



Bijlage 1

Technische bijlage Advies Groningen gasveld n.a.v. Rapportage recente aardbevingen Wirdum en Garsthuizen 2016/2017

Staatstoezicht op de Mijnen

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

13 April 2017

Inhoudsopgave

Inleiding.....	3
1. Chronologie.....	4
1.1. Adviezen 2013 - 2016.....	4
1.2. Ontwikkelingen sinds winningsplan advies 2016.....	8
2. Analyse NAM rapport: Rapportage recente aardbevingen Wirdum en Garsthuizen 2016/2017	12
3. Regionale analyse relatie ontwikkeling drukdaling en de aardbevingsdichtheid.....	16
3.1. Theoretische relatie tussen drukdaling, snelheid van drukdaling en bevingen	16
3.2. Statistische relatie tussen drukdaling, snelheid van drukdaling en bevingen	18
3.3. Regio Wirdum	20
3.4. Regio Garsthuizen-Startenhuizen	22
3.5. Samenvatting en conclusies.....	23
4. Onderbouwing mate van productieafname bij overschrijding grenswaarde.....	24
Referenties.....	26

Inleiding

Met het instemmingsbesluit met het winningsplan Groningen van 30 september 2016 is er een signaleringssysteem actief voor het Groningen gasveld dat geopereerd wordt door de Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V. (NAM). In dit signaleringssysteem zijn er twee signaalparameters: de aardbevingsdichtheid en de grondversnelling. In november 2016 werd er een toename van de seismiciteit in het gebied zuidoostelijk van Loppersum, nabij het plaatsje Wirdum, waargenomen. Door deze toename werd in maart 2017 in dit gebied een aardbevingsdichtheid van 0,22 bevingen/km²/jaar bereikt, wat net onder de grenswaarde van 0,25 bevingen/km²/jaar ligt. Deze toename was voor Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) aanleiding NAM te verzoeken nader onderzoek te doen naar de seismiciteit in het gebied Slochteren, Siddeburen, Wirdum en Garrelsweer. Hierbij werd NAM nadrukkelijk verzocht nader te kijken naar de relatie tussen de seismiciteit en de wijze waarop het gas gewonnen wordt in dit specifieke gebied.

Op 15 maart 2017 heeft SodM het betreffende rapport van NAM ontvangen. Na een eerste analyse is NAM gevraagd nadere toelichting te geven op deze rapportage. Op 28 maart 2017 heeft SodM, na een aantal gesprekken, vervolgens van NAM een uitgebreidere rapportage [1] ontvangen die in deze bijlage besproken wordt.

Gezien het grote belang heeft SodM gebruik gemaakt van externe, onafhankelijke experts om te helpen bij het beoordelen van het NAM-rapport. Deze experts hebben SodM bij voorgaande adviezen ter zijde gestaan en kennen het Groningen dossier. Daarnaast heeft SodM gebruik gemaakt van het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) om statistische relaties tussen reservoir drukken, drukafname en aardbevingsdichtheid te analyseren. Ook CBS was eerder betrokken bij onderzoeken op het Groningen dossier. Deze betrokkenheid maakt het mogelijk om zowel een tijdig als een gedegen advies te formuleren.

In deze technische bijlage beschrijft SodM haar bevindingen gebaseerd op eigen waarnemingen en bovengenoemde beoordelingen en studies.

SodM is zich ten volle bewust van het feit dat het in het dossier gaswinning Groningen om veel meer dan alleen de technische aspecten gaat. Echter, vanuit zijn eigen rol en expertise beperkt SodM zich voornamelijk tot die technische aspecten.

Deze bijlage bestaat uit vier onderdelen:

1. De chronologie van eerdere SodM adviezen aan de Minister van Economische Zaken met betrekking tot het Groningen gasveld samen met de aanleiding voor SodM voor het vragen van een additionele rapportage aan NAM.
2. De beoordeling van de NAM rapportage over de waargenomen toename van het aantal bevingen in de regio Loppersum
3. De resultaten van een nadere regionale analyse van de relatie tussen de ontwikkeling van drukdaling en de aardbevingsdichtheid die door CBS en SodM is uitgevoerd naar aanleiding van de bevindingen bij 2.
4. Een beschrijving van de overwegingen over de mate van productieafname zoals door SodM wordt geadviseerd bij een overschrijding van een of beide grenswaarden uit het signaleringssysteem.

1. Chronologie

1.1. Adviezen 2013 - 2016

SodM heeft zes uitgebreide adviezen uitgebracht naar aanleiding van de aardbevingen in Groningen: in januari 2013, in januari 2014, in december 2014, in mei 2015, in december 2015 en in mei 2016. Het is SodM gebleken, dat het naast elkaar leggen van deze zes adviezen, zonder de context in acht te nemen, kan leiden tot misverstanden. Elk advies is geschreven vanuit een specifieke vraag van de Minister en in een andere context. In dit hoofdstuk wordt de essentie ("de rode draad") van de zes eerdere adviezen van SodM samengevat. Deze samenvatting is grotendeels al verwoord in het advies over het winningsplan Groningen van mei 2016 maar wordt hier voor de volledigheid herhaald.

Het eerste advies werd uitgebracht op een moment (januari 2013) dat er beperkte kennis was over de precieze oorzaken van de concentratie van aardbevingen rond Loppersum. Ook was er verhoudingsgewijs nog weinig bekend over grondversnellingen en schade aan gebouwen. SodM wilde met dit advies de Minister van Economische Zaken informeren over de gewijzigde inzichten in de aardbevingsgevoeligheid van het Groningenveld en welke maatregelen er naar de mening van SodM getroffen zouden moeten worden om het risico op meer en zwaardere aardbevingen terug te brengen.

Het tweede advies (januari 2014) ging specifiek over het gewijzigde winningsplan Groningen dat op 1 december 2013 bij de Minister van Economische Zaken voor instemming was ingediend. Toen het advies uitkwam was er al beduidend meer kennis over de oorzaak van de aardbevingen vergaard. Het derde advies ging specifiek over een vraag van de Minister van Economische Zaken over seismiciteit rond het Eemskanaal cluster. In dit advies konden de eerste voorlopige conclusies worden getrokken over de effecten van het terugbrengen van de gaswinning rond Loppersum. Het vierde en vijfde advies van SodM in mei en december 2015 waren adviezen aan de Minister van Economische Zaken over de kort daarvoor aangeleverde voortgangsrapportages van NAM. Die rapportages gingen over verbeteringen in de vaststelling van seismische dreiging en seismisch risico door NAM op basis van de voortgang van de studies van NAM en analyses van de waarnemingen in het veld.

Het laatste advies (mei 2016) ging over het door NAM op 1 april 2016 ingediende gewijzigde winningsplan Groningen 2016. In dit advies werd geconcludeerd dat de modellen en berekeningen van NAM beperkt bruikbaar zijn voor het vaststellen van het veiligheidsrisico en voor het opstellen van een advies over een verantwoord winningsniveau. Ook werd opgemerkt dat een relativisering van de uitkomsten van de modellering en daarmee van de berekening van het seismisch risico op zijn plaats is. SodM adviseerde daarom, naast de uitkomsten van modellen die seismische dreiging en seismisch risico voor de komende jaren voorspellen, de waarnemingen van daadwerkelijk opgetreden bevingen te blijven meenemen in de komende analyses en adviezen.

Januari 2013: eerste advies – nieuwe inzichten

Na de aardbeving bij Huizinge in augustus 2012 voerde SodM een analyse uit van de aardbevingen in Groningen, zowel van het aantal als van de sterkte. Daarbij kwam SodM tot de conclusie dat een onverminderde, hoge gasproductie uit het Groningenveld zou kunnen leiden tot sterkere aardbevingen dan tot medio 2012 werd aangenomen. Daarmee zou ook het seismisch risico hoger zijn dan eerder werd gedacht. Indicatieve berekeningen van SodM brachten aan het licht, dat een vermindering van de productie waarschijnlijk zou leiden tot een vergelijkbare vermindering van het aantal aardbevingen en daarmee ook tot een kleinere kans op zwaardere aardbevingen. SodM noemde hierbij een voorbeeld: een vermindering van de gasproductie met 40% (van 50 naar 30

miljard Nm³) per jaar zou naar verwachting leiden tot 40% minder aardbevingen per jaar en een vergelijkbare reductie in de kans op een aardbeving groter dan 3,9. Op grond van de eerste indicatieve berekeningen adviseerde SodM aan de Minister van Economische Zaken om aan NAM voor te schrijven de winning uit het Groningenveld zo snel mogelijk en zo veel als mogelijk en realistisch was, terug te brengen¹. SodM verwachtte, op grond van de kennis van dat moment, dat het terugbrengen van de productie na 1 à 1½ jaar effect zou sorteren.

Januari 2014: tweede advies - winningsplan

Op 13 januari 2014 heeft SodM aan de Minister van Economische Zaken advies uitgebracht over het winningsplan 2013 van NAM². SodM vond de belangrijkste pijlers waarop het winningsplan rustte niet solide. Naar de mening van SodM had NAM het veiligheidsrisico niet goed in kaart gebracht en beoordeeld. Bovendien concludeerde SodM dat NAM geen maatregelen nam om de seismische activiteit terug te brengen. Daarom adviseerde SodM om niet in te stemmen met het nieuwe winningsplan en op zo kort mogelijke termijn de gasproductie te stoppen in het gebied met het hoogste aardbevingsrisico, dat wil zeggen het gebied rond Loppersum. SodM wees vijf productielocaties (clusters) aan waar de productie gestaakt zou moeten worden. Het zou dan in eerste instantie gaan om sluiting voor een periode van ten minste drie jaar, omdat de effecten over een langere periode dan drie jaar niet te voorspellen zijn. Het lag in de lijn der verwachtingen dat na drie jaar de druk in het Loppersum gebied weer zou gaan dalen door de doorgaande productie uit de omliggende clusters. Hierdoor zouden de aardbevingen in het Loppersumgebied kunnen terugkeren. In de visie van SodM zou de periode van ten minste drie jaar benut moeten worden om het uitvoeren van preventieve (versterkings-)maatregelen voortvarend ter hand te nemen en gedetailleerde metingen en vervolgonderzoek te verrichten. Daarnaast drong SodM aan op het ontwikkelen van een landelijk risicobeleid voor grotere veiligheidsrisico's, zoals risico's door geïnduceerde aardbevingen, en daarvoor acceptatiecriteria vast te stellen.

December 2014: derde advies – Eemskanaal

Op 11 december 2014 heeft SodM aan de Minister van Economische Zaken advies uitgebracht over een analyse van NAM van de bevingegevoeligheid van het gebied rond de winningslocatie "Eemskanaal", nabij de stad Groningen³. SodM kwam tot de conclusie dat op basis van het rekenmodel van NAM het effect van eventuele productiemaatregelen niet is vast te stellen en die maatregelen op basis daarvan dan ook niet te rechtvaardigen zijn. Bij validatie van het model van NAM kwam SodM, op grond van waarnemingen van de daadwerkelijke ontwikkeling van de seismische activiteit, wel tot de conclusie dat er een verband lijkt te bestaan tussen een toe- of afname van de productie en een toe- of afname van de seismische activiteit in een bepaalde regio. Op basis daarvan heeft SodM geadviseerd om het eerder vastgestelde productieplafond voor het Groningenveld als geheel te laten zakken van 42,5 naar 39,4 miljard Nm³ per jaar en daarnaast productieplafonds voor de onderscheiden regio's in te stellen, waaronder een productieplafond voor de regio Eemskanaal van 2 miljard Nm³ per jaar.

Juni 2015: vierde advies – kwalitatieve seismisch risicoanalyse

In juni 2014 heeft SodM aan de Minister van Economische Zaken advies uitgebracht over de seismische dreiging, de eerste berekeningen van het seismisch risico en over de resultaten van de monitoring van de aardbevingen⁴. SodM maakte daarvoor gebruik van de rapporten die NAM in

¹ Brief SodM van 22 januari 2013, kenmerk 13010015.

² SodM, Advies Winningsplan 2013/Meet- en Monitoringsplan NAM, Groningen gasveld, januari 2014.

³ Brief SodM van 11 december 2014, kenmerk 14204137, met bijlage het "Advies Bevingegevoeligheid van de Eemskanaal regio, december 2014".

⁴ SodM, Seismisch risico Groningenveld; Beoordeling rapportages en advies, juni 2015.

mei 2015 bij SodM had ingediend en van onafhankelijke analyses en controleberekeningen die SodM had laten uitvoeren door TNO, KNMI, TU Delft en CBS. Daarnaast werden door SodM enkele aardbevingsexperts uit binnen- en buitenland geraadpleegd.

De risicoanalyse van de NAM was slechts kwalitatief van aard. Op basis daarvan konden geen conclusies over een verantwoord winningsniveau getrokken worden. Op basis van de waarnemingen kwam SodM tot de conclusie dat voldoende overtuigend was aangetoond dat het verlagen van de gasproductie had geleid tot minder seismiciteit en daarmee tot een lager seismisch risico. Ook werd geconcludeerd dat de reactietijd van de bodemdaling en seismiciteit op ingrepen in de productie in de orde van enkele maanden is, veel korter dan eerder werd aangenomen. Vastgesteld werd dat alleen een productieniveau aanzienlijk lager dan 33 miljard Nm³ per jaar in combinatie met versterking van huizen zal leiden tot een substantiële verdere verlaging van het seismisch risico. Gegeven het ontbreken van een norm, was de vaststelling van een productieniveau overeenkomend met een acceptabel veiligheidsniveau niet mogelijk. Wel werd geadviseerd de gasproductie in geheel 2015 te beperken tot 33 miljard Nm³ per jaar. Ten slotte werd nader onderzoek geadviseerd naar het effect van niet-gelijkmatige productie op de seismiciteit.

December 2015: vijfde advies – kwantitatieve seismisch risicoanalyse

In december 2015 heeft SodM aan de Minister van Economische Zaken opnieuw advies uitgebracht over de seismische dreiging, het seismisch risico en over de resultaten van de monitoring van de aardbevingen⁵. SodM maakte daarvoor gebruik van de rapporten die NAM in oktober en november 2015 bij SodM had ingediend en van onafhankelijke analyses en controleberekeningen die SodM had laten uitvoeren door TNO, KNMI, TU Delft en CBS. Tevens heeft SodM daarvoor opnieuw enkele aardbevingsdeskundigen van de Amerikaanse Geologische Dienst en de Zwitserse Seismologische Dienst geraadpleegd.

Het advies van december 2015 is grotendeels in overeenstemming met het advies van juni 2015. In aanvulling op het advies van juni 2015 werd ook geadviseerd om snelle productieflectuaties op een tijdschaal van weken of maanden zo veel mogelijk te vermijden. En om verhoging van de productie in een koude winter zo gelijkmatige mogelijk door te voeren. Ook stelde SodM op basis van de door NAM aangeleverde informatie vast dat bij een productieniveau van 33 miljard Nm³ per jaar het aantal aardbevingen in de komende 5 jaar (en ook nog in de jaren daarna) zou toenemen en dat daardoor het seismisch risico, naar verwachting ook zou toenemen. Bij 27 miljard Nm³ per jaar en 21 miljard Nm³ per jaar gebeurt dat eveneens, maar in een steeds mindere mate. Geadviseerd werd meer aandacht te besteden aan een risico-geoptimaliseerde verdeling van de productie over het veld (ruimtelijke verdeling en in de tijd) en aan een verbetering van het Meet- en regelprotocol. Ten slotte werd aangedrongen op het zo snel mogelijk vaststellen van de kans op het optreden van grotere aantallen gelijktijdige slachtoffers door een geïnduceerde beving (maatschappelijk risico).

Mei 2016: zesde advies – lagere, vlakke productie met alarmerings- of meet- en regelprotocol

Eind mei 2016 heeft SodM advies uitgebracht over het door NAM ingediende gewijzigde winningsplan Groningen 2016⁶. SodM maakte daarvoor gebruik van de rapporten die NAM heeft ingediend bij het winningsplan en van onafhankelijke analyses en controleberekeningen die SodM had laten uitvoeren door TNO, TU Delft, en het CBS.

⁵ SodM, Seismisch risico Groningenveld; Beoordeling rapportages en advies, december 2015.

⁶ SodM, Advies Winningsplan Groningen 2016, mei 2016.

SodM concludeerde in dit advies dat de ingrepen in de gaswinning vanaf januari 2014 effectief zijn geweest. Er werd een afname van seismische activiteit in het gehele veld geconstateerd (zowel van de lichtere als van de zwaardere bevingen) en een zeer sterke afname in het Loppersum-gebied. Bovendien was het aantal zwaardere bevingen relatief afgenomen, ten opzichte van het aantal lichtere bevingen. Het feit dat er bij een inmiddels weer doorgaande drukdaling in het Loppersum gebied geen toename van seismiciteit werd geconstateerd leidde tot de conclusie dat het effect van de productie afname in dit gebied niet tijdelijk zou zijn, zoals werd aangenomen in eerdere adviezen. Dit leidde tot toenemend vertrouwen bij SodM dat het systeem regelbaar zou zijn.

SodM concludeerde dat de door NAM aangeleverde modellen en berekeningen van het veiligheidsrisico beperkt bruikbaar waren voor toetsing tegen de veiligheidsnorm, zoals voorgesteld door commissie Meijdam, en daardoor ook beperkt bruikbaar waren voor het opstellen van een advies over het winningsniveau. Tevens werd er door middel van analyses van TNO en CBS aangetoond dat fluctuaties een rol spelen bij het ontstaan van bevingen. Deze analyses creëerden de verwachting dat het vermijden van fluctuaties in de winning - waaronder het wegnemen van de seizoensfluctuatie - zou leiden tot een verdere reductie in de seismiciteit.

Om tot een advies voor het winningsniveau te komen heeft SodM gebruik gemaakt van een combinatie van trendanalyses, statistiek en NAM modellen. Het advies was een winningsniveau aan te houden van 24 miljard Nm³/jaar, waarbij het mogelijk is om zonder seizoensfluctuaties te produceren. Een niveau van 24 miljard Nm³/jaar was naar de mening van SodM een onderbouwde keuze, omdat bij dat niveau volgens het beschikbare model van NAM de seismiciteit niet hoger zou worden dan in 2015 en er bovendien een extra reductie verwacht werd indien zonder fluctuaties gewonnen zou gaan worden. Hierbij moet worden opgemerkt dat de verwachte reductie wel eerst zou moeten worden waargenomen om zeker te zijn dat de verwachtingen correct waren.

Aangezien het door NAM voorgestelde Meet- en regelprotocol niet ten genoegen van de Inspecteur-generaal der Mijnen was, werd er een voorlopig alarmeringssysteem voorgesteld, tot NAM een effectief werkend Meet- en regelprotocol heeft ingediend, waarbij kan worden ingegrepen als zich onverwachte ontwikkelingen voor doen. Dit alarmeringssysteem heeft twee signaalparameters:

1. aardbevingsdichtheid met een alarmwaarde van 0,25 bevingen/km²/jaar (voor bevingen met magnitude 1.0 of hoger)
2. maximale piekgrondversnelling met een alarmwaarde van 0,05g

Tevens heeft NAM de verplichting om elk halfjaar of zodra een van genoemde parameters wordt overschreden een rapport aan SodM te sturen met analyses en (eventuele) beheersmaatregelen. Indien het een signaalwaarde overschrijding betreft dan adviseert SodM op zo kort mogelijke termijn aan de minister.

Tevens moet NAM voor 1 juni 2017 een Meet- en regelprotocol indienen bij de Minister van Economische Zaken, dat ten genoegen is van de Inspecteur-generaal der Mijnen.

De kern van het advies ten aanzien van het ingediende gewijzigde winningsplan Groningen 2016 kan kort worden samengevat als;

- vermijd (seizoens-)fluctuaties
- verlaag de productie
- monitor de seismiciteit
- kijk of het werkt
- grijp in waar nodig

Rode draad in adviezen SodM

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

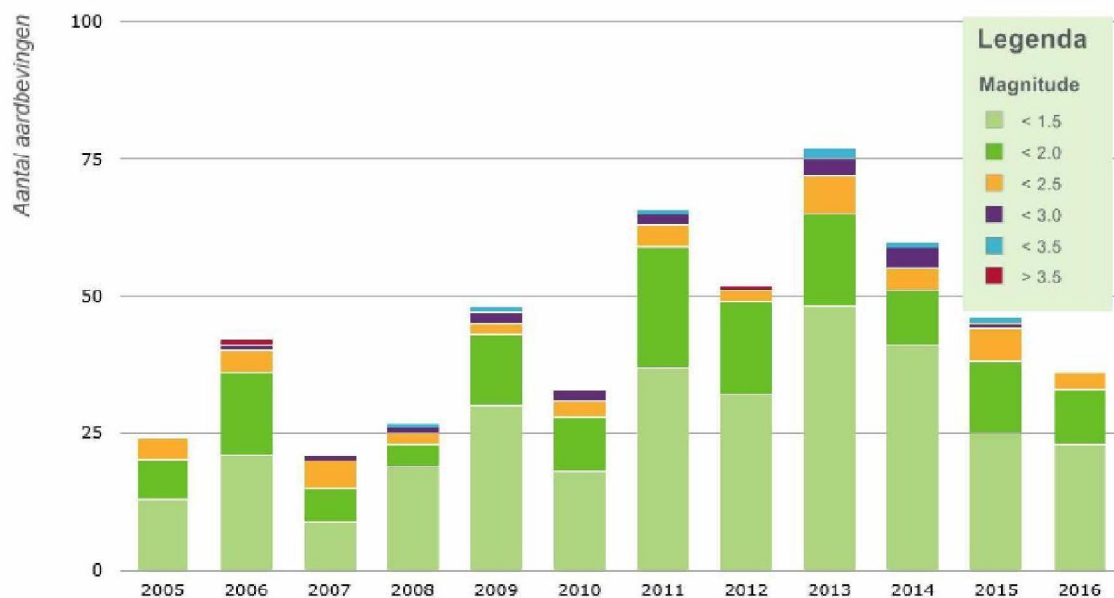
- Pak het aardbevingsprobleem niet alleen aan door het aardbevingsbestendig maken van gebouwen (en dijken, viaducten, etc.), maar pak ook de bron aan: de gaswinning.
- Doe dat op een slimme en effectieve manier, waarbij in steeds sterkere mate wordt gewezen op het waarschijnlijk positieve effect van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

1.2. Ontwikkelingen sinds winningsplan advies 2016

Ontwikkeling bevingen

Sinds het winningsplan advies 2016 nam het aantal bevingen verder af tot het laagste aantal bevingen (magnitude >1,0) sinds 2010 (Figuur 1). Hierbij dient opgemerkt te worden dat voor 2015 bevingen met een magnitude lager dan 1,3 op de schaal van Richter onvoldoende geregistreerd konden worden vanwege het in omvang beperkte seismisch meetnetwerk. In de loop van 2014 en 2015 vond uitbreiding van het seismisch meetnetwerk plaats. Vanaf midden 2015 worden alle bevingen met een magnitude boven de 0,6 waargenomen. Hierdoor is het aantal geregistreerde bevingen met magnitudes tussen 0,6 en 1,3 aanzienlijk toegenomen.

Een goede vergelijking van de verandering in het aantal bevingen met de periode voor 2015 kan alleen worden gemaakt voor bevingen met een magnitude boven de 1,3. In Figuur 1 wordt ook het aantal bevingen met een magnitude van 1,5 en groter weergegeven. Het aantal bevingen met een sterkte van 1,5 en groter is eveneens verder afgenomen tot het laagste aantal bevingen sinds 2008.



Figuur 1: Aantal aardbevingen ≥ 1.0 in het Groningenveld van 2005 tot 2016

Meet- en monitoringsrapportage van 1 november 2016

Op 1 november 2016 heeft NAM de halfjaarlijkse meet- en monitoringsrapportage ingediend bij SodM. SodM heeft deze rapportage bestudeerd en op 15 december 2016 per brief⁷ aan de minister medegedeeld dat ze de conclusie van NAM deelde dat de seismische activiteit in het gasjaar 2015/2016 verder was afgenomen, en dat zowel de aardbevingsdichtheid als de grondversnellingen in dat gasjaar binnen de grenswaarden uit het instemmingsbesluit waren gebleven.

Wel heeft SodM aan NAM verzocht nader onderzoek te doen naar de bevingen waargenomen in november en begin december 2016 in het gebied Slochteren, Siddeburen, Wirdum en Garrelsweer, omdat de toename van de seismiciteit in deze regio niet in de lijn van verwachting lag. Daarbij verzocht SodM aan NAM nadrukkelijk nader te kijken naar de relatie tussen de seismiciteit en de wijze waarop het gas gewonnen wordt in dit specifieke gebied. SodM heeft NAM verzocht de resultaten van dit onderzoek in de volgende halfjaarlijkse rapportage van 1 mei 2017 op te nemen.

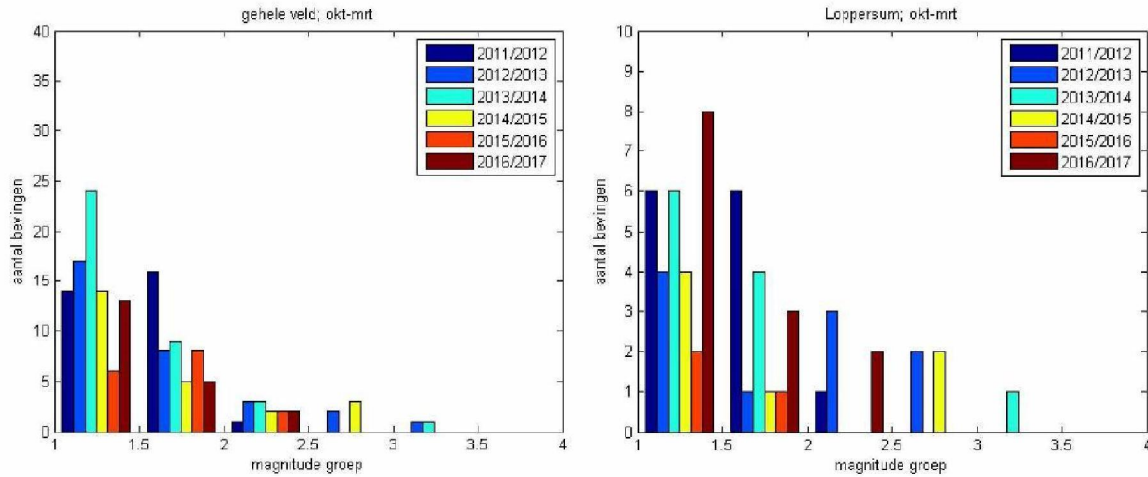
Ontwikkelingen sinds meet- en monitoringsrapportage

Uit de doorlopende monitoring en evaluatie van SodM van de seismische activiteit van het Groningenveld, in het bijzonder in de Loppersum regio, bleek de toename in seismische activiteit zich uit te breiden in 2017 (Figuur 2). Deze toename van seismiciteit leidde in maart 2017 tot een aardbevingsdichtheid van 0,22 bevingen/km²/jaar, net onder de grenswaarde van 0,25 bevingen/km²/jaar (Figuur 3e).

Op 8 februari 2017 heeft SodM daarom NAM verzocht met spoed bovengenoemde analyse af te ronden en de resultaten uiterlijk 15 maart 2017 (in plaats van 1 mei 2017) aan SodM te rapporteren⁸. Naar aanleiding van de toename van het aantal bevingen in het gebied rond Startenhuizen en Garsthuizen (noordwestelijk van Loppersum) is NAM eind februari telefonisch verzocht deze bevingen ook in het rapport op te nemen. Ook is aan NAM verzocht inzicht te geven in mogelijke maatregelen om de seismiciteit in de regio Loppersum te reduceren. NAM heeft hiermee ingestemd.

⁷ Kenmerk 16188895: Halfjaarlijkse rapportage seismiciteit in Groningen.

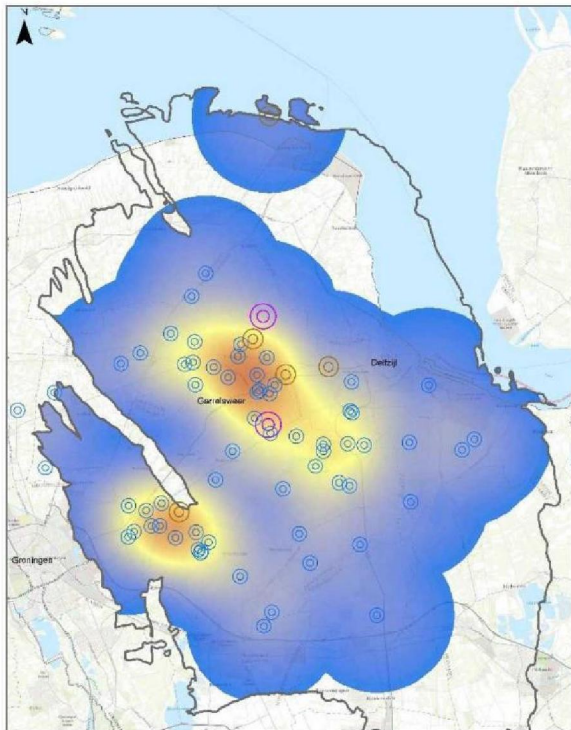
⁸ kenmerk 17019928: Stand van zaken SodM toezicht op ontwikkeling seismiciteit regio Loppersum



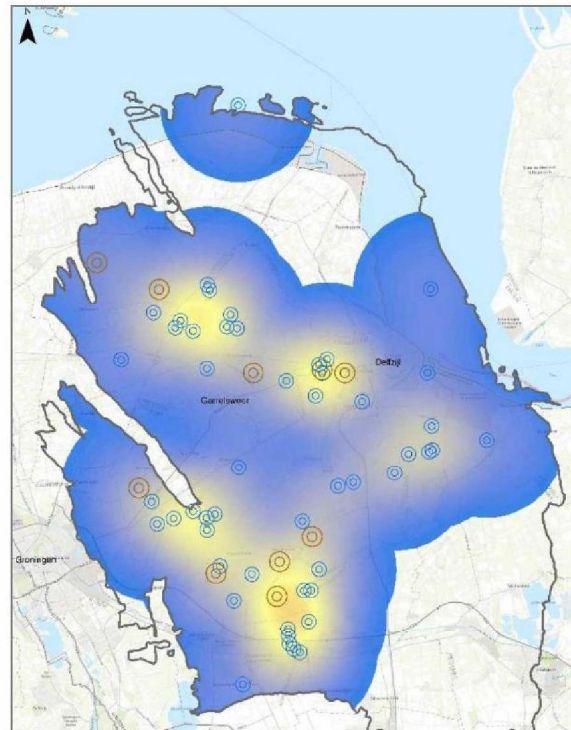
Figuur 2: Aantal aardbevingen $\geq 1,0$ in de winter periode van het gasjaar (oktober t/m maart) voor links het gehele Groningen gasveld en rechts de regio rond Loppersum.

Op 15 maart heeft SodM het betreffende rapport van NAM ontvangen. Na een eerste analyse heeft SodM aan NAM verzocht nadere toelichting te geven op deze rapportage en zijn door SodM ook aanvullende vragen gesteld. Op 28 maart heeft SodM het definitieve rapport ontvangen. Deze rapportage wordt hieronder beoordeeld.

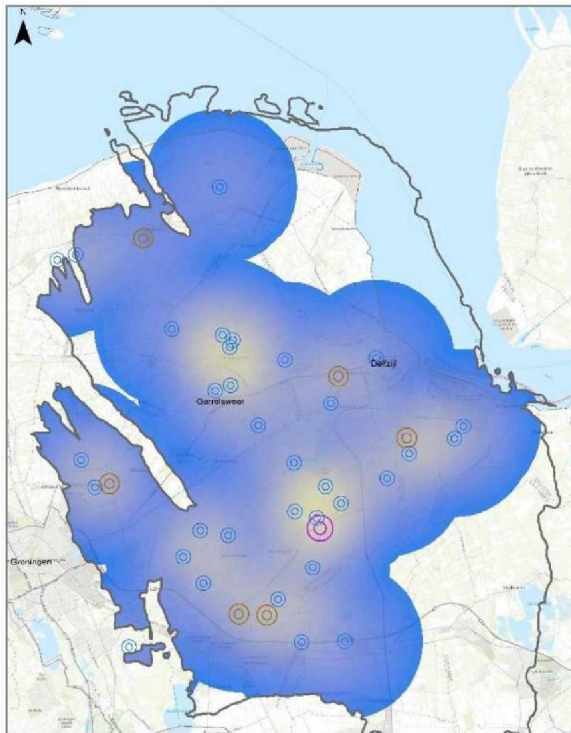
a) maart 2013- maart 2014



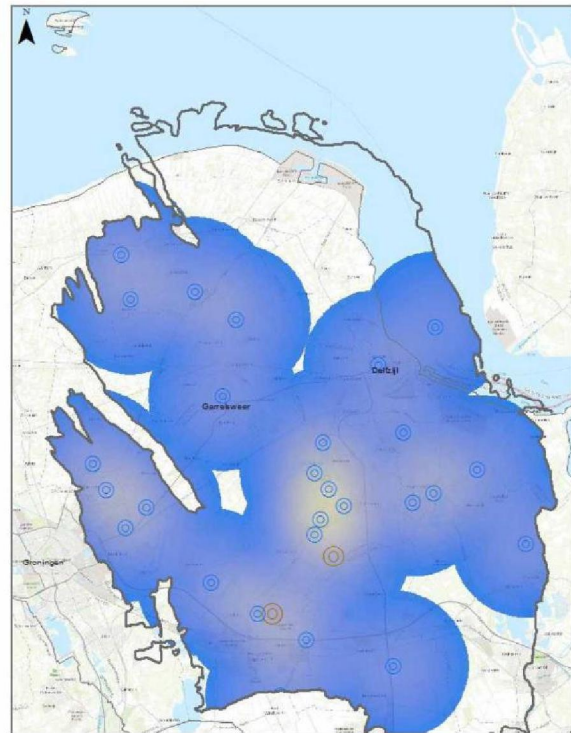
b) maart 2014- maart 2015



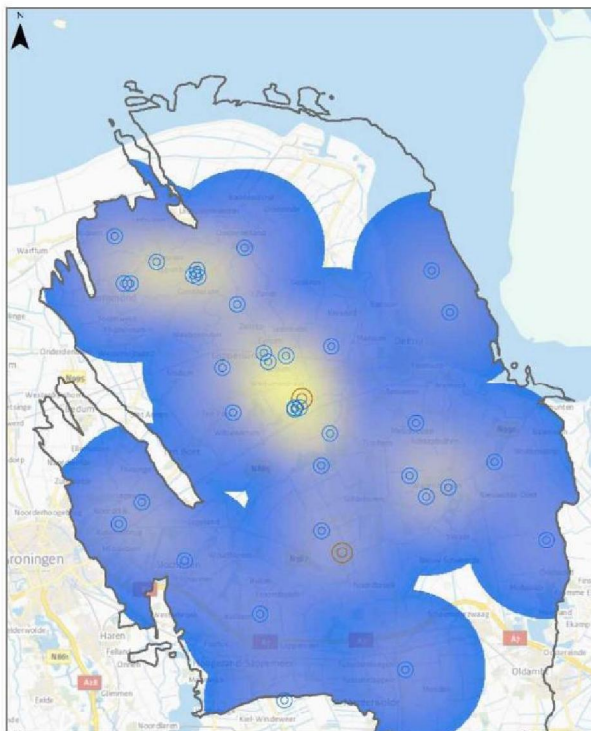
c) maart 2015- maart 2016



d) november 2015 – november 2016



e) maart 2016 – maart 2017



Figuur 3: Aardbevingsdichtheidskaarten van het Groningen veld. Deze kaarten laten zien dat er een ontwikkeling te zien is van een hoge aardbevingsdichtheid in maart 2014 (fig. a, maximum $>0,5$ bevingen/ km^2 /jaar) naar een steeds lagere aardbevingsdichtheid in november 2016 (fig. d) met een maximum van $0,12$ bevingen/ km^2 /jaar, gevolgd door een stijging van de aardbevingsdichtheid naar een maximum in het Loppersum gebied van $0,22$ bevingen/ km^2 /jaar in maart 2017 (fig. e).

2. Analyse NAM rapport: Rapportage recente aardbevingen Wirdum en Garsthuizen 2016/2017

In dit rapport [1] beantwoordt NAM de vraag of er abnormaal veel bevingen in een klein gebied zijn, en zo ja, waar wordt dit door veroorzaakt? NAM heeft de concentratie van bevingen op 10 manieren geanalyseerd (Tabel 1). Deze analyses zijn meer kwalitatief dan kwantitatief van aard.

Tabel 1: Overzicht van de door NAM uitgevoerde analyses, de reden waarom deze zijn uitgevoerd en de voorlopige conclusies.

Data element	Reden van beschouwing	Voorlopige conclusie
Aardbevings-dichtheidkaart (12 maanden)	Bekijken of er een verschuiving in aardbevingsposities heeft plaatsgevonden, test op overschrijden grenswaarde (0.25 bevingen per km ² /jaar)	Er vinden (continu) verschuivingen van aardbevingsposities plaats, het is op dit moment lastig om te zeggen dat er iets bijzonders aan de hand is. Een aardbevings-dichtheid waarde van 0.22/km ² /jaar is bereikt; dat is de hoogste in de laatste jaren.
Aardbevings-dichtheidkaart - historie	Testen of er een geheel nieuw gebied seismisch actief is geworden.	Er is geen nieuw gebied seismisch actief geworden.
Hypocentrum locatie	Bepalen of de bevingen geassocieerd zijn met een specifieke breuk of breuk-intersectie. Dit zou analyse kunnen focuseren en eventuele beheersmaatregelen kunnen suggereren.	De bevingen lijken op voorhand niet geassocieerd met een specifieke breuk (maar er is nog steeds onnauwkeurigheid rondom ondergrondse locatie bepaling).
Fault Offset kaart	Bepalen of bevingen correleren met bepaalde breuken. Geomechanische studies geven aan dat breuken met een offset van ongeveer de reservoir dikte aanleiding zouden kunnen geven tot hogere seismiciteit.	De breuken die op basis van hun verzet het meeste aanleiding zouden moeten geven tot seismiciteit lijken niet samen te vallen met de hypo-centra van de recente bevingen.
Recente productie individuele clusters	Ramp-up van productie-cluster zou in theorie een stress-verandering teweeg kunnen brengen die op zijn beurt een beving zou kunnen veroorzaken. Hier zijn ook statistische aanwijzingen voor.	Wij zien lokaal tot nu toe nog geen coherent patroon tussen productie opstarten en de ontwikkeling van seismiciteit.
Drukkaarten van het Loppersum gebied	De fysica van vloeistofstroming in een poreus medium wordt beschreven door een diffusief proces wat er voor zorgt dat een piek in productie van een bepaald cluster zich vertaalt in een in de ruimte (en tijd) sterk verspreide druk-verstoring; m.a.w. een scherpe stap omhoog in productie van een cluster zorgt al op korte afstand van dat cluster in een heel gelijkmatig verdeelde drukverstoring in het reservoir.	De drukverschillen veroorzaakt door de meest nabije clusters is klein maar er zijn mogelijk wel drukgradiënten van ongeveer een bar over een breuk tussen POS en LRM.
Stroomlijnen patroon	Poging om vast te stellen welk productie-cluster de meeste invloed heeft op het drukverloop van een bepaalde locatie	Bepalen of de vermindering in de druk in het Loppersum gebied gevarieerd heeft in de tijd en of dat correleert met de ontwikkelende seismiciteit.
Reservoirdruk-vermindering per tijds-eenheid.	Bepalen of de vermindering in de druk in het Loppersum gebied gevarieerd heeft in de tijd en of dat correleert met de ontwikkelende seismiciteit	Het druk-veld rond Wirdum wordt tevens beïnvloed door OVS, en oostelijker ook door TJM cluster naast de invloed van POS en LRM.
HC kolom thickness map	Voor een gelijke reservoir-druk daling is dit het gebied waar je de meeste compactie verwacht en waar je misschien ook meer seismiciteit zou kunnen verwachten; met andere woorden, een gelijke druk-daling heeft in een gebied met een grotere gas-kolom waarschijnlijk meer effect op de compactie dan in gebieden met een kleinere kolom.	Het bevingen cluster van Wirdum lijkt te correleren met een wat dikkere HC column; de bevingen van Garsthuizen in mindere mate.
Dalings-grafiekje in het Wirdum gebied	Bekijken of er een anomaal dalings-patroon vastgesteld kan worden in het gebied dat meer bevingen heeft laten zien.	Laat een continu dalend patroon zien zonder anormale stappen.

Conclusies en voorgestelde beheersmaatregelen

In het rapport beschrijft NAM een aantal conclusies en doet NAM enkele voorstellen voor beheersmaatregelen zoals hieronder beschreven.

Conclusies NAM:

- Geen specifieke correlatie tussen productie-inzet en seismiciteit.
- De drukafname per tijdseenheid in het Loppersum gebied neemt toe naar de gemiddelde drukafname in het veld.
- De "terugkeer" van de seismiciteit naar het Loppersum gebied kan worden verklaard door de globale drukdaling en past bij een "regression-to-the-mean" van het seismologisch model.
- Dat maakt het voorstellen van bepaalde maatregelen niet eenvoudiger.
- Voorlopige conclusie is dat dit geen historisch bijzondere situatie is en dat er vrij veel bevingen "nodig zijn" om met zekerheid te kunnen claimen dat we terug zijn in de situatie van voor de Loppersum-ingreep.

Mogelijke ingrepen voorgesteld door NAM:

- Verdere, gerichte studies naar relatie tussen oorzaak en effect.
- Minder snel verhogen van de productie van productieclusters; hoewel er twijfel is aan het effect, kan deze maatregel als een "no-regret"-maatregel worden gezien en gebruikt worden om te testen of de hypothese werkt.
- Tijdelijk of definitief sluiten van de Loppersum clusters. Omdat deze maatregel consequenties heeft voor de leveringszekerheid⁹ is hiervoor overleg nodig tussen GasTerra, Gasunie en de Minister van Economische Zaken.
- Verder ingrijpende productiemaatregelen met leveringszekerheidsimpact⁹ worden door NAM uitgewerkt in het Meet- en regelprotocol dat het bestaande SodM alarmeringsprotocol moet vervangen en dat per 1 juni ten genoegen van Inspecteur-generaal der Mijnen moet worden aangeboden aan de Minister van Economische Zaken.

Conclusie: NAM heeft geen één-op-één relatie gevonden tussen operationele parameters en de toegenomen seismiciteit. De voorgestelde beheersmaatregelen zijn relatief beperkt, en behoeven verdere uitwerking.

Oordeel experts over NAM rapportage

Gezien het grote belang dat SodM hecht aan dit advies, heeft SodM het rapport van NAM¹⁰ ook ter toetsing voorgelegd aan drie onafhankelijke externe, experts: Prof. Dr. S. Wiemer¹¹, Prof. Dr. I. Iervolino¹² en Dr. S. Baisch¹³ [2-4]. Prof. Iervolino en Dr. Baisch waren eerder lid van de Groningen "Scientific Advisory Committee" (SAC); Prof. Wiemer heeft SodM bij voorgaande Groningen adviezen ter zijde gestaan. De geraadpleegde experts hebben door deze eerdere activiteiten uitgebreide kennis van het Groningen dossier. Ze hebben daardoor naast uiterst zorgvuldig ook snel deze toetsing kunnen uitvoeren.

Op basis van de analyses van NAM is volgens de experts niet vast te stellen of het bij de bevingen in de regio Loppersum gaat om een natuurlijke, statistische (en daarmee toevallige) fluctuatie in

⁹ Het is niet duidelijk of NAM hier met leveringszekerheid de jaarlijks hoeveelheid benodigd Groningen gas of de productiecapaciteit op uur basis bedoeld.

¹⁰ Hiervoor heeft SodM een Engelse vertaling van het rapport laten maken door bureau Metamorfose vertalingen.

¹¹ Professor bij de Swiss Seismological Service, ETH Zürich, Zwitserland

¹² Professor aan de Università degli Studi di Napoli Federico II, Napels, Italië

¹³ Managing Director van Q-con, GmbH, Bad Bergzabern, Duitsland

de seismische activiteit of om een oorzakelijk, aan de productie-inzet gerelateerde terugkeer van seismiciteit in het gebied. Om hier een uitspraak over te kunnen doen is naar de mening van de experts een meer geavanceerd model noodzakelijk, dat de seismiciteit fysisch aan de productie relateert. Het huidige seismologische model van NAM heeft echter een aantal ernstige tekortkomingen [bijlage III SodM advies winningsplan Groningen]. Hierdoor is het in de ogen van de experts ongeschikt om vast te stellen of de huidige ontwikkeling van de seismische activiteit onverwacht is of niet.

De onderbouwing van de conclusie van NAM dat de terugkeer van seismiciteit gerelateerd is aan de doorgaande drukdaling en de snelheid van de drukafname vinden de experts onvoldoende. Een nadere, uitgebreidere beschouwing van de (gemodelleerde) drukdaling is hiervoor naar hun oordeel noodzakelijk, maar ontbreekt in het rapport van NAM. Hierbij moet specifiek aandacht geschonken worden aan de lokale ontwikkeling van de druk en de snelheid van de drukafname.

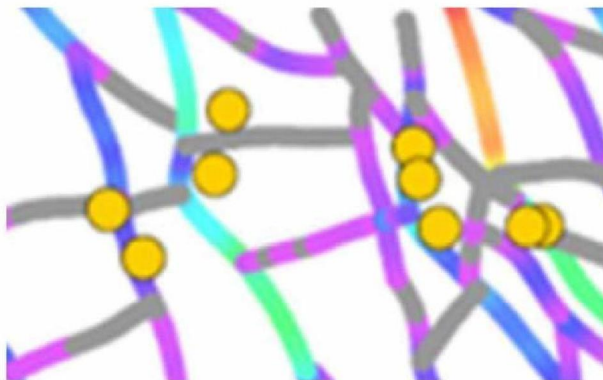
De experts zijn unaniem in hun oordeel dat de wetenschappelijke kwaliteit van de analyses van NAM tekort schiet.

Conclusie: Op basis van het oordeel van de geraadpleegde onafhankelijke externe experts concludeert SodM dat de analyses van NAM op zichzelf een onvoldoende basis vormen voor een advies over de ontwikkeling van de seismiciteit in Groningen en de mogelijkheden om deze te beheersen.

Oordeel SodM over NAM rapportage

SodM heeft de NAM rapportage beoordeeld en daarbij de mening van de experts meegenomen. SodM is van mening dat de juiste onderwerpen zijn onderzocht. In deze sectie beschrijven we een paar belangrijke observaties ten aanzien van de uitwerking van de uitgevoerde analyses.

In hoofdstuk 4, "Verband tussen recente bevingen en de breukenkaart" wordt er op basis van figuur 4 opgemerkt dat er geen specifieke breuken aan te wijzen zijn waarlangs de bevingen plaatsvinden. In deze analyse is echter geen rekening gehouden met de onnauwkeurigheid in de plaatsbepaling van de hypocentra en de onnauwkeurigheid in de breuklocaties. Zonder deze onnauwkeurigheden in acht te nemen kan de bovenstaande conclusie niet goed getrokken worden. We merken daarbij op dat in figuur 5 uit het rapport enkele clusters van bevingen wel degelijk met breuken lijken op te lijnen (Figuur 4). Deze clusters hadden een verdere bestudering verdiend om zo deze analyse grondig uit te voeren. Als er een fysische relatie kan worden gevonden, i.p.v. alleen statistische relaties, zou dat de mogelijkheid tot bestuurbaarheid van de seismiciteit in het veld verhogen.



Figuur 4: close-up van figuur 5 NAM rapport. In dit deel van de figuur lijken meerdere aardbevingen op dezelfde breuken te liggen.

In hoofdstuk 6 “Verband tussen bevingen en drukverdeling?” blijkt dat het cluster Ten Post een invloed heeft op de drukontwikkeling in het Wirdum gebied; dit effect wordt gekwalificeerd als “klein (in de orde van een 0,5 bar)”. De totale drukafname in deze grafieken is ongeveer 2,0 bar (Figuur 9 in het NAM rapport). Dit betekent dat de productie uit Ten Post, absoluut gezien, geen groot effect heeft, maar relatief gezien wel een betekenisvol effect lijkt te hebben. Volgens SodM had dit diepgaander onderzocht mogen worden, zeker in combinatie met Figuur 14 uit het NAM rapport, dat de snelheid van drukdaling in de tijd laat zien.

In hoofdstuk 9 wordt een belangrijke waarneming beschreven die niet goed wordt weergegeven in de tabel met de 10 analyses; namelijk de relatie met de snelheid van drukafname. De volgende conclusie wordt getrokken op pagina 19: “Deze drukdaling gecombineerd met de hogere “Hydro-Carbon”-kolom dikte in het Loppersum gebied, maakt dat wij concluderen dat de geobserveerde seismiciteit in overeenstemming is met de belangrijkste drivers voor seismiciteit (druk daling en dikte van de “Hydro-Carbon” kolom)”. Ook hier zou een nauwkeurigere analyse op zijn plaats zijn geweest, vooral om te kwantificeren welke productieclusters aan deze drukdaling hebben bijgedragen.

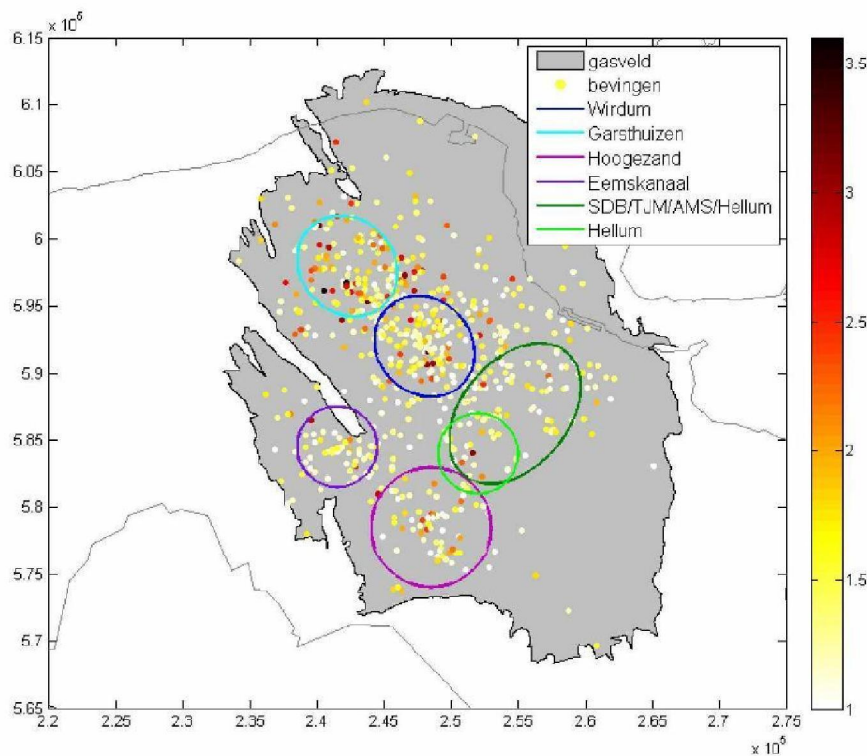
Het hoofdstuk 10 van het NAM rapport “Historisch perspectief op de aardbevingsdichtheid in Loppersum” bevat naar mening van SodM een onjuiste methode om de regionale aardbevingsdichtheid te bepalen. In deze analyse worden alleen de aardbevingen waarvan de hypocentra in een beperkt, relatief klein gebied liggen, meegenomen in de analyse. De waardes gegenereerd met deze methode, laten een lagere aardbevingsdichtheid zien dan op dezelfde locatie op de globale aardbevingsdichtheidskaarten waarbij alle bevingen (magnitude ≥ 1.0) worden meegenomen, zoals gepresenteerd in Figuur 3. Het gebruik van de grenswaarde van het alarmeringsprotocol op deze grafieken, zoals gedaan in figuur 15 uit het NAM rapport, is daarom niet zinvol omdat de werkelijk waargenomen aardbevingsdichtheid veel hoger kan zijn.

Samenvattend zijn naar de mening van SodM enkele analyses niet zo diepgaand uitgevoerd als mogelijk zou zijn geweest met de aanwezige data en gezien de stand der wetenschap.

Conclusie: SodM is van mening NAM wel de juiste onderwerpen heeft onderzocht, maar dat enkele analyses meer uitgediept hadden moeten worden om wetenschappelijk gewicht aan de rapportage te kunnen geven.

3. Regionale analyse relatie ontwikkeling drukdaling en de aardbevingsdichtheid

In hoofdstuk 3 is toegelicht dat de analyses van de NAM onvoldoende basis vormen voor een advies over de ontwikkeling van de seismiciteit in Groningen en over de mogelijkheden om de seismiciteit te beheersen. Dit vormt voor SodM de aanleiding om de ontwikkeling van de drukdaling, snelheid van drukdaling en aardbevingsdichtheid nader te analyseren. In de analyse is met name gekeken naar de ontwikkelingen in de regio's Wirdum en Garsthuizen-Startenhuizen. Daarnaast is ter vergelijking ook gekeken naar de ontwikkelingen in de regio's Hoogezand-Sappemeer-Slochteren, Eemskanaal, Siddeburen-Tjuchem-Amsweer-Hellum en naar de "subregio" Hellum (Figuur 5). De voor de analyse gebruikte drukken zijn aangeleverd door NAM. Ze zijn door NAM berekend met het NAM Groningen reservoirmodel, gekalibreerd op basis van de daadwerkelijke productie tot eind februari 2017. SodM heeft de statistische verbanden tussen de waargenomen veranderingen in de drukdaling, de snelheid van drukdaling en de aardbevingsdichtheid laten analyseren door het CBS [5].



Figuur 5: Overzicht van het Groningen gasveld, alle bevingen met een magnitude ≥ 1.0 en de regio's die zijn meegenomen in de analyse.

3.1. Theoretische relatie tussen drukdaling, snelheid van drukdaling en bevingen

In deze sectie beschrijven we de theoretische relatie tussen drukdaling, snelheid van drukdaling en bevingen, om het belang van deze goed in hun context te kunnen plaatsen.

Gaswinning leidt tot daling van de reservoirgasdruk (poriëndruk). Die daling veroorzaakt een verandering van de mechanische spanningen (stress) in de ondergrond. De verandering in mechanische spanningen heeft twee gevolgen (Figuur 6). Het eerste gevolg is reservoircompactie (een vorm van vervorming oftewel strain). De gesteentelaag waaruit het gas wordt geproduceerd, wordt samengedrukt wat aan het aardoppervlak indirect waarneembaar is als bodemdaling. Het tweede gevolg is een veranderde spanningstoestand op bestaande breuken die kan leiden tot

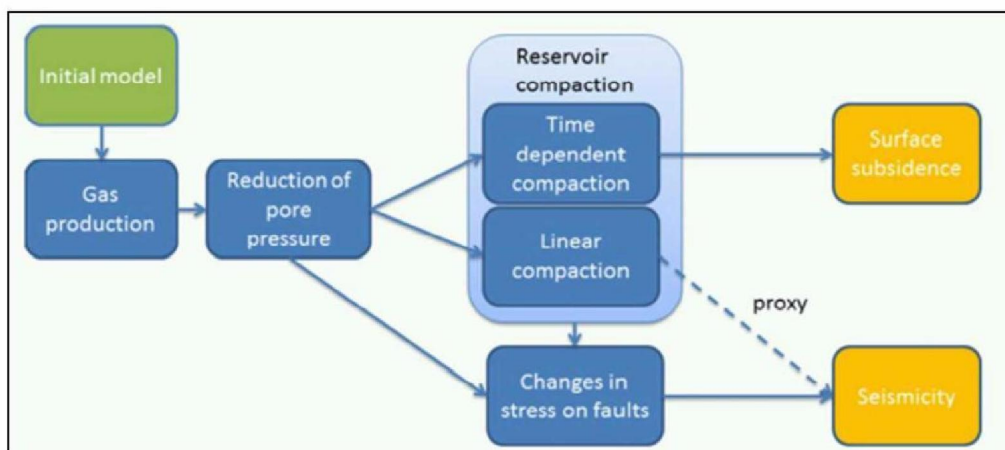
bevingen (lokale, abrupte verschuivingen van gesteente langs bestaande geologische breuken). Een complicerende factor is dat de compactie van het reservoir op zichzelf ook weer tot een verandering van spanningen leidt, die bijdraagt aan de veranderde spanningstoestand op de breukvlakken. Ten slotte veroorzaken de bevingen zelf ook nog een verandering van de spanningen op de breuken (zie tekstvak hiernaast).

Door de doorgaande gasdrukval zal steeds meer spanning op de bestaande breuken opbouwen. Bij gelijkblijvende snelheid van drukdaling worden steeds meer delen van de breuken kritisch gespannen. Hierdoor kunnen er steeds meer nieuwe bevingen ontstaan, en kan het aantal bevingen per tijdseenheid toenemen.

Op het moment dat er sprake is van veranderingen in de snelheid van winning kunnen ook niet-elastische kruip en breekgedrag op breuken een belangrijke rol spelen. Bij een versnelling van de drukdaling kunnen hierdoor meer en zwaardere bevingen gaan optreden, terwijl bij een afname van de snelheid van drukdaling er juist minder bevingen kunnen gaan optreden. Een deel van de opgebouwde spanningen kan bij een lagere snelheid van drukdaling langzaam zonder bevingen wegvloeien. In welke mate de snelheid van drukdaling invloed heeft is nog steeds onderwerp van wetenschappelijk onderzoek en is nog niet eenduidig bepaald.

In de literatuur worden verschillende relaties tussen veranderingen in de ondergrond en het optreden van bevingen beschreven. In al deze modellen ontstaan door de drukafname steeds nieuwe bevingen. Er is echter geen consensus over het effect van de snelheid van drukafname op het aantal en de sterkte van de bevingen. Aan de ene kant van het spectrum staan de modellen waarbij de snelheid van drukafname geen effect heeft op het totale aantal bevingen, aan de andere kant staan de modellen die gevoeliger zijn voor veranderingen in de snelheid van drukafname. In deze modellen worden de effecten van breekgedrag op breuken en niet-seismische kruip meegenomen.

Tijdens een beving wordt de spanning op het deel van de breuk dat beweegt ontladen. Door de verplaatsing wordt echter extra spanning opgebouwd op de naastliggende delen van de breuk waar geen verplaatsing optreedt. Als dit deel van de breuk ook kritisch gespannen is kan door deze extra spanning dit deel van de breuk mee gaan bewegen waardoor een zwaardere beving ontstaat. Het is ook mogelijk dat dit deel van de breuk niet meteen meebeweegt, maar bijvoorbeeld de volgende dag waardoor een nieuwe beving ontstaat. Dit wordt bij grote aardbevingen naschokken genoemd. Indien sprake is van meerdere kleine bevingen wordt van een cluster van bevingen gesproken.



Figuur 6: Afhankelijkheden tussen productie, drukdaling, compactie, bodemdaling, spanningen op de breuken en aardbevingen (zie ook bijlage III SodM advies winningsplan Groningen 2016)

Deze laatste categorie modellen voorspellen dat het aantal bevingen extra toeneemt bij hogere snelheden van drukafname. Voor deze modellen geldt dat het aantal bevingen per tijdseenheid bepaald wordt door de combinatie van drukafname en de snelheid van drukafname. Door de snelheid van drukafname te beperken zou volgens deze modellen de toename van het aantal bevingen per tijdseenheid kunnen worden geminimaliseerd. De mate waarin de snelheid beperkt moet worden verschilt echter per model.

Technisch is het eenvoudiger om compactie te berekenen dan de veranderingen in de spanningen op de breuken. Om deze reden heeft NAM er in haar seismologische model voor gekozen compactie als een benadering (proxy) voor de oorzaak van de bevingen te gebruiken. Het gebruik van compactie als benadering is gerechtvaardigd zolang er geen bruikbaar en werkbaar alternatief fysisch model is en bij het ontbreken van significante veranderingen in de productie of het productiepatroon, (b.v. de sterke reductie van de winning in bepaalde gebieden). Kenmerkend voor dit model is dat het optreden van bevingen en de locatie van die bevingen sterk bepaald worden door de totaal opgebouwde hoeveelheid compactie. Het huidige NAM model is daardoor slechts in beperkte mate gevoelig voor veranderingen in de snelheid van de drukkaling.

Ten slotte kan het Groningen gasveld moeilijk als één homogeen geheel beschouwd worden. Er zijn duidelijke regionale verschillen in het aantal en de sterkte van de bevingen tussen het meest actieve gebied rond Loppersum, de regio's rond Eemskanaal en ten noorden van Hoogezand-Sappemeer en bijvoorbeeld het zuidoosten van het veld. Dit komt doordat niet alle breuken dezelfde oriëntatie hebben en daardoor niet op hetzelfde moment (bij dezelfde drukafname) kritisch gespannen worden en bevingen gaan geven. Ook is de druk en de snelheid van drukafname niet overal in het veld hetzelfde.

Wel staan de verschillende delen van het veld in meer of mindere mate met elkaar in drukverbinding. Als er bijvoorbeeld een drukafname door productie buiten het centrale deel van het veld plaatsvindt, zal dit tot op termijn ook leiden tot drukkaling in de overige delen van het veld (bijvoorbeeld de regio rond Loppersum). De mate van drukkaling en het tijdstip waarop deze optreedt verschillen daardoor per locatie in het veld. Dit kan met een zogenaamde reservoirsimulator worden uitgerekend.

3.2. Statistische relatie tussen drukkaling, snelheid van drukkaling en bevingen

Het CBS heeft op verzoek van SodM geanalyseerd of er een statistisch betekenisvolle relatie¹⁴ is tussen de drukafname, de snelheid van drukafname en de aardbevingsdichtheid [5]. CBS heeft zowel gerekend met de gemiddelde snelheid van drukafname over een periode van telkens één jaar als met de snelheid van drukafname over een periode van telkens 9 maanden, waarbij de periode waarover gemiddeld wordt, steeds een maand wordt opgeschoven¹⁵. De ontwikkeling van de snelheid van drukafname met de tijd is in verschillende regio's vergeleken met de ontwikkeling van de maximale aardbevingsdichtheid, tijdens dezelfde voortschrijdende perioden. Hierbij wordt de maximale aardbevingsdichtheid binnen een regio bepaald op basis van alle bevingen met magnitude 1,0 of groter binnen het Groningen gasveld.

In alle gebieden, behalve de regio Siddeburen-Tjuchem-Amsweer-Hellum, is er volgens het CBS sprake van een betekenisvolle en redelijk sterke relatie (kruiscorrelatie – zie tekstvak volgende pagina) tussen de ontwikkeling van de gemiddelde jaarlijkse snelheid van drukafname en de

¹⁴ Statistische significante kruiscorrelatie

¹⁵ Dit komt overeen met de definitie van de aardbevingsdichtheid als signaalparameter, welke steeds wordt bepaald op basis van alle bevingen met een magnitude 1,0 of groter binnen een periode van 1 jaar, waarbij het jaar steeds een maand opgeschoven wordt in de tijd.

ontwikkeling van de maximale, regionale aardbevingsdichtheid (Tabel 2). Een versnelling van de drukafname valt daarbij overwegend samen met een toename van de aardbevingsdichtheid en een vermindering van de drukafname overwegend met een afname van de aardbevingsdichtheid¹⁶. De relatie is het sterkste zonder een vertraging in de reactie van de bevingen op de ontwikkelingen in de druk toe te passen. Een vertraging tot enkele maanden geeft echter ook nog een duidelijke relatie. Dit komt voornamelijk door de lengte van de gekozen voortschrijdende perioden.

Tabel 2: Overzicht van de maximale kruiscorrelatie-coëfficiënten tussen de ontwikkeling van de snelheid van drukdaling en de ontwikkeling van de maximale aardbevingsdichtheid binnen de verschillende regio's. Met kleuren is aangegeven of de relatie redelijk sterk is (groen) en matig sterk is (oranje).

regio	Kruiscorrelatie-coëfficiënt (t=0)	Kruiscorrelatie-coëfficiënt (t=0)
	Periode van 1-jaar	Periode van 9-maanden
Wirdum	-0,686	-0,666
Garsthuizen-Startenhuizen	-0,697	-0,653
Hoogezand-Sappemeer/Slochteren	-0,616	-0,444
Eemskanaal	-0,574	-0,471
SDB/TJM/AMS/Hellum	-0,357	-0,370
Hellum	-0,466	-0,531

In de regio Siddeburen-Tjuchem-Amsweer-Hellum en de subregio Hellum is sprake van een matig sterke gelijkens tussen de snelheid van de drukafname en de maximale aardbevingsdichtheid. In deze regio wordt de maximale aardbevingsdichtheid sinds 2014 met name bepaald door bevingen in de subregio Hellum. Deze subregio ligt tussen de centrale clusters Siddeburen, Tjuchem, Oudeweg, Schaapbulten en Amsweer en de zuidelijke clusters Zuiderveen, Kooipolder en De Eeker. De overeenkomst voor de sub-regio is dan ook sterker dan voor de grote regio, maar is minder sterk dan voor de andere regio's.

Voor alle regio's geldt dat de overeenkomst tussen de ontwikkelingen in de snelheid van drukafname en de aardbevingsdichtheid, op een tekenwisseling na (negatieve kruiscorrelatie), opmerkelijk zijn (Figuur 7; [5]). Het is dan ook plausibel dat de lokale snelheid van drukdaling mede bepalend is voor het ontstaan van bevingen. Met uitzondering van de regio's Wirdum en Garsthuizen-Startenhuizen is de algemene trend een nog steeds afnemende aardbevingsdichtheid. De snelheid van drukafname in deze regio's is de afgelopen jaren afgenomen (van

Kruiscorrelatie

De kruiscorrelatie geeft de mate van gelijkens tussen twee verschillende signalen weer waarbij deze signalen ten opzichte van elkaar in de tijd verschoven worden. Het is een statistisch instrument om te onderzoeken of een van de signalen een mogelijk vertraagd gevolg is van het andere signaal en om de grootte van die vertraging vast te stellen.

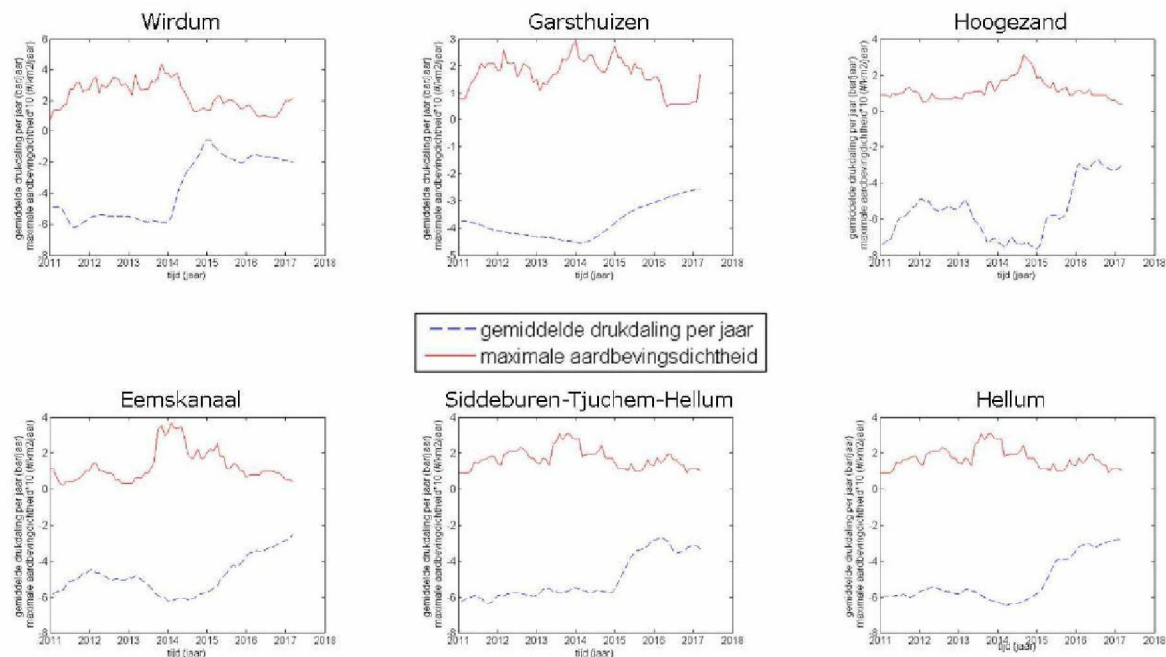
De kruiscorrelatie-coëfficiënt geeft de mate van gelijkens aan. Indien beide signalen perfect overeenkomen is deze coëfficiënt 1. Als de signalen perfect overeenkomen op een tekenwisseling na (de een is positief als de ander negatief is en vice versa) is de coëfficiënt -1. Bij een kruiscorrelatie-coëfficiënt groter dan (+/-)0,5 wordt gesproken van een redelijk sterke correlatie.

In de huidige analyse wordt op regionaal niveau de gelijkens tussen de ontwikkeling van de snelheid van drukafname met de tijd en de ontwikkeling van de maximale aardbevingsdichtheid met de tijd onderzocht. Doordat de drukafname als negatief is gedefinieerd ontstaat een negatieve correlatie (de drukafname wordt meer negatief als de maximale aardbevingsdichtheid meer positief wordt).

¹⁶ Aangezien de drukafname als negatief is gedefinieerd ontstaat een negatieve correlatie (de drukafname wordt meer negatief, terwijl de maximale aardbevingsdichtheid meer positief wordt).

~5,5 bar/jaar naar 2,5-3,5 bar/jaar) en is nu of constant of neemt nog steeds iets af [5].

Conclusie: Er is sprake van een statistisch betekenisvolle, redelijk sterke relatie tussen de regionale, gemiddelde snelheid van drukafname en de ontwikkeling van de regionale maximale aardbevingsdichtheid.



Figuur 7: De ontwikkeling van de snelheid van gemiddelde drukdaling (gemeten over een jaar) en de maximale aardbevingsdichtheid in de regio's Wirdum, Garsthuizen, Hoogezand, Eemskanaal, Siddeburen-Tjuchem-Hellum en de subregio Hellum alleen.

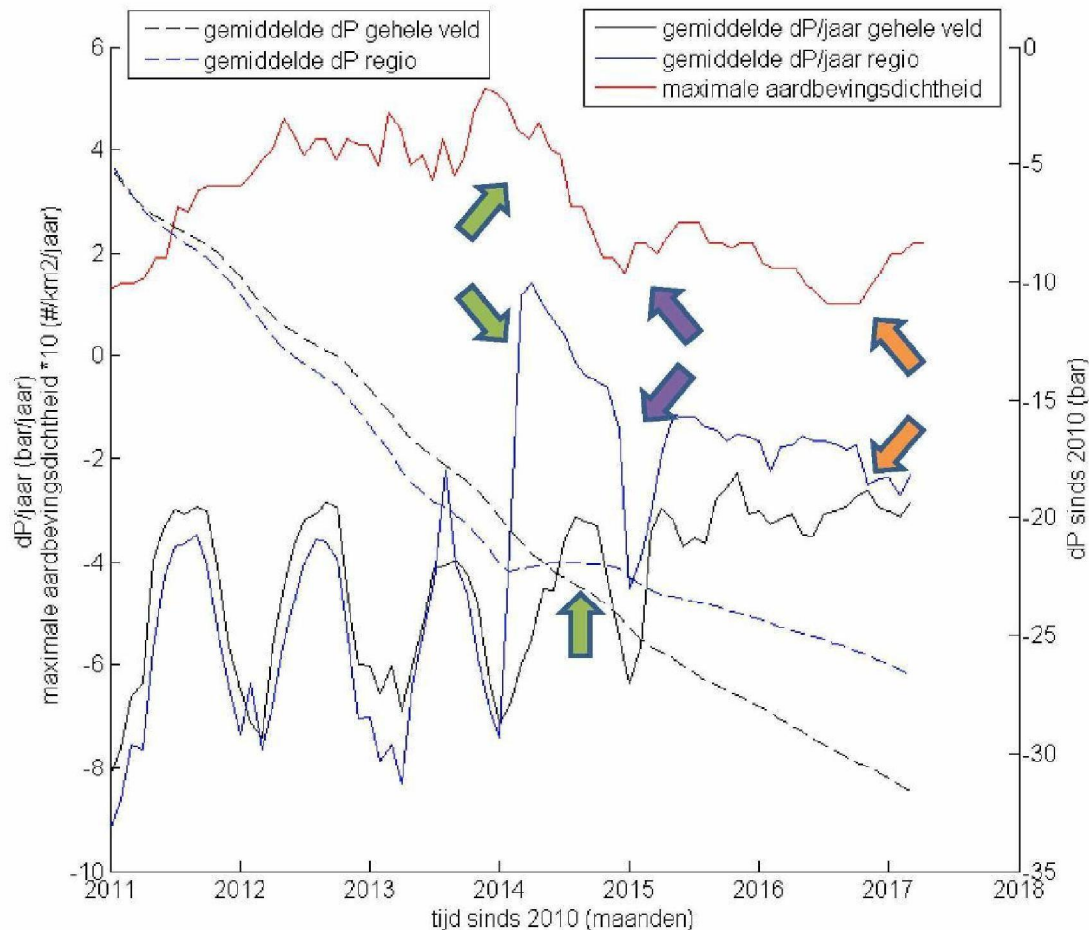
3.3. Regio Wirdum

In de regio Wirdum is na de productie ingreep van januari 2014, de maximale aardbevingsdichtheid sterk afgenomen. In 2014 daalde ook de snelheid van drukafname sterk, waardoor de gasdruk in 2014 in het gebied vrijwel constant bleef (groene pijlen in Figuur 8). Sinds deze ingreep, waarbij de productie uit de Loppersumclusters werd beperkt tot maximaal 3 miljard Nm³, zijn er twee perioden geweest waarin de regionale, maximale aardbevingsdichtheid is toegenomen.

De eerste toename van de maximale aardbevingsdichtheid trad op in de eerste helft van 2015. Deze toename wordt vooraf gegaan door een sterke toename van de drukdalingsnelheid in december 2014/januari 2015 van ~1 bar/jaar tot 4,5 bar/jaar¹⁷ (paarse pijlen in Figuur 8). Tijdens deze periode met toename van de aardbevingsdichtheid en verhoogde snelheid van drukafname trad bij Wirdum op 6 januari 2015 een beving op met een magnitude van 2,7.

De tweede toename in de maximale aardbevingsdichtheid vindt plaats in november 2016 (oranje pijlen in Figuur 8). Ook deze toename wordt voorafgegaan door een versnelling van de gemiddelde drukafname in deze regio in oktober 2016. Deze versnelling (met een factor 1,5) valt samen met het aanzetten van de productieclusters Ten Post en Overschild na een zomer waarin vrijwel niet uit deze clusters werd geproduceerd. Een samenhang tussen het aanzetten van deze clusters en de versnelling van de drukafname lijkt zeer aannemelijk.

¹⁷ In december 2014 tot maart 2015 is er 0,79 bcm uit de clusters Overschild en Ten Post geproduceerd, terwijl in de 3 maanden daarvoor en daarna slechts 0,14 bcm, respectievelijk 0,16 bcm uit deze clusters is geproduceerd.



Figuur 8. De ontwikkeling van de drukkaling, de snelheid van drukkaling (verandering in drukkaling ten opzichte van de voorgaande maand) (blauwe lijnen) en de maximale aardbevingsdichtheid (rode lijn) in de regio Wierden. Ter referentie is ook de ontwikkeling van de drukkaling en snelheid van drukkaling gemiddeld over het hele Groningen gasveld weergegeven (zwarte lijnen).

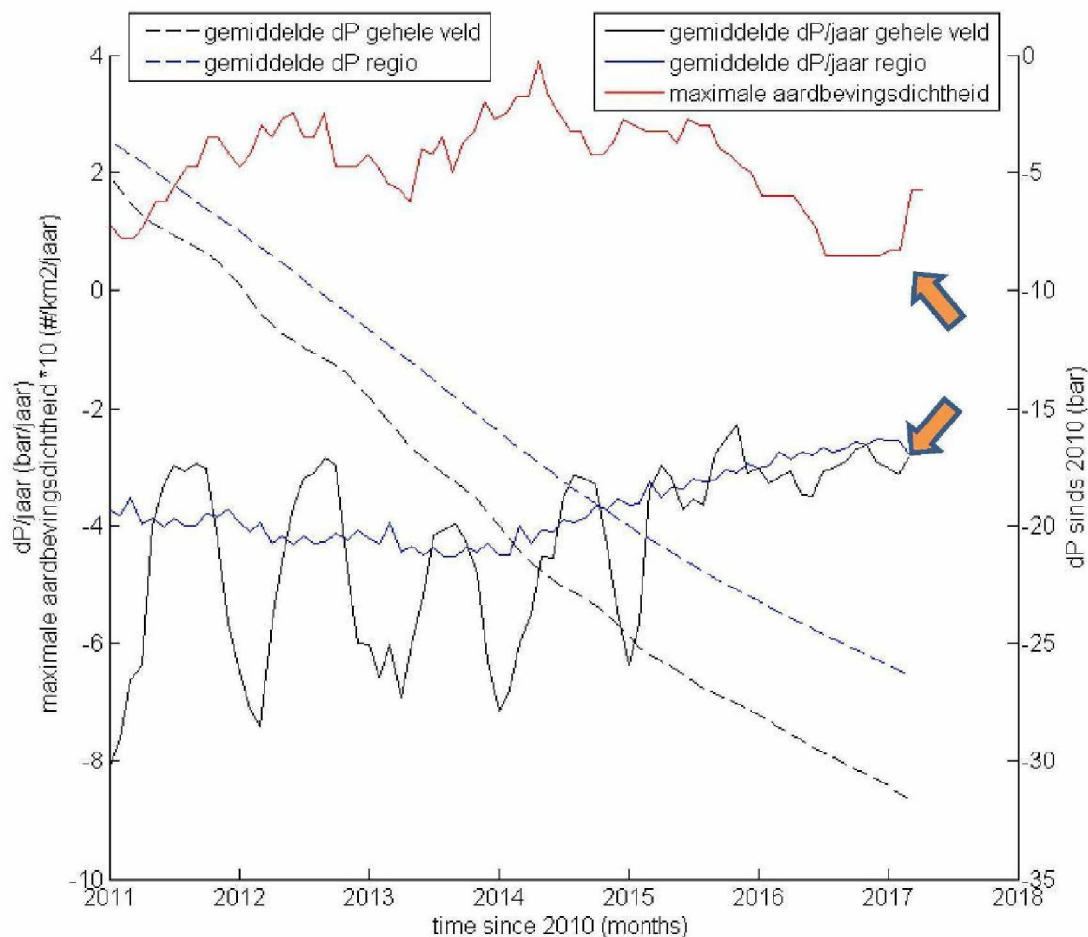
Sinds de eerste toename in de snelheid van drukafname en aardbevingsdichtheid van eind 2014-begin 2015 is er in de regio Wierden een totale extra drukkaling opgetreden van ~4-5 bar. Hierdoor is de spanning op de breuken in deze regio langzaam verder toegenomen. Gegeven de door CBS gevonden relatie tussen de snelheid van drukafname en de maximale aardbevingsdichtheid is het aannemelijk dat de versnelling van de drukafname in november 2016 de eerste beving bij Wierden ($M=1,9$ op 31 oktober 2016) heeft veroorzaakt. Door de extra spanning op de naastgelegen delen van de breuk door deze beving zijn waarschijnlijk de volgende delen van de breuk geactiveerd en is er in november 2016 een groep van bevingen in deze regio opgetreden (zie ook tekstvak pagina 17).

Conclusie: Ondanks de beperkte productiehoeveelheden valt het inschakelen van de clusters Ten Post en Overschild in oktober 2016 samen met een toename van de snelheid van de drukafname in de regio Wierden met een factor 1,5, waarna in november 2016 de bevingen bij Wierden optraden. Een oorzakelijk verband is waarschijnlijk.

3.4. Regio Garsthuizen-Startenhuizen

Ook bij de bevingen van Garsthuizen-Startenhuizen is er een kleine versnelling van de drukafname voorafgegaan aan de bevingen in februari 2017 (oranje pijlen in Figuur 9). Ook in deze regio zijn de breuken door de doorgaande drukdaling sinds de eerdere productie ingrepen verder onder spanning komen te staan. Het ligt in de lijn der verwachting dat de relatief kleine verhoging van de snelheid van drukafname ook hier een groep van bevingen heeft kunnen activeren. Gegeven de grote afstand van dit gebied tot de productieclusters is de toename in de snelheid van drukafname niet goed te relateren aan veranderingen in productie-inzet.

Conclusie: De toename in de aardbevingsdichtheid in de regio Garsthuizen-Startenhuizen is waarschijnlijk veroorzaakt door de doorgaande drukdaling. Het is aannemelijk dat een versnelling van de drukafname tot de activatie van een cluster van bevingen heeft geleid. Deze is echter door de grote afstand tot de productieclusters niet goed te relateren aan veranderingen in productie-inzet.



Figuur 9. De ontwikkeling van de drukdaling, de snelheid van drukdaling (verandering in drukdaling ten opzichte van de voorgaande maand) en de maximale aardbevingsdichtheid in de regio Garsthuizen/Startenhuizen. Ter referentie is ook de ontwikkeling van de drukdaling en snelheid van drukdaling gemiddeld over het hele Groningen gasveld weergegeven.

3.5. Samenvatting en conclusies

De nadere analyse van de recente bevingen bij Wirdum en in iets mindere mate bij Garsthuizen-Startenhuizen laat zien dat in beide gebieden een versnelling van de drukafname is opgetreden voorafgaand aan het optreden van de bevingen. Dit past binnen de fysische relatie tussen drukafname, snelheid van drukafname en het ontstaan van bevingen: Door de (weer) doorgaande drukafname zijn de breuken in de regio Loppersum kritisch gespannen. Een relatief beperkte verandering in het systeem zoals een versnelling van de drukafname kan dan een aantal bevingen veroorzaken, waardoor de aardbevingsdichtheid sterk toeneemt. Een verandering in het systeem zou echter ook kunnen leiden tot een zwaardere beving.

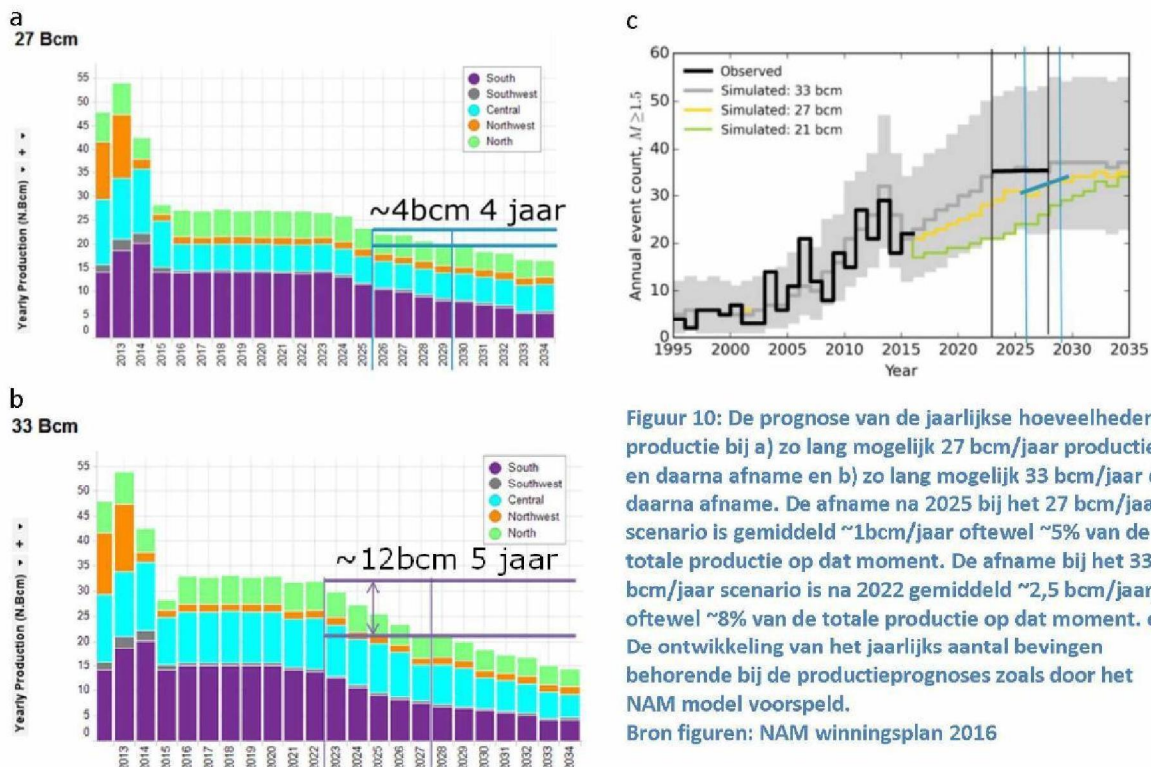
Het valt SodM op dat de versnelling in drukafname samenvalt met het inschakelen van de clusters Ten Post en Overschild in oktober 2016. Het is waarschijnlijk dat, ondanks de beperkte productiehoeveelheden, de versnelde drukafname het gevolg is van het inschakelen van deze clusters en mogelijk dus ook bevingen veroorzaakt hebben. Deze clusters worden gedurende het jaar aan-en uitgeschakeld naar een zogenaamde "hot-standby" stand om snel te kunnen opschalen voor het geval dat voor de leveringszekerheid nodig is

4. Onderbouwing mate van productieafname bij overschrijding grenswaarde

NAM concludeert dat de geobserveerde toename in de seismiciteit verwacht mag worden op basis van het door NAM gehanteerde model van de ondergrond en dat deze niet eenduidig te koppelen is aan een bijzondere productie inzet. De bevingen kunnen volgens NAM wel verklaard worden door de globale doorgaande drukkaling. SodM onderschrijft deze conclusie. Door de doorgaande drukkaling zijn de breuken in de regio Loppersum kritisch gespannen. Een relatief kleine verandering in het systeem, zoals een versnelling van de drukafname, kan dan bevingen veroorzaken.

De maatregelen die NAM voorgesteld heeft om de seismiciteit te beheersen als een of beide grenswaarden van het alarmeringsprotocol overschreden worden zijn naar de mening van SodM (te) beperkt en moeten nog uitgewerkt worden. SodM concludeert op basis van de onderschreven conclusie van NAM en de activerende werking van versnellingen van de drukafname, dat alleen een verdere verlaging van het productieniveau (waarbij fluctuaties nog steeds zo veel mogelijk worden vermeden) de seismiciteit op termijn weer zou kunnen verlagen.

De vraag is: met hoeveel zou de productie in eerste instantie verlaagd moeten worden om een effect te sorteren? Om deze vraag te kunnen beantwoorden heeft SodM teruggerepen op het technische addendum bij het winningsplan Groningen 2016. In dit addendum worden door NAM voor 3 productiescenario's (33 bcm¹⁸, 27 bcm en 21 bcm) de verwachte jaarlijkse productiehoeveelheden gegeven. In twee van deze scenario's is sprake van een afname van de jaarlijkse productiehoeveelheden: 33 bcm (na 2022) en 27 bcm (na 2025) (Figuur 10a&b). Daarnaast wordt in het technisch addendum de ontwikkeling van het jaarlijks aantal bevingen behorende bij deze productieprognoses, zoals voorspeld door het NAM model, weergegeven (Figuur 10c).



Figuur 10: De prognose van de jaarlijkse hoeveelheden productie bij a) zo lang mogelijk 27 bcm/jaar productie en daarna afname en b) zo lang mogelijk 33 bcm/jaar en daarna afname. De afname na 2025 bij het 27 bcm/jaar scenario is gemiddeld ~1bcm/jaar oftewel ~5% van de totale productie op dat moment. De afname bij het 33 bcm/jaar scenario is na 2022 gemiddeld ~2,5 bcm/jaar, oftewel ~8% van de totale productie op dat moment. c) De ontwikkeling van het jaarlijks aantal bevingen behorende bij de productieprognoses zoals door het NAM model voorspeld.

Bron figuren: NAM winningsplan 2016

¹⁸ 1 bcm = 1 miljard Nm³

In het 27 bcm scenario is er een afname in de productiehoeveelheden van ~ 1 bcm/jaar in de jaren 2026 t/m 2029. Ondanks deze afname in de productiehoeveelheden is er nog steeds sprake van een toename van het aantal bevingen (blauwe lijn in Figuur 10c). Dit betekent dat een productieafname van $\sim 5\%$ volgens het seismologisch model van NAM niet voldoende is om de toename van bevingen te stoppen.

In het 33 bcm scenario is de afname in de productiehoeveelheden in de jaren 2023 t/m 2027 met $\sim 2,5$ bcm/jaar duidelijk groter. De ontwikkeling van de door NAM voorspelde jaarlijkse seismiciteit laat voor deze afname in productiehoeveelheden een constant niveau van activiteit zien (zwarte lijn in Figuur 10c).

Aangezien het doel is de seismiciteit (op termijn) weer te verlagen adviseert SodM een afname van de productiehoeveelheden van ten minste 10% ten opzichte van het huidige productieniveau. Hierbij wil SodM wel opmerken dat de termijn waarop de ingreep effectief zal zijn afhangt van de afstand tussen de productieclusters waar de ingreep wordt toegepast, en het gebied waar de bevingen optreden. Hoe groter deze afstand, hoe langer het duurt voordat een effect van de ingreep verwacht mag worden.

Referenties

- [1] Rapportage recente aardbevingen Wirdum en Garsthuizen 2016/2017, 28 maart 2017.
- [2] Review of NAM-report, entitled "Report recent earthquakes Wirdum and Garsthuizen 2016/2017", Prof. Dr. S. Wiemer, ETH Zürich, Zwitserland.
- [3] Review of the report on recent earthquakes (Wirdum and Garsthuizen 2016), Prof. Dr. I. Iervolino, Università degli Studi di Napoli Federico II, Napels, Italie.
- [4] Review of NAM-report, entitled "Report recent earthquakes Wirdum and Garsthuizen 2016/2017", Dr. S. Baisch, Q-con GmbH, Bad Bergzabern, Duitsland.
- [5] Interim report: correlations between reservoir pressure and earthquake rate, April 2017, Frank P. Pijpers, CBS.