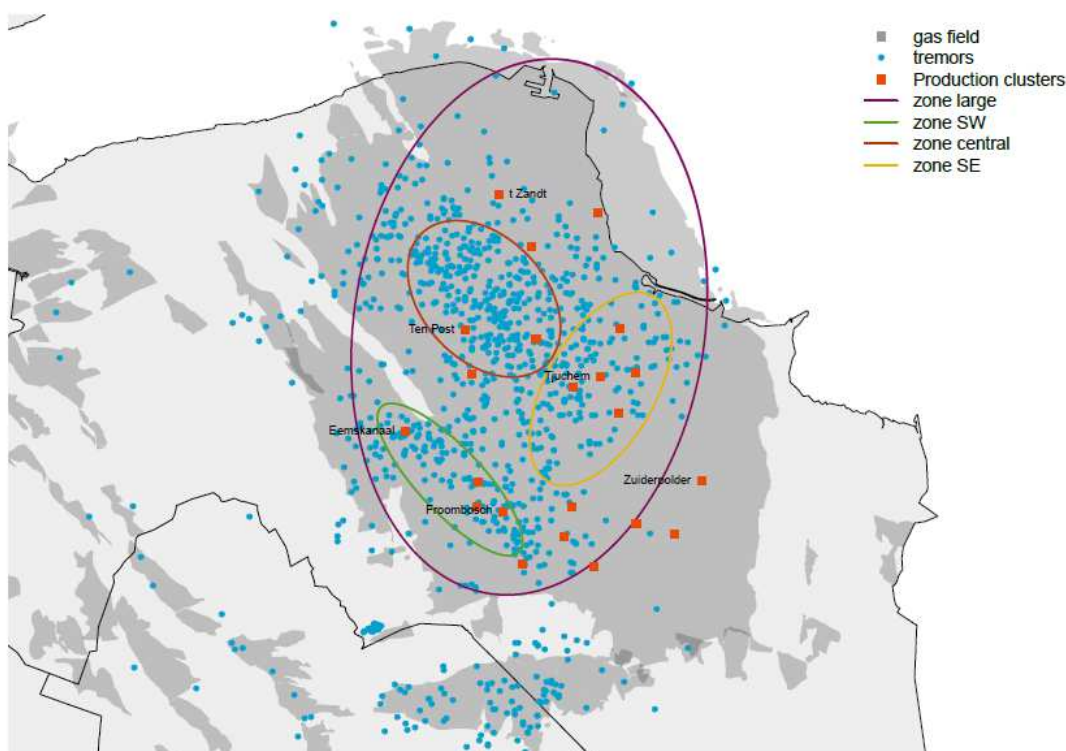
Het effect is ook duidelijk te zien in de stacked crosscorrelaties tussen productie en seismiteit die door TNO zijn berekend (Figuur 4.10). Dat geldt zowel voor de bevingen met magnitude groter of gelijk aan 1.0 als voor de bevingen met een magnitude groter of gelijk aan 1.5. (zie referentie 4.11).

4.4.5 CBS vervolgstudie trendveranderingen aardbevingsdichtheid

Het centrum-gebied en een gebied in het Zuid Westen zijn eerder door CBS onderzocht. In de huidige studie is een nieuw analysegebied toegevoegd, meer ten zuidoosten van het centrum (regio Meedhuizen–Tjuchem–Siddeburen). In de huidige analyse zijn de aardbevingsgegevens tot midden oktober 2015 meegenomen. Samenvattend komt het CBS tot de volgende conclusies:

- De gegevens wijzen in het Zuidoostelijke en Zuidwestelijke gebied met hoge waarschijnlijkheid nog steeds op een (exponentiële) toename van de aardbevingsfrequentie met een verdubbelingstijd van ongeveer 5 ½ jaar
- Het centrum-gebied is een duidelijke uitzondering: daar is de bevingsfrequentie gestabiliseerd (99% confidence level) en waarschijnlijk zelfs afgenomen (95% confidence level)
- 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

Voor gedetailleerde resultaten zie referentie 4.13



Figuur 4.11: De paarse ellips (zone large) is het referentiegebied. De bruine ellips (centraal) en kleinere groene ellips (Zuid-West) zijn ellipsen zoals geanalyseerd in de eerdere CBS-rapporten. Een nieuwe ellips in het Zuid-Oosten rond Tjuchem is geel aangegeven. Aardbevingen (volgens KNMI) zijn blauw. Productieclusters rode blokjes.

4.4.6 CBS-studie naar de mogelijke correlatie tussen gasproductie en seismiciteit

Uit deze verkennende studie van het CBS (referentie 4.14) blijkt dat er een duidelijke correlatie is tussen veranderingen in de gasproductie en seismiciteit. Voorafgaand aan aardbevingen en gepropageerd naar de locatie van die aardbeving is er een hoger dan gemiddeld gasextractiesignaal. De jaarlijkse fluctuatie van de gasextractie is op de bevingslocaties duidelijk zichtbaar. Dat is niet het geval wanneer dezelfde analyse op een verzameling van willekeurige tijdstippen en locaties wordt uitgevoerd. Nauwkeurige analyse van de modulatie maakt aannemelijk dat de waarschijnlijkheid voor het optreden van aardbevingen op een bepaalde locatie binnen enkele maanden reageert op veranderingen in gasproductie die (door diffusie) hebben kunnen propageren naar die locatie.

Deze studie wordt door SodM gezien als een eerste resultaat dat verder geanalyseerd moet worden in samenhang met het stromingsgedrag van gas en de specifieke eigenschappen van het Groningen reservoir met de daarin aanwezige breukstructuren. SodM vindt dat bij verder onderzoek door NAM, TNO en CBS ook aandacht moet worden besteed aan het effect van de eventuele aanwezigheid van een aantal preferentiële stroompaden in het reservoir. Bijvoorbeeld veroorzaakt door de NW-ZO gerichte breukstructuur.

4.5 SodM conclusies seismiciteit

NAM, CBS, TNO en SodM constateren alle dat er een daling heeft plaatsgevonden van het aantal bevingen in de regio Loppersum. NAM onderschrijft slechts in beperkte mate de invloed van seizoen fluctuaties op de seismiciteit. Ook is NAM minder stellig over de veranderingen in de seismiciteit door veranderingen in het niveau en de verdeling van de productie. Er zijn meerdere plausibele verklaringen voor de aanzienlijke verschillen tussen de uitkomsten van de studies van NAM en die van TNO en CBS:

- De door NAM toegepaste analysetechnieken om trendbreuken vast te stellen veronderstellen een homogene ruimtelijke verdeling van de bevingen en een Poisson-verdeling in de tijd. Beide veronderstellingen zijn niet realistisch en blijken een grote invloed te hebben op de door NAM verkregen resultaten. De door CBS en TNO toegepaste analysetechnieken kennen deze beperkingen niet.
- NAM kijkt voornamelijk naar de verschillen in de verdeling van de tijdsintervallen tussen de bevingen in de periodes voor en na de ingreep van januari 2014. Wanneer er een effect is van de productiesnelheid op de seismiciteit (en dus op de inter-event tijden) heeft dit ook al een aanzienlijke invloed vóór 1 januari 2014. Er zijn ook in de jaren vóór 2014 aanzienlijke fluctuaties in productieniveaus en binnen ieder jaar grote seizoensfluctuaties (zie Figuur 4.9). De fluctuaties binnen een gegeven jaar vinden ook nog eens op verschillende tijdstippen plaats afhankelijk van het weer. NAM neemt dit in haar analyses niet mee, waardoor de resultaten volgens SodM niet representatief zijn.

SodM heeft geen redenen te twijfelen aan de uitkomsten van de analyses van de seismiciteit door TNO en CBS en meent te begrijpen wat de achtergronden zijn van de verschillen met de resultaten van NAM. Op basis daarvan komt SodM tot de volgende conclusies ten aanzien van de seismiciteit:

- De seismiciteit is regelbaar door de hoogte en de verdeling van de productie te variëren

- De seismiciteit reageert met een vertraging in de orde van 4-7 maanden op zulke veranderingen
- De seismiciteit in het centrale gebied rond Loppersum is sinds de productie ingreep van januari 2014 gestabiliseerd en met grote mate van zekerheid zelfs afgenomen
- De exponentiële stijging van de seismiciteit in het Zuidwesten en het Zuidoosten van het veld met een verdubbelingstijd van 5,5 jaar, zet door. Dit zijn gebieden met doorgaande productie
- Er is geen duidelijke trend bij het winningscluster Eemskanaal (dicht bij de stad Groningen).
- De regio Appingedam, Meedhuizen, Tjuchem, toont een toename van seismische activiteit, waarschijnlijk gecorreleerd aan de hoge productie in dat gebied.

4.6 SodM conclusies NAM Meet- en regelrapportage

Naar de mening van SodM behoeft de rapportage en de uitvoering van het Meet- en Regelprotocol van NAM nog aanzienlijke verbetering (referentie 4.1):

- Er ontbreekt een duidelijk overzicht van de dichtheid van de bevingen, de actuele grondversnellingen en trillingsniveaus aan funderingen (van gebouwen) die in de verschillende gebieden gemeten zijn.
- De relatie met de productieverdeling ontbreekt.
- De analyses van de monitoring zijn in de NAM-rapportage erg beknopt.
- Het beginsel van “minimaliseren van het seismisch risico” ontbreekt. Doel van de (jaarlijkse) meet- en regelrapportage is immers het geven van een overzicht van alle actuele trends en correlaties om conclusies te kunnen trekken m.b.t. het minimaliseren van de risico's door optimale verdeling van de productie (naast gerichte versterking van gebouwen).
- Er is nog onvoldoende structuur in de technische bijlage bij het Meet- en regelprotocol om het seismisch risico systematisch te beheersen (referentie 4.15).

5. Seismische dreiging en seismisch risico

5.1 Algemeen

NAM heeft nieuwe berekeningen gemaakt van de **seismische dreiging** voor de periode 2016-2021 (5 jaar). Tevens zijn voor deze periode en voor de periode 2016-2018 (2 jaar) berekeningen gemaakt van het **seismisch risico** [referentie 5.1]. De berekeningen zijn geijkt aan de meest recente waarnemingen en gebaseerd op de voortschrijdende inzichten uit het studieprogramma in aanloop naar het winningsplan 2016.

De uitkomsten van de dreigingsberekeningen zijn door SodM voor beoordeling voorgelegd aan dr. W.L. Ellsworth en dr. A.F. McGarr van de Amerikaanse Geologische Dienst (USGS) [referentie 5.2 & 5.3] en prof. dr. S. Wiemer van ETH Zürich, tevens directeur van de Zwitserse Seismologische Dienst (SED) [referentie 5.4].

In de volgende paragrafen wordt nader op de NAM analyses en de beoordelingen daarvan ingegaan.

5.2 Seismische dreiging

5.2.1 Dreigingsanalyse NAM

Ten opzichte van de dreigingsanalyse van NAM in mei 2015 zijn de belangrijkste aanpassingen in de NAM modellen:

- De V2 “ground motion prediction equation” (GMPE), die de beweging bij de bron van de beving vertaalt in de beweging aan het aardoppervlak, houdt nu rekening met het effect van de lokale ondiepe ondergrond en de duur van een beving op de grondversnellingen. In de V1 versie van mei 2015 werd hiervoor nog met gemiddelden gewerkt.
- Voor de grootst mogelijke beving wordt in de berekeningen niet langer uitgegaan van $M_{\max}=6,5^5$, maar van drie scenario's waarin voor M_{\max} 5,0, 5,75 respectievelijk 6,5 wordt aangehouden. Deze scenario's worden als even waarschijnlijk beschouwd.

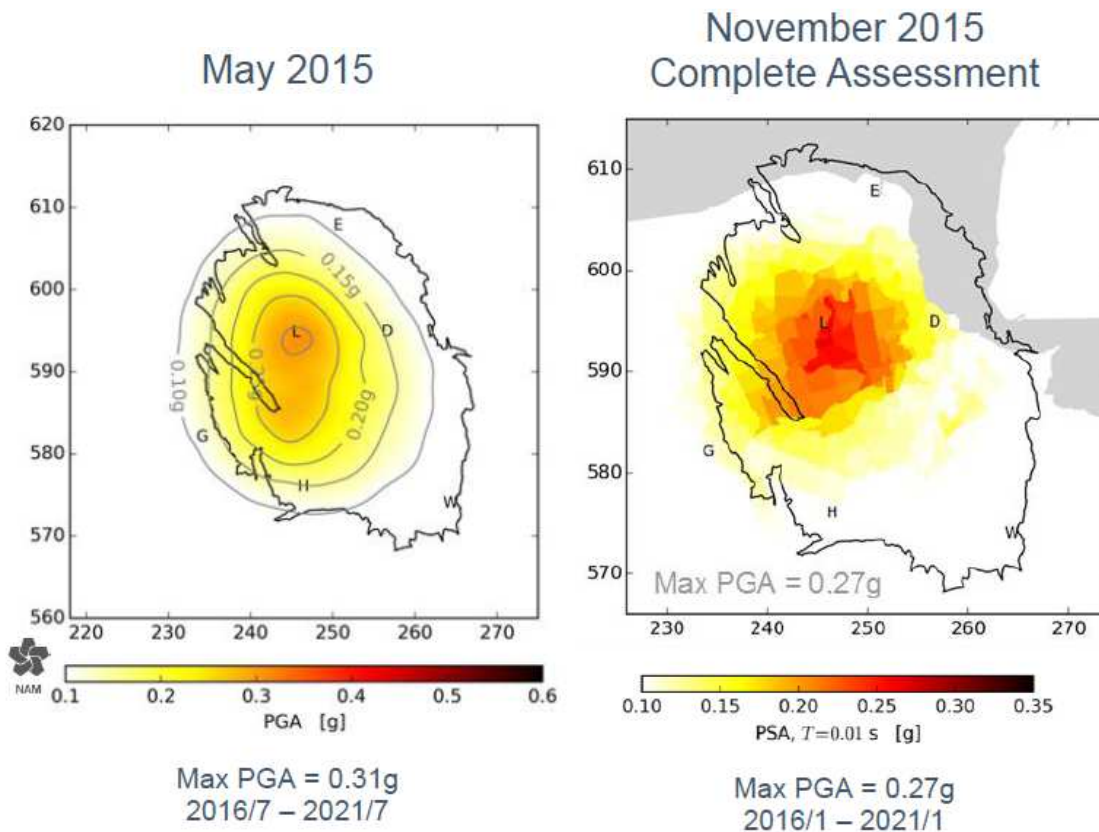
Deze aanpassingen in de modellen leiden in de NAM analyse voor een productiescenario van 33 miljard Nm^3 /jaar voor de periode 2016-2021 tot een aanzienlijke verandering van de seismische dreiging⁶. De over 5 jaar gemiddelde maximale piekgrondversnelling vermindert met 13% van 0,31g naar 0,27g (Figuur 5.1).

De ruimtelijke verdeling van de grondversnellingen wordt in de nieuwe dreigingskaarten van de NAM in sterke mate bepaald door de lokale reactie van de ondiepe ondergrond. De aanwezigheid van zand, klei of veen in de ondiepe ondergrond is bepalend voor of de trillingen van een beving worden gedempt of versterkt (opgeslingerd). Door het meenemen van dit effect wordt de dreiging

⁵ Deze grootst mogelijke beving is bepaald in de onderzoeken in 2013 en komt overeen met het vrijkomen van alle door compactie opgebouwde energie in één beving.

⁶ Gewogen gemiddelde op basis van alle onzekerheden bij een overschrijdingskans van 0,2%/jaar.

in het meest seismisch actieve gebied bij Loppersum verlaagd, maar verandert de dreiging bij Delfzijl en Groningen zo goed als niet ten opzichte van de analyse in mei. Bij Hoogezand-Sappemeer neemt de berekende dreiging met ruim 0,05g af naar onder de 0,1g. Dat heeft te maken met daar aanwezige stevige zandgrond in de ondiepe ondergrond.



Figuur 5.1: Verandering in seismische dreiging tussen de analyse in mei 2015 en de rapportage van november 2015 ten gevolge van de recente aanpassingen van de modellen voor de periode 2016-2021. Let op: de kleurschalen zijn niet identiek.

5.2.2 Commentaar internationale experts

De internationale experts die SodM geraadpleegd heeft zijn van mening dat de studie van NAM over het algemeen van hoogstaand niveau is en grotendeels gebruik maakt van, of vooruitloopt op, de beste wetenschappelijke kennis die beschikbaar is. Daarbij dient opgemerkt dat de kwaliteit, de onafhankelijkheid en het goed in kaart brengen van alle onzekerheden tussen de verschillende onderdelen in de studie verschilt. Eén van de experts stelt dat de gehele methodiek op dit moment, naar zijn mening, nog niet robuust genoeg is om sterke kwantitatieve uitspraken over het dreigings- en risiconiveau te doen.

De experts plaatsen kanttekeningen bij de uitgangspunten voor de modellering van de grondversnellingen voor grotere magnitude bevingen ($M > 4.0$)⁷ in de v2 GMPE relatie [referenties

⁷ De reviewers stellen met name het gebruik van een puntbron en van de afgeleide stress parameter (de mate van stress verlaging op de breuk door de beving) ter discussie.

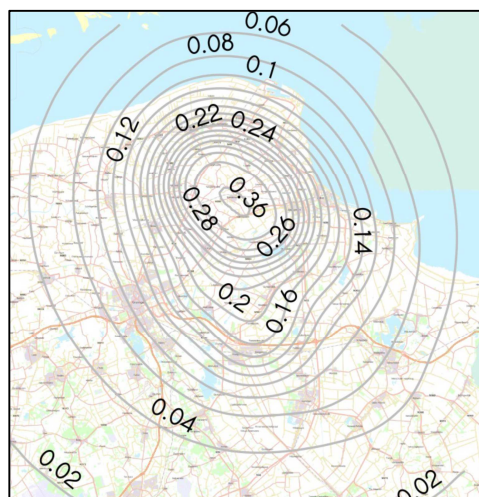
5.2 & 5.4]. Geconstateerd wordt dat deze relatie voor Groningen voor bevingen met grotere magnitude resulteert in veel lagere grondversnellingen dan elders in de wereld voor vergelijkbare bevingen wordt waargenomen, zelfs als daarbij rekening wordt gehouden met de verschillen in lokale bovengrond [referentie 5.2]. De experts vinden het cruciaal dat begrepen wordt waar deze grote verschillen vandaan komen. Daarnaast zijn de experts van mening dat alternatieve modellen voor het bronsignaal van de beving meegenomen moeten worden [referentie 5.3]. Deze constatering zou kunnen betekenen dat de dreiging en daarmee het risico op dit moment onderschat wordt.

De experts zijn het erover eens dat de scenario aanpak voor de maximale magnitude een goede weergave geeft van de huidige onzekerheid in deze parameter [referenties 5.2 & 5.4]. Zij wijzen erop dat de seismisch actieve breuken doorlopen in het onderliggende gesteente uit het Carboon en waarschuwen ervoor dat deze delen van de breuken - ondanks dat de bevingen op dit moment grotendeels in het reservoir plaatsvinden - mee kunnen bewegen, waardoor ook sterke bevingen niet uitgesloten kunnen worden [referentie 5.2].

Hoewel het seismologisch model van NAM zeer innovatief is, merken de experts op dat het model slechts een van een aantal mogelijke modellen is. In de literatuur zijn verschillende alternatieve relaties tussen veranderingen in de ondergrond en het optreden van bevingen beschreven. Deze modellen zouden de waargenomen seismiciteit mogelijk even goed kunnen beschrijven, maar met aanzienlijk andere voorspellingen naar de toekomst en een andere reactie op productiefuctuaties [referentie 5.4]. Stress en stressveranderingen op de breuken kunnen hierbij een grote rol spelen, volgens de experts [referentie 5.2 & 5.4]. Meer onderzoek op het gebied van deze alternatieve modellen en een formele, onafhankelijke toetsing van de voorspellende waarde van de modellen is belangrijk in de validatie en verbetering van de modellen [referentie 5.4].

5.2.3 KNMI dreigingsanalyse vs. de NAM analyse

De KNMI dreigingskaart van 16 oktober 2015 (Figuur 5.2; referentie 5.5) is gebaseerd op de statistiek van opgetreden aardbevingen, een methode die in de aardbevingswereld gebruikelijk is. In de analyse van NAM wordt voor de berekening van de seismische dreiging en het seismisch risico een methode gebruikt die rekening houdt met de respons van de gasvoerende gesteentelagen op veranderingen in het productieniveau (compactie) en de reactie van de ondiepe ondergrond op trillingen (opslingering en damping). De statistisch bepaalde dreigingskaart geeft over het algemeen hogere waarden voor de dreiging dan de productie/compactie gedreven dreigingskaart. De kaart is echter zeer vergelijkbaar met de kaart uit de mei analyse van NAM, welke op dezelfde relatie tussen de bron van de beving en de beweging aan het aardoppervlak (v1 GMPE) is gebaseerd.



Figuur 5.2: KNMI dreigingskaart van 16 oktober 2015 op basis van het v1 GMPE model, een maximale magnitude van 5,0 en het aantal bevingen en de verdeling van de bevingen op basis van het gemiddelde over de afgelopen 5 jaar.

5.3 SodM conclusie dreigingsanalyse

De dreigingsanalyse van de NAM wordt steeds geavanceerder en daarmee gecompliceerder. SodM sluit zich aan bij de mening van de internationale experts dat het werk over het algemeen van hoogstaande, wetenschappelijke kwaliteit is. SodM heeft echter ook kennis genomen van de kanttekeningen die de experts bij de verschillende onderdelen van de methodiek plaatsen.

SodM heeft geen reden om te twijfelen aan de expertise van de experts en neemt de kanttekeningen van hen over. SodM komt daardoor tot de volgende conclusies:

- Vanwege de uitgangspunten van het v2 GMPE model voor de extrapolatie naar zwaardere, niet waargenomen bevingen zou de door de NAM gepresenteerde seismische dreiging en daarmee het risico mogelijk een onderschatting kunnen zijn van de daadwerkelijke seismische dreiging en risico.
- Het niveau voor de seismische dreiging is in het gebied rond Loppersum lager dan in mei verondersteld. Het niveau van de dreiging bij de stad Groningen en Delfzijl is vrijwel niet afgenomen ten opzichte van de analyse van NAM in mei 2015. Het implementeren van de lokale reactie van de ondergrond op de grondversnellingen is bepalend voor de ruimtelijke verdeling en het niveau van de seismische dreiging.
- Op verschillende onderdelen kan de methodiek van NAM worden uitgebreid met meer onderzoek op het gebied van alternatieve modellen en formele, onafhankelijke toetsing van de voorspellende waarde van de modellen. Dit is cruciaal in de validatie en verbetering van de modellen.

5.4 Seismisch risico

5.4.1 Seismisch risicoanalyse NAM

In het “Hazard and Risk assessment” rapport [referentie 5.1] heeft NAM voor het eerst het overlijdensrisico ten gevolge van het instorten van gebouwen kwantitatief in kaart gebracht. In de rapportage van mei was dit nog slechts kwalitatief. Belangrijkste aanpassing aan de modellen sinds de kwalitatieve risicoanalyse van mei 2015 is:

- De NAM-modellen voor de kwetsbaarheid van de bebouwing in Groningen voor groundbewegingen zijn geijkt aan laboratoriumproeven op muurdelen en een nagebouwd Gronings huis. Ook is de interactie tussen de bodem en het gebouw in de verbeterde kwetsbaarheidscurves verwerkt.

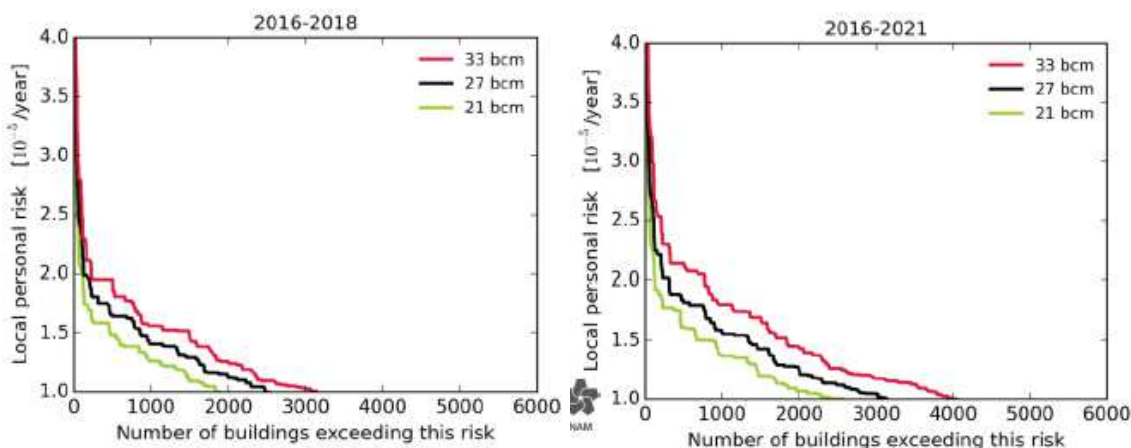
Naast het risico op overlijden door het instorten van gebouwen heeft NAM in haar rapport ook aandacht besteed aan het risico door vallende objecten zoals schoorstenen, geveldelen, borstweringen, balustrades, etc., industrie en aan risico's voor infrastructuur [referentie 5.1].

De door NAM gehanteerde risicomaat is het plaatsgebonden risico, waarbij voor de vallende objecten rekening gehouden is met het aantal mensen dat mogelijk aan het risico worden blootgesteld. Daarnaast is het groepsrisico door NAM bepaald. In de volgende paragrafen wordt daar nader op ingegaan.

5.4.1.1 NAM analyse overlijdensrisico ten gevolge van het instorten van gebouwen

De risicoberekeningen van NAM zijn uitgevoerd voor alle ongeveer 150.000 gebouwen⁸ waarin mensen regelmatig verblijven. Schuren, bijgebouwen, etc. waarin individuen zich slechts heel beperkt ophouden (ongeveer 110.000) zijn van de analyse uitgesloten. Ook gebouwen die ook zonder aardbevingen al ver onder de bouwnorm vallen zijn buiten de analyse gelaten. Om hoeveel gebouwen dit gaat en wat het risico voor de inwoners is, heeft NAM niet geadresseerd. NAM verwacht dat deze gebouwen reeds via het schadetraject en inspecties gevonden zijn.

Uit de analyse van NAM komt naar voren dat er de komende jaren geen gebouwen zijn waarvan de verwachtingswaarde voor het risico van een individu groter is dan 10^{-4} /jaar. Bij een gelijkblijvende productie van 33 mld Nm³/jaar stijgt het aantal gebouwen met een risico groter dan 10^{-5} /jaar van iets meer dan 3000 (15.000 inwoners) in de periode 2016-2018 naar ongeveer 4000 (17.500 inwoners) voor de gehele periode 2016-2021 (Figuur 5.3).



Figuur 5.3: Het aantal gebouwen waarvan het risico de norm van 10^{-5} /jaar overstijgt. Links: 2016-2018, rechts: 2016-2021.

De ruimtelijke verdeling van deze gebouwen over het aardbevingsgebied wordt gegeven in Figuur 5.4.

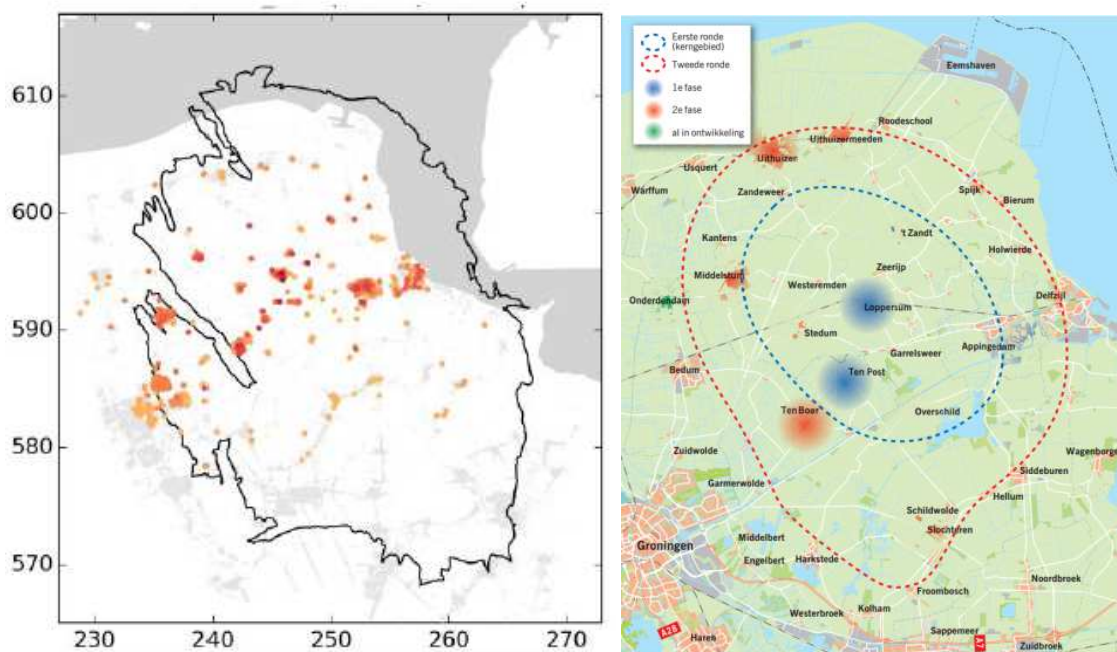
5.4.1.2 Mogelijke implicaties voor prioritering versterkingsprogramma

SodM vindt het grote aantal gebouwen met een risico hoger dan 10^{-5} /jaar in Bedum, Appingedam, Delfzijl en de stad Groningen opvallend. Deze vallen buiten het prioritaire “kerngebied” (fase 1) van het versterkingsprogramma van de Nationaal Coördinator Groningen (NCG) (Figuur 5.4; referentie 5.6). Een deel van deze gebouwen, vooral in Bedum, in de stad Groningen en in delen van Delfzijl, liggen eveneens buiten het fase 2 prioritaire gebied.

De NCG baseert zijn versterkingsprogramma op dit moment op de dreigingkaarten van het KNMI van 16 oktober 2015 [referentie 5.5] en gaat daarbij uit van de 0,3g en 0,2g contouren. In deze dreigingskaart is echter nog geen rekening gehouden met de lokale reactie van de ondergrond (zie ook paragraaf 5.2.3). Daarnaast speelt de kwetsbaarheid van de gebouwen een belangrijke rol bij de bepaling van het daadwerkelijke overlijdensrisico waaraan mensen worden blootgesteld.

⁸ Een appartementencomplex wordt in de analyse meegenomen als één gebouw, maar kan vele adressen bevatten.

Op basis van de NAM risicoanalyse zouden de versterkingsgebieden geoptimaliseerd kunnen worden.



Figuur 5.4: Links de NAM kaart met de ruimtelijke verdeling van de gebouwen met een berekend risico (2016-2021) tussen de 10^{-5} /jaar en 10^{-4} /jaar en rechts de kaart met de contouren van het programma van de NCG met “Werken van binnen naar buiten” als basis van de versterkingsstrategie, waarbij het prioritaire “kernegebied” (fase 1) valt binnen de 0,3g contour van de KNMI dreigingskaart en prioritaire gebied in fase 2 binnen de 0,2g contour van de KNMI dreigingskaart.

5.4.1.3 NAM risicoanalyse vallende objecten

Naast het risico door het instorten van huizen vormen ook niet-structurele elementen, zoals schoorstenen, geveldelen en balustrades, een potentieel risico voor de inwoners van Groningen. Met behulp van Google Streetview heeft NAM op dit moment 110.000 mogelijk bedreigende elementen geïdentificeerd. Op basis van ervaringen in het buitenland – met name Christchurch in Nieuw Zeeland – komt NAM tot de conclusie dat het risico ten gevolge van bakstenen elementen hoger is dan dat van andere elementen, waarbij oudere bakstenen elementen weer duidelijk kwetsbaarder zijn dan moderne elementen.

In de bepaling van het risico dat deze elementen vormen is de mogelijke aanwezigheid van mensen meegenomen (zoals in een drukke winkelstraat, objecten boven een buitendeur of objecten die door een dak kunnen vallen en iemand in een pand kunnen raken). Het risico van deze elementen is 2-4 keer hoger dan het risico van elementen in bijvoorbeeld een rustige straat. NAM schat in dat een paar duizend elementen versterkt zullen moeten worden om het risico ten gevolge van vallende objecten te mitigeren⁹.

⁹ In de versterkingsscenario's [p. 125 uit 5.1] gaat NAM uit van 4000 elementen.

5.4.1.4 NAM risicoanalyse Industrie & infrastructuur

Uit de rapportage van NAM blijkt, dat studies inzake het veiligheidsrisico voor industriële objecten nog niet zijn afgerond. Op z'n vroegst wordt aan het einde van het eerste kwartaal 2016 duidelijkheid verkregen over de resultaten voor het chemiepark Delfzijl.

5.4.1.5 NAM analyse groepsrisico

Op 30 november 2015 heeft NAM berekeningen voor het groepsrisico gerapporteerd [referentie 5.7]. NAM heeft het groepsrisico gedefinieerd als de kans op 1, 10 of 100 of meer slachtoffers in één aardbeving. De NAM rapporteert de hoogste waarde in de regio Groningen voor deze kansen. Tevens laat NAM zien dat de gekozen productiescenario's weinig invloed hebben op deze hoogste waarden. NAM stelt dat zij niet in staat is geweest om de berekeningen voor de versterkingsprogramma's te maken en concludeert dat aandacht besteed moet worden aan de optimalisering van de versterkingsprogramma's daar de prioritering hierin op basis van het groepsrisico wellicht afwijkt van hetgeen optimaal is voor de minimalisering van het individuele risico.

5.5 SodM conclusies seismisch risicoanalyse

SodM constateert dat de NAM analyse voor het overlijdensrisico ten gevolge van het instorten van gebouwen is uitgevoerd volgens de methodiek zoals door SodM geadviseerd in haar advies over het winningsplan 2013 in december 2013. Voor de analyse van de vallende objecten is naar de mening van SodM een eenvoudiger, maar effectieve aanpak gevolgd.

Ten aanzien van de industriële installaties concludeert SodM:

- Studies inzake het veiligheidsrisico voor industriële objecten en infrastructuur zijn nog niet afgerond. Op z'n vroegst wordt aan het einde van het eerste kwartaal 2016 duidelijkheid verkregen over de resultaten voor het chemiepark Delfzijl.

Ten aanzien van het versterkingsprogramma van de NCG concludeert SodM:

- In de prioriteitstelling van de NCG in het concept meerjarenprogramma van 4 november 2015 wordt (nog) geen rekening gehouden met de veranderde verdeling van de seismische dreiging en het seismisch risico ten gevolge van de reactie van de ondiepe ondergrond op trillingen (opslingering/damping). Hierdoor vallen grote aantallen gebouwen in Bedum, Groningen stad en delen van Delfzijl met een berekend risico hoger dan 10^{-5} /jaar buiten het door de NCG gedefinieerde "verstevigingsgebied".

5.5.1 Toetsing aan de norm

Zoals in paragraaf 2 aangegeven adviseert de commissie Meijdam in haar tweede advies "Omgaan met hazard- en risicoberekeningen in het belang van handelingsperspectief voor Groningen" voor alle bouwwerken – zowel nieuwbouw als bestaande bouw – een veiligheidsnorm voor het objectgebonden individueel risico van 10^{-5} /jaar. Voor bestaande bouw is volgens de commissie een niveau tussen 10^{-4} en 10^{-5} tijdelijk aanvaardbaar. De Minister van Economische Zaken heeft in de Kamerbrief van 3 november 2015 aangegeven deze normen over te nemen, maar de termijn

waarbinnen gebouwen op niveau (10^{-5} /jaar) gebracht moeten zijn in overleg met de NCG nader te zullen vaststellen.

Op basis van de normstelling en de seismisch risicoanalyse van NAM concludeert SodM:

- Uit de risicoberekeningen van NAM volgt dat – zonder maatregelen – ongeveer 4.000 à 5.000 gebouwen in 2021 een risiconiveau hebben dat niet aan de norm van 10^{-5} /jaar voldoet. Deze gebouwen zullen met voorrang moeten worden verstevigd om binnen de nog vast te stellen termijn te voldoen.
- Daarnaast zijn er enkele duizenden niet-structurele elementen die moeten worden versterkt om de specifieke risico's daarvan te mitigeren.

Daarbij merkt SodM op dat:

- Bijna 110.000 schuren en bijgebouwen geen onderdeel uitmaken van de analyse.
- Ook gebouwen die zonder aardbevingen al ver onder de bouwnorm vallen, buiten de analyse gelaten zijn. Het is mogelijk dat deze gebouwen een aanzienlijk hoger risico hebben dan de gebouwen in de onderhavige analyse.
- Appartementencomplexen in de analyse meegenomen worden als één gebouw, maar vele adressen/wooneenheden kunnen bevatten.

5.5.2 SodM conclusies groepsrisico

In het Kamerdebat over de gaswinning van 1 juli 2015 heeft de Minister van Economische Zaken aan de Tweede Kamer toegezegd dat SodM en de commissie Meijdam in gesprek zouden gaan over hun standpunten ten aanzien van het groepsrisico. Daarnaast is door de Kamer een motie aangenomen die de regering verzoekt *“SodM in overleg met risico experts van de NAM voor november tot een goede methode voor risicovergelijking te komen en daarbij ook de mogelijkheid en betekenis van berekening van het groepsrisico in beeld te brengen”*. In navolging hiervan heeft SodM meerdere gesprekken met betrokken partijen gevoerd en in samenwerking met de commissie Meijdam drie expertbijeenkomsten georganiseerd.

Zoals in paragraaf 5.5.1 aangegeven, adviseert de commissie Meijdam een norm op basis van het individueel risico en is deze norm door de minister gedeeltelijk overgenomen¹⁰. Met het definiëren van dit basisveiligheidsniveau is echter niet automatisch gegarandeerd dat ook de gevolgen tot een acceptabel niveau teruggebracht zijn.

Op basis van een berekening van de kans dat grotere aantallen mensen in een specifiek gebied tegelijkertijd het slachtoffer worden van een aardbeving kan worden bepaald of aanvullende veiligheidsmaatregelen noodzakelijk zijn. In de expert meetings is de door de commissie Meijdam gepresenteerde technische methodiek om te komen tot een basisdataset waarmee afwegingen gemaakt kunnen worden tussen locaties met de grootste risico's en aanvullende veiligheidsmaatregelen naar voren gebracht [referentie 5.8]. SodM onderschrijft deze methodiek voor het *maatschappelijk risico* en constateert dat deze in de basis overeenkomt met de risicomethodiek van de NAM.

¹⁰ De minister heeft nog geen uitspraak gedaan over termijn waarbinnen voor alle inwoners aan de norm van 10^{-5} /jaar voldaan moet zijn.

In de daadwerkelijke uitvoering zijn echter door de korte termijn tussen het advies van de commissie en de aanvullende brief van NAM [referentie 5.7] verschillen ontstaan. Hierdoor geven de door NAM aangeleverde gegevens wel informatie over de effectiviteit van de maatregelen op de hoogste kans op grotere aantallen slachtoffers in één aardbeving, maar geven deze *geen* inzicht in de locaties wáár deze risico's het grootst zijn. Evenmin wordt inzicht verkregen in de effectiviteit van de maatregelen op de kansen in de rest van het gebied en waar dus eventueel aanvullende maatregelen of andere prioritering van de versterkingsopgave overwogen zouden moeten worden.

Ten aanzien van het maatschappelijk risico concludeert SodM:

- De huidige groepsrisico berekeningen van NAM geven geen inzicht in de locaties boven het Groningen gasveld waar de kans op grotere groepen slachtoffers het grootst is, noch in de effectiviteit van maatregelen om deze risico's gericht te voorkomen, te beperken of te mitigeren.
- SodM onderschrijft de Monte Carlo-methodiek, zoals gepresenteerd door de commissie Meijdam in haar tweede advies, om te komen tot een basisdataset waarmee afwegingen gemaakt kunnen worden tussen locaties met de grootste risico's en aanvullende veiligheidsmaatregelen.
- De door de commissie Meijdam geadviseerde Monte Carlo techniek om gebieden met een hogere kans op grotere aantallen slachtoffers te identificeren is uitvoerbaar binnen de risicomethodiek van de NAM.

5.6 Aard en omvang van schade

Op dit moment ligt alle nadruk in de rapporten van NAM en bij de normontwikkeling door de commissie Meijdam op het gebied van het overlijdensrisico. SodM vindt het belangrijk om, in aanloop naar het winningsplan 2016, aandacht te vragen voor de brede interpretatie van het begrip veiligheid in de Mijnbouwwet. Daarin is sprake van aard en omvang van de mogelijke schade aan gebouwen, mensen en infrastructuur, inclusief de (niet) structurele schade waaraan geen of slechts een heel beperkt overlijdensrisico verbonden is. In lijn met de andere risico's in de mijnbouwindustrie dient ook deze schade in beeld te komen en zover als redelijkerwijs mogelijk is te worden beperkt (zie Mijnbouwbesluit, artikel 24, 1^e lid onder s). Te allen tijde dienen incidenten met grote impact, ook zonder slachtoffers, vermeden te worden.

Ten aanzien van de aard en omvang van de schade concludeert SodM:

- De analyse van het seismisch risico van NAM gaat vooral over de veiligheid: de kans dat mensen gevaar lopen door het bezwijken van woningen. Het aspect "schade aan gebouwen" (scheuren e.d.) blijft in deze seismisch risicoanalyse buiten beeld. De mijnbouwwet geeft echter aan dat er ook maatregelen moeten worden genomen om schade aan gebouwen te beperken of te voorkómen.

6. Maatregelen om het seismisch risico te beperken

6.1 Algemeen

Om het seismisch risico binnen de door de Minister overgenomen¹¹ norm van 10^{-5} /jaar te brengen en te houden kunnen zowel maatregelen aan de oorzakelijke kant als maatregelen om de gevolgen te beperken worden genomen. Deze maatregelen zijn:

- Productiebeperkingen
- Versterkingsprogramma
- Drukhandhaving
- Omkering gassysteem

De Minister heeft NAM gevraagd te onderzoeken bij welke toekomstige combinatie(s) van gaswinningsniveau en programma van preventieve versterking de veiligheidsrisico's maatschappelijk aanvaardbaar zijn¹². NAM heeft dit in het "Hazard and Risk Assessment"-rapport [referentie 5.1] op basis van een aantal scenario's voor de eerste twee opties uitgewerkt. In een aparte notitie gaat NAM daarnaast in op de omkering van het gassysteem. In de volgende paragrafen wordt de effectiviteit van de verschillende maatregelen, zoals door NAM gepresenteerd, besproken.

6.2 Effectiviteit

6.2.1 Productiebeperkingen

NAM heeft de risicoberekeningen uitgevoerd voor drie verschillende productiescenario's: 33, 27 en 21 miljard Nm^3 per jaar. De reductie van de productie is gerealiseerd binnen de operationele beperkingen van het huidige gassysteem¹³. Hierdoor is het volgens NAM alleen mogelijk de productie in de regio Oost te laten variëren en is er weinig ruimte om de productiebeperking risico-gestuurd te realiseren¹⁴. Door de productiereductie te realiseren in de regio Oost vindt deze beperking voornamelijk plaats buiten het gebied met de hoogste seismische risico's.

Dit is terug te zien in het beperkte effect dat de productieaanpassing heeft op de door NAM berekende seismische risico's (Figuur 5.3 en Figuur 6.1): het aantal te versterken gebouwen voor de periode 2016-2021 (gebouwen met een risico boven de 10^{-5} /jaar) vermindert van 4.000 bij 33 miljard Nm^3 /jaar naar 3.000 bij een productie van 27 miljard Nm^3 /jaar en 2.500 bij een productie

¹¹ Zie kamerbrief betreffende Tweede advies van de commissie Meijdam van 3 november 2015

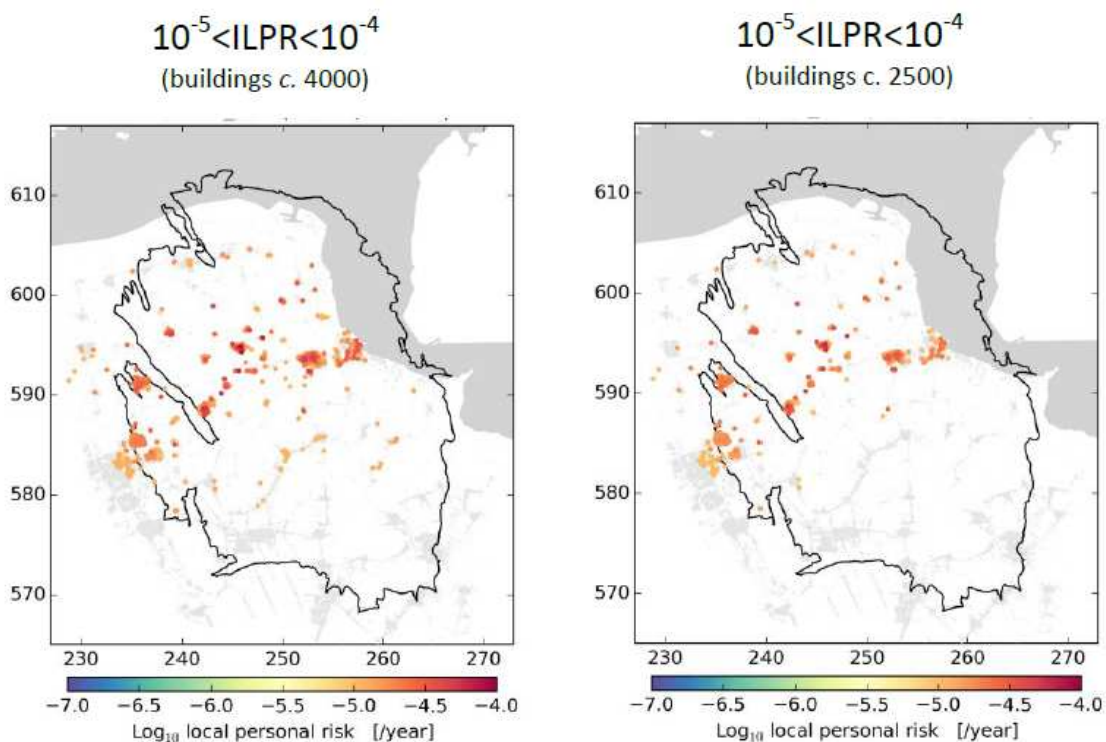
¹² Zie Kamerbrief 33529 dd. 23 juni 2015.

¹³ Binnen het huidige gassysteem wordt de gasopslag Norg in de zomer gevuld vanuit de zuidwestelijke clusters. Hiervoor is 7 miljard Nm^3 /jaar nodig. NAM is er daarnaast van uitgegaan dat de huidige regionale beperkingen op de productie gehandhaafd blijven [p. 39 uit referentie 5.1].

¹⁴ p. 39 uit : The East clusters will be used to produce the remainder of the allowed volumes under the total field cap.

van 21 miljard Nm^3/jaar (Figuur 5.3). De vermindering in het aantal gebouwen met een risico boven de $10^{-5}/\text{jaar}$ wordt met name gerealiseerd in de gemeenten Appingedam en Delfzijl (Figuur 6.1). In de regio's Loppersum, Bedum en Groningen stad heeft de beperking van de productie in de analyse van NAM een minimaal effect.

Na 2021 zijn de zuidwestelijke clusters volgens NAM niet langer in staat om de benodigde volumina te leveren en wordt deze vermindering opgevangen door de oostelijke regio (waardoor de productie daar weer toeneemt). Hoe dit binnen het huidige gassysteem geacommodeerd zal gaan worden of dat dit een aanpassing van het systeem impliceert, wordt door NAM niet benoemd.



Figuur 6.1: Het voor de periode 2016-2021 gemiddelde risico voor gebouwen binnen de bandbreedte $10^{-5} < \text{risico} < 10^{-4}$. Links: 33 miljard Nm^3 , zonder versterkingen. Rechts: 21 miljard Nm^3 , zonder versterkingen. Het berekende aantal te versterken gebouwen daalt van ca. 4000 naar ca. 2500.

6.2.2 Versterkingsprogramma

In de risicoberekeningen heeft NAM de invloed van versterkingsmaatregelen aan 5.000, 10.000 en 20.000 gebouwen doorgerekend. Hierbij is NAM er van uitgegaan dat een versterkingsmaatregel ervoor zorgt dat het risico van inwoners van een gebouw met een factor 10 verbetert¹⁵. Tevens is in de scenario's uitgegaan van toenemende uitvoeringscapaciteit¹⁶ en is er rekening gehouden met

¹⁵ NAM mededeling tijdens workshop 4/5 november 2015.

¹⁶ Het is de vraag of dit realistisch is; de planning voor 2015 moest aanzienlijk naar beneden worden bijgesteld (Kamerbrief, 33529, nr. 204)

de beperkingen op het werkvolume dat per dorp per jaar kan worden uitgevoerd. Na implementatie van alle drie de versterkingsscenario's wordt in de berekeningen in 2021 aan een norm van 10^{-5} /jaar voldaan.

Of het voorgestelde versterkingsprogramma daadwerkelijk haalbaar is hangt mede af van de efficiëntie waarmee de gebouwen die nu niet aan deze norm voldoen kunnen worden geïdentificeerd. Hiervoor zijn volgens SodM een aantal redenen:

- De huidige risicoberekening van de NAM is gebaseerd op een inschatting van in de regio aanwezige gebouwtypen¹⁷ en hun gemiddelde kwetsbaarheid¹⁸. Dit geeft een beeld van de hoeveelheid en soort gebouwen die versterkt dient te worden, maar niet op welke adressen deze zich bevinden. De NCG stelt dan ook dat elk huis individueel geïnspecteerd zal moeten worden, per pand het gebouwtype vastgesteld zal moeten worden en de specifieke kwetsbaarheid zal moeten worden ingeschat.
- De variatie van de kwetsbaarheid van gebouwen binnen een bepaald gebouwtype wordt door experts als groot ingeschat. De kwaliteit van metselwerk en daadwerkelijke wanddikten variëren en regelmatig zijn er later aanpassingen aan de constructie gemaakt. Het is voor SodM onduidelijk of het model dit adequaat meeneemt.
- Bij inspecties is gebleken dat gebouwen lang niet altijd gebouwd zijn met de materialen die op de bouwtekeningen zijn aangegeven.

De daadwerkelijke versterkingsopgave kan naar de mening van SodM daarom een veelvoud van de berekende 4.000 huizen worden. Tenslotte moet de reductie van het risico met een factor 10 ook daadwerkelijk in de praktijk gehaald gaan worden. Of dit realistisch is, of met welke maatregelen dit bereikt kan worden, wordt door NAM niet aangegeven.

6.2.3 Drukhandhaving

In het "Hazard and Risk assessment"-rapport wordt drukhandhaving door NAM niet als mogelijkheid om de seismiteit te mitigeren naar voren gebracht. Deze preventieve maatregel aan de oorzakelijke kant maakt echter wel onderdeel uit van het studie- en acquisitieplan van de NAM en zal volgens NAM in het winningsplan-2016 nader aan de orde komen.

6.2.4 Omkering gassysteem

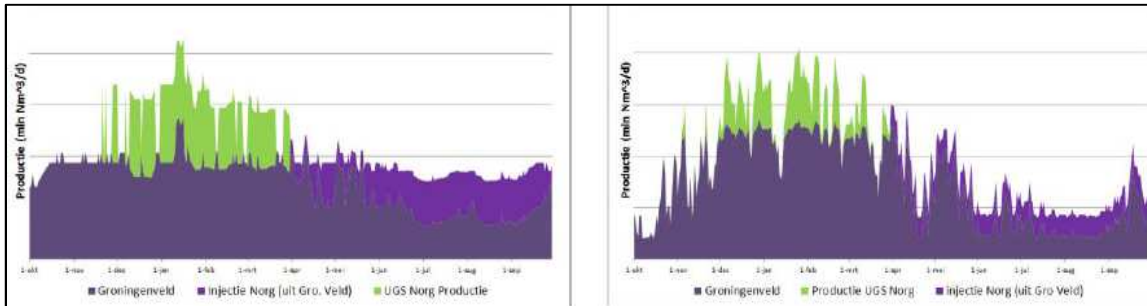
Op verzoek van de minister van Economische Zaken¹⁹ heeft NAM onderzoek gedaan naar de effecten op de seismiteit van een andere benadering van de gaswinning, waarbij uitgegaan wordt van een maximale inzet van geconverteerd hoogcalorisch gas, aan te vullen met Groningengas. Hierdoor ontstaat een vermindering van de gewonnen hoeveelheid, gekoppeld aan een sterk variabel winningsprofiel (Figuur 6.2). De minister van Economische Zaken heeft NAM

¹⁷ p. 102 referentie 5.1: Inference rules lead to a probability that the building belongs to a certain typology. For example, a 40% probability of a ..., 30% ..., and 30%

¹⁸ p. 88 referentie 5.1: To be able to assess the fragility of the complete building stock in the region, all buildings in the area were categorized into 65 building typologies, each typology having a specific resistance to earthquake-induced accelerations and specific usage and occupancy characteristics.

¹⁹ Zie Kamerbrief 33529 dd. 23 juni 2015.

gevraagd nader onderzoek te doen naar de relatie tussen gasproductie en seismiciteit op kortere tijdschalen.



Figuur 6.2: Het Groningen productieprofiel inclusief de injectie en productie uit de gasopslag Norg voor het huidige gassysteem (links) en na omkering van het gassysteem (rechts). Het donker gekleurde gedeelte van de grafiek laat de productie uit het Groningenveld zien, inclusief de injectie in het Norg gasveld.

Aan SodM heeft de Minister advies gevraagd over de mogelijke gevolgen van de uitkomsten van dit onderzoek voor zijn besluitvorming. Hiervoor heeft SodM aan TNO gevraagd om een evaluatie van de thans beschikbare kennis, inclusief de resultaten van het recente werk uitgevoerd door NAM, Shell Research en ExxonMobil Upstream Research en het recente onderzoek dat (op verzoek van SodM) onafhankelijk daarvan is verricht door CBS en TNO.

Op dit moment zijn de voorlopige resultaten van de diverse onderzoeken slechts indicatief.

Deelstudies: Invloed seizoensfluctuaties

In het huidige productieprofiel wordt in de wintermaanden meer gas gewonnen dan in de zomermaanden. In haar studie [referentie 4.6] concludeert NAM dat seizoeneffecten in de productie duidelijk te zien zijn bij bevingen met een sterkte $M < 1,5$. Voor bevingen met een sterkte $M > 1,5$ kan dit statistisch op basis van alleen de bevingenactiviteit volgens NAM nog niet overtuigend worden aangetoond.

TNO [referentie 4.11] heeft de effecten van seizoenvariëaties in de gasproductie op het aantal bevingen geanalyseerd op basis van autocorrelatie (zie ook paragraaf 4.4.4). TNO concludeert op basis van de correlatie tussen de seismiciteit en de productie dat de seizoenfluctuaties in de productie met een vertraging van 5-7 maanden gereflecteerd worden in seismiciteit, ook voor $M \geq 1,5$.

CBS heeft de drukonttrekking op de locaties van de aardbevingen in Groningen onderzocht [referentie 4.14]. Daarvoor heeft CBS een relatief eenvoudig analytisch model ontwikkeld waarmee de verplaatsing van seizoen-gerelateerde drukgolven in het veld in benadering kan worden berekend. De resultaten laten zien dat een beving meestal plaatsvindt binnen enkele weken na het arriveren van een seizoen-druk golf op de locatie van de beving. Ook blijken de drukfluctuaties door variërende productie op de locaties waar bevingen hebben plaatsgevonden systematisch hoger te zijn dan op willekeurige locaties in het veld. Volgens CBS is dat een duidelijke aanwijzing voor een causaal verband tussen de snelheid van gasproductie en het optreden van bevingen met een reactietijd in de orde van enkele weken. De resultaten van de

CBS-studie tonen een hogere correlatie indien niet de gasproductie, maar de horizontale drukgradiënt ter plaatse van bevingen in de analyse wordt betrokken als 'drijvende kracht'.

Deelstudie: Geïnduceerde seismiciteit bij stuwmeren

Het vullen en variëren van het waterniveau in stuwmeren kan eveneens bevingen induceren [referentie 5.9]. Vooral in slecht permeabel gesteente kan de druk ten gevolge van het waterniveau zich slecht verspreiden waardoor het systeem gevoeliger wordt voor het reactiveren van breuken. Dit wordt bevestigd door laboratoriumstudies, waarbij ook naar voren komt dat gesteente dat door compactie slechter doorlatend wordt, meer seismiciteit veroorzaakt.

Deelstudie: Effect van snelle productiewisselingen

NAM heeft onderzocht hoeveel effect snelle productiewisselingen (variaties binnen 1 dag) hebben op de drukveranderingen in het reservoir [referentie 5.10 & 5.11]. De simulaties laten zien dat deze drukvariaties in het reservoir heel snel uit dempen. Alleen in de directe omgeving van de put kan een kleine drukopbouw op eventueel aanwezige breukvlakken ontstaan. Binnen enkele honderden meters vanaf het productiecluster worden de drukfluctuaties zeer klein in verhouding tot de globale drukdaling in het veld. TNO onderschrijft de conclusies van NAM en van ExxonMobil URC, waar het gaat om zeer korte (intra-dag) productiefluctuaties.

Deelstudie: Self-Organised Criticality

In deze theorie is het ontstaan van zwaardere bevingen mede afhankelijk van de snelheid waarmee het systeem wordt belast. Bij een lage snelheid zullen er met name kleine bevingen ontstaan. Boven een kritische snelheid zal het systeem disproportioneel veel zwaardere bevingen geven²⁰. Een a-seismisch relaxatie-effect zou passen binnen het kader van de theorie van Self Organised Criticality (SOC). ExxonMobil URC heeft in [referentie 5.12] de toepasbaarheid van SOC besproken en geeft aan, dat SOC - of een verwante theorie - verder onderzocht zou moeten worden.

TNO ondersteunt die uitspraak en ziet in een op SOC gebaseerde benadering een kandidaat voor een alternatief seismologisch model, met potentieel grote impact op de berekening van de seismische hazard en het seismisch risico.

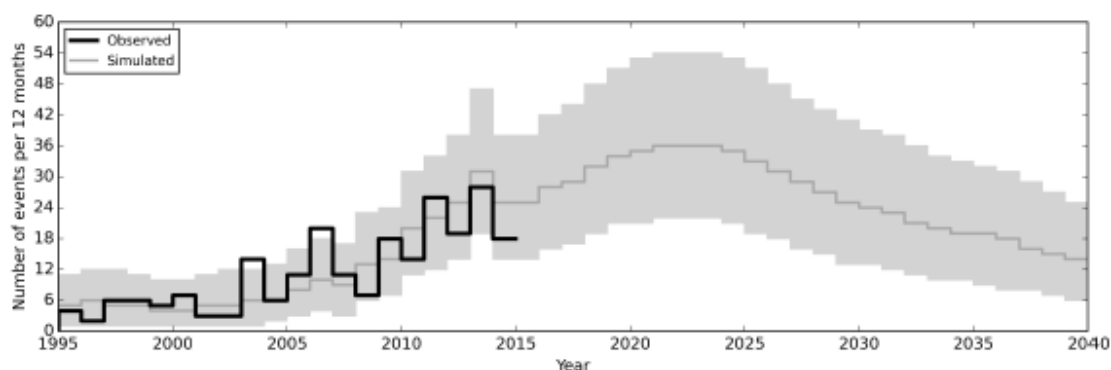
Effect van inter-jaarlijkse productievariaties

In het seismologisch model van NAM [referentie 5.1] is het jaarlijks aantal bevingen gerelateerd aan zowel de cumulatieve compactie, de compactiesnelheid en de aanwezigheid van breuken. Met dit model kan voor gegeven productie-scenario's de ontwikkeling van de seismiciteit – en daarmee van de seismische hazard en het seismisch risico – worden berekend. Het model bevat geen (expliciete) spanningsrelaxatiecomponent, anders dan seismisch via de bevingen zelf.

De compactie is in eerste orde lineair afhankelijk van de drukdaling. Variaties in drukdaling ten gevolge van variaties in productie (zoals de toename van de productie sinds 2003, de hoge productie in 2013 en de beperking van de productie in 2014) zijn dan ook terug te vinden in de ontwikkeling van zowel de waargenomen als het voorspelde jaarlijkse aantal bevingen (Figuur 6.3).

²⁰ Dit is te vergelijken met het kookpunt van water. Onder het kookpunt zullen er alleen kleine belletjes ontstaan. Boven het kookpunt ontstaan grote bellen.

TNO acht het nog te vroeg om uitsluitend op grond van de data te kunnen concluderen, dat de afname van de bevingen alleen het uitstellen van bevingen betekent ('film rate' effect), of dat er ook relaxatie in het systeem optreedt met een mogelijk reducerend effect op het uiteindelijk totaal opgetreden aantal en/of de zwaarte van de bevingen.



Figuur 6.3: Waargenomen jaarlijks aantal bevingen in vergelijking met de modelvoorspelling [referentie 5.13].

6.3 SodM conclusies effectiviteit maatregelen

In het "Hazard and Risk Assessment" rapport [referentie 5.1] stelt NAM dat bij een productie van 33 miljard Nm³/jaar het risico tot 2021 binnen de tijdelijke norm voorgesteld door de commissie Meijdam blijft. Om ook na de overgangperiode, in 2021, alle gebouwen aan de norm te laten voldoen is enige versterking van gebouwen noodzakelijk²¹. Daarna is het blijvend noodzakelijk jaarlijks nog enkele honderden huizen te versterken²². Dit is volgens NAM een realistische en haalbare versterkingsopgave, waardoor verdere beperking van de productie niet noodzakelijk is.

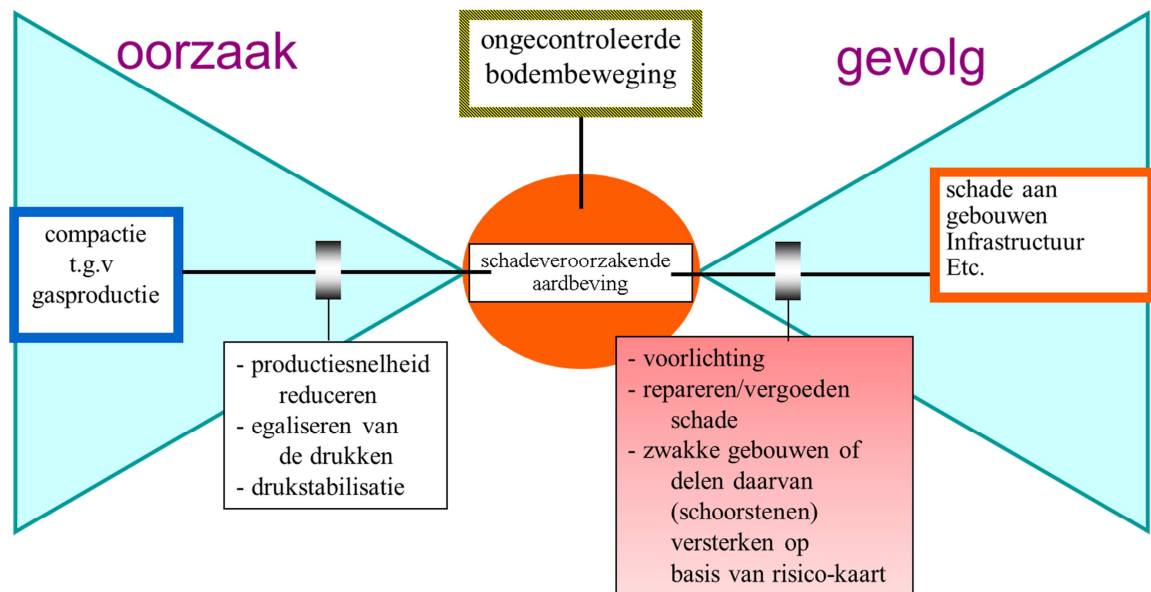
Hiermee legt NAM naar de mening van SodM volledig de nadruk op mitigatie (Figuur 6.4). Echter, zoals eerder in paragraaf 6.2.2 aangegeven zal de daadwerkelijke versterkingsopgave naar de inschatting van SodM waarschijnlijk een veelvoud zijn van de in de NAM risico-analyse berekende aantallen. Bovendien hebben de internationale experts die SodM heeft geraadpleegd, zowel de Amerikaanse als de Zwitserse, beiden gewezen op een mogelijke onderschatting van de seismische dreiging en daarmee van het risico in de huidige berekening (zie paragraaf 5.2).

Uitgangspunt in de Mijnbouw wet is om bodembeweging allereerst zoveel mogelijk te voorkomen en beperken en om vervolgens waar dit niet (meer) mogelijk is schade ten gevolge van bodembeweging zoveel mogelijk te voorkomen en beperken (Mijnbouwbesluit artikel 24.1r en

²¹ p. 124: The PHRA results indicate that with 33 bcm/annum production the level of risk is currently within the norm recommended by the Commissie Meijdam (accounting for the transition period), in that there are zero buildings with mean inside LPR > 10⁻⁴/year. However, to ensure the LPR for all buildings is below the 10⁻⁵/year norm, some structural upgrading work is required within the transition period to reduce the risk of buildings with above 10⁻⁵/year.

²² p. 6: after 2021 each year no more than a few hundred additional buildings are likely to require upgrading.

24.1s). SodM is mede daarom van mening dat het seismisch risico in Groningen eerst zo veel als mogelijk is op basis van het productieniveau en de productieverdeling moet worden geminimaliseerd. SodM wijst erop dat aanpak aan de bron (het seismisch risico terugbrengen door de productie te beperken) effectief is gebleken: het werkt snel, op alle woningen in het gebied, is goed te monitoren en het beperkt de omvang en duur van het versterkingsprogramma.

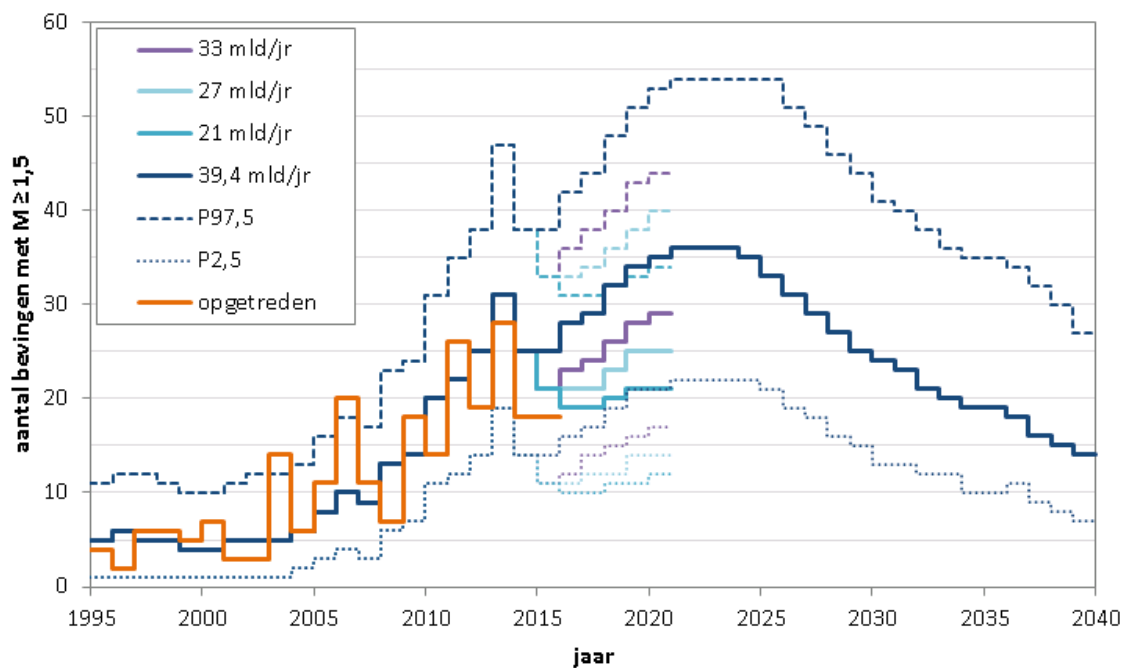


Figuur 6.4: Vlinderstrik risicobenadering voor de aardbevingen in Groningen. Aan de linkerkant wordt de oorzaak beschreven en de maatregelen om de bevingen te voorkomen; aan de rechterkant de gevolgen en de maatregelen om deze te mitigeren.

Op basis van de resultaten voor de effectiviteit van de maatregelen concludeert SodM:

- SodM heeft in juni 2015 geadviseerd om NAM te laten bepalen “bij welke combinatie van jaarproductie, productieverdeling en gebouwenversterking het omslagpunt ligt naar een veiligheidsniveau dat voldoet aan de vastgestelde norm”. Uit de rapportage van NAM blijkt dat dit advies niet is opgevolgd.
- NAM focust op een productieniveau van 33 miljard Nm³ per jaar voor de periode 2016 – 2021 en beschouwt dit als een “verantwoord niveau van gaswinning”, omdat de versterkingsopgave die noodzakelijk is om aan de veiligheidsnorm (individueel risico van 10⁻⁵/jaar voor bestaande bouw) te voldoen, volgens NAM in 5 jaar gerealiseerd kan worden, uitgaande van het huidige versterkingstempo.
- Bij een productieniveau van 33 miljard Nm³ per jaar zal het aantal aardbevingen, en daardoor het seismisch risico, in de komende 5 jaar (en ook nog in de jaren daarna) naar verwachting toenemen. Bij 27 miljard Nm³ per jaar en 21 miljard Nm³ per jaar gebeurt dat eveneens, maar in een steeds mindere mate (Figuur 6.5).

- Naast de grote onzekerheid in de versterkingsopgave en het tegenvallende versterkingstempo tot nu toe vindt SodM het niet aannemelijk dat een productieniveau van 33 miljard Nm³/jaar zal kunnen voldoen aan de vastgestelde norm.
- Uit de rapporten van NAM blijkt dat het (nog) niet mogelijk is om het effect van snelle productief fluctuaties op de seismiciteit vast te stellen. SodM heeft eerder aangegeven dat er aanwijzingen zijn dat een vlakke productie gunstiger is dan een productiepatroon met veel pieken. SodM onderschrijft de opvatting van NAM dat er nog te weinig gegevens voorhanden zijn om het effect (op de seismiciteit) van snelle productief fluctuaties feitelijk te onderbouwen.



Figuur 6.5: Toename van het voorspelde aantal jaarlijkse bevingen met magnitude groter of gelijk aan 1,5 voor verschillende productiescenario's met de bij de voorspelling behorende onzekerheidsbandbreedte. Voor 2015 is het aantal bevingen tot 26 november 2015 opgenomen (samengesteld door SodM op basis van informatie NAM).

7. Advies

Op grond van de conclusie en kanttekeningen die er thans liggen heeft SodM vier adviezen geformuleerd: drie hebben betrekking op acties die NAM zou moeten ondernemen, zo nodig op voorschrift van de Minister van Economische Zaken (nrs. 1, 2 en 4); één advies heeft betrekking op het werkprogramma van de Nationaal Coördinator Groningen (nr.3).

1. **Breng de gasproductie terug tot een niveau waarbij het seismisch risico geminimaliseerd en zoveel mogelijk gestabiliseerd wordt, maar waarbij zodanig gelijkmatig wordt geproduceerd, dat snelle productief fluctuaties (tijdsduur week/maand) vermeden worden.**

Toelichting: Zolang niet duidelijk is wat de invloed is van snelle productief fluctuaties (op week- en maandbasis) op de seismiciteit acht SodM het niet verstandig om het productieniveau dermate te verlagen dat snelle productief fluctuaties onontkoombaar zijn. Indien er vanuit het oogpunt van leveringszekerheid in een koude winter een hogere gasproductie uit het Groningen gasveld noodzakelijk is, acht SodM het raadzaam deze verhoging zo gelijkmatig mogelijk door te voeren. Vanzelfsprekend moet worden getoetst of de combinatie van het productieniveau en versterkingsopgave aan de vastgestelde norm voldoet en realistisch is.

2. **Bepaal de jaarlijkse productieverdeling over de clusters in het Groningenveld op basis van het seismisch risico.**

Toelichting: De analyse van NAM van de seismische dreiging en het seismisch risico is voor de hele periode 2016 - 2021 gebaseerd op de thans geldende regionale productieplafonds, die in beginsel alleen gelden voor het gasjaar 2015/2016. SodM heeft er echter eerder op gewezen dat de productieverdeling over het gasveld moet plaatsvinden op basis van een adequate meet- en regelcyclus, waarbij rekening wordt gehouden met de ontwikkelingen in de seismiciteit, het seismisch risico en de voortschrijdende inzichten in bijvoorbeeld de seismische dreiging (grondversnellingen). SodM vindt dat ook de optie “drukhandhaving” in de beschouwing moet worden meegenomen, omdat ook die maatregel kan leiden tot een afname van het seismisch risico. Ook moet de uitwerking van de technische bijlage van het meet- en regelprotocol verbeterd worden. SodM wijst erop, dat aanpak aan de bron (het seismisch risico terugbrengen door de productie te beperken) effectief is gebleken: het werkt snel, is goed te monitoren en het beperkt de omvang en duur van het versterkingsprogramma.

3. **Baseer het versterkingsprogramma van gebouwen bij voorkeur op seismische dreiging- en risicokaarten die gegrond zijn op de methode die NAM volgt en zorg dat de berekeningen – zodra mogelijk - bij een onafhankelijke instantie worden belegd.**

Toelichting: Op dit moment wordt voor de prioritering van het versterken van gebouwen en in de Nationale Praktijkrichtlijn (NPR) de PGA-kaart van KNMI van 16 oktober 2015 gebruikt. Deze kaart is gebaseerd op de statistiek van opgetreden aardbevingen, een methode die traditioneel in de aardbevingswereld wordt toegepast. In de analyse van NAM wordt voor de berekening van de seismische dreiging en het seismisch risico een methode gebruikt die rekening houdt met de respons van gasvoerende gesteentelagen op veranderingen in het productieniveau en de reactie van de ondiepe ondergrond op trillingen (opslingering en demping). SodM adviseert om, zodra dit mogelijk is, het versterkingsprogramma en de

Nationale Praktijk Richtlijn te baseren op de methode die NAM toepast en de statistische methode van KNMI te gebruiken als een globale check op de uitkomsten. Om acceptatie van de kaarten te bevorderen adviseert SodM om de uitwerking van de methodiek bij een onafhankelijke instantie te beleggen.

Overigens blijkt uit de huidige risicokaarten van NAM dat er ook buiten het “verstevigingsgebied” grote aantallen gebouwen zijn (met name bij Delfzijl en Groningen) met een risico hoger dan 10^{-5} /jaar.

4. **Laat zo snel mogelijk het maatschappelijk risico voor het door geïnduceerde aardbevingen beïnvloede gebied bepalen op basis van de methode die deskundigen van de commissie Meijdam, SodM en andere instellingen met elkaar zijn overeengekomen.**

Toelichting: SodM vindt, dat de kans op grotere groepen slachtoffers ten gevolge van een geïnduceerde aardbevingen (het maatschappelijk risico) net zo relevant is als het individueel risico. Deskundigen van de commissie Meijdam, SodM en andere instellingen zijn in beginsel met elkaar een methode overeengekomen om dit maatschappelijk risico te bepalen en met kaarten inzichtelijk te maken hoe de kans op groepen slachtoffers over het aardbevingsgebied varieert. Het is van belang dat deze analyse nu zo snel mogelijk wordt uitgevoerd.

Geraadpleegde rapporten

Hoofdstuk 4

- 4.1 Rapportage Meet- en regelprotocol gaswinning in het Groningenveld, NAM, 4 nov. 2015
- 4.2 Draft Statistical Note: Trends in surface displacements from InSAR following reduction in gas production. S. Bierman and R. Paleja. October 2015
- 4.3 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)
- 4.4 Trend changes in groundsubsidence in Groningen, update November 2015, CBS Statistics Netherlands, Frank Pijpers, D.Jan van der Laan
- 4.5 Shell Restricted Report SR.15.13107. Impact of Production Shut-in on Inter-Event time in Groningen. A statistical perspective. R. Paleja S. Bierman and M. Jones. October 2015
- 4.6 Shell restricted report SR.15.13132. October 2015. Statistical methodology for investigating seasonal variation in rates of earthquake occurrence in the Groningen field. S. Bierman, R. Paleja and M. Jones
- 4.7 Shell restricted report SR.15.12673 Maximum Likelihood Estimates of b-Value for Induced Seismicity in the Groningen Gas Field. C. K. Harris & S.J. Bourne. October 2015
- 4.8 Shell Restricted Report SR.15.11335. Induced seismicity in the Groningen field - statistical assessment of tremors along faults in a compacting reservoir. H.M. Wentinck. October 2015
- 4.9 Draft Statistical Note: Model comparison for activity rate models. M. Jones, R. Paleja, T. Park S. Bierman. October 28, 2015
- 4.10 Email TNO aan SodM van 24-11-2015
- 4.11 TNO 2015 R11367 Response of induced seismicity to production changes in the Groningen field. 10 November 2015, Karin van Thienen-Visser et al.
- 4.12 <http://www.nlog.nl/nl/hazards/subsidence.html>
- 4.13 Trend changes in tremor rates in Groningen. update November 2015, CBS Statistics Netherlands, Frank P. Pijpers
- 4.14 A phenomenological relationship between gas production variations and tremor rates in Groningen, November 2015, CBS Statistics Netherlands, Frank P. Pijpers
- 4.15 Technische bijlage (bijlage 3) behorend bij het Meet- en Regelprotocol seismisch risico voor de gaswinning Groningen, 29 oktober 2015, NAM. Status: final Draft.

Hoofdstuk 5

- 5.1 Hazard and Risk Assessment for Induced Seismicity in Groningen – Interim Update November 2015, NAM, 7 November 2015.
- 5.2 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.
- 5.3 e-mail “One additional thought on ground motions”, William L. Ellsworth, 1 december 2015.
- 5.4 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.
- 5.5 Probabilistic Seismic Hazard Analysis for Induced Earthquakes in Groningen; Update 2015, Bernard Dost and Jesper Spetzler, KNMI, October 2015.

- 5.6 Concept meerjarenprogramma “Aardbevingsbestendig en Kansrijk Groningen”, Nationaal Coördinator Groningen, 4 november 2015.
- 5.7 “Inzichtelijk maken groepsrisico”, brief NAM, 30 november 2015.
- 5.8 Een voorstel voor een toetsingsmethodiek voor mens-geïnduceerde aardbevingen in Groningen, Prof. Pieter van Gelder, TU Delft, Faculteit TBM, 16 november 2015.
- 5.9 Artificial lake induced seismicity – a summary, Shell Global Solutions, oktober, 2015.
- 5.10 Note on simulation model pressure response for high frequency production swings, NAM, oktober 2015.
- 5.11 Pressure disturbance estimation for variable nproduction at Groningen, illustrative calculations, ExxonMobil Upstream Research Company, oktober 2015.
- 5.12 Self-Organized Criticality, ExxonMobil Upstream Research Company, oktober 2015.
- 5.13 An activity rate model of induced seismicity within the Groningen field (part 2), Bourne, S. and S. Oates, juli 2015.

Bijlage: definities en begrippen

Aardbevingen en bodembeweging

Schaal van Richter:

Meetschaal waarop de waargenomen kracht van een aardbeving in een getal wordt uitgedrukt. De schaal is opgesteld door de Amerikaanse seismoloog Charles Francis Richter in 1935. Het is een logaritmische schaal van de sterkte van de trillingen zoals die gemeten wordt op het seismogram.

Contourenkaart:

Kaart waarop locaties met gelijke piekgrondversnellingen door lijnen zijn verbonden.

Grondversnelling:

De beweging van de bodem als gevolg van een aardbeving (uitgedrukt in m/s^2 maar meestal weergegeven als een fractie van g , de versnelling door de zwaartekracht, met $g = 10 \text{ m/s}^2$).

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.

Overschrijdingskans/onderschrijdingskans:

De waarschijnlijkheid dat een bepaalde waarde van een onzekere fysische grootheid wordt overschreden/onderschreden.

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) Plaatsgebonden Risico/ Lokaal Persoonlijk Risico:

De kans dat een persoon, die zich continu en onbeschermd op een op een bepaalde locatie bevindt, komt te overlijden in de periode van een jaar als gevolg van een incident (in dit rapport ten gevolge van het bezwijken van een gebouw als gevolg van een aardbeving).

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 overschrijdingskansen.

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.

Kruiscorrelatie:

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 (Nm³):

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 Celcius. De gebruikelijke afkorting voor een normaal m³ is: Nm³.

BCM:

BCM is een afkorting voor Billion Cubic Metres, ofwel: miljard m³. De afkorting "BCM" wordt uitsluitend gebruikt om hoeveelheden aardgas aan te duiden. In dit rapport betekent BCM: miljard Nm³ (zie omschrijving van "normaal kubieke meter").

Bouwvoorschriften

Nederlandse Praktijk Richtlijn:

Een richtlijn om de sterkte van een gebouw te bepalen gegeven een bepaalde verwachte piekgrond-versnelling. Een richtlijn heeft een lagere status dan een NEN- of EN-norm