

eRetouradres: Postbus 80015, 3508 TA Utrecht

Staatstoezicht op de Mijnen  
T.a.v. de heer H. van der Meyden  
Postbus 24037  
2490 AA DEN HAAG

**Onderwerp**

Effect van productie-variaties en –fluctuaties  
op de seismiciteit van het Groningen veld

Geachte heer van der Meyden,

In de besluitvorming over het Groningen veld worden de jaarproductie en randvoorwaarden voor de verdeling daarvan over het Groningen veld vastgelegd. De feitelijke vraag naar Groningen gas is complexer, met seizoensgebonden variaties en fluctuaties op kortere tijdschaal (uur, dag, week, maand).

Ten behoeve van haar advisering heeft SodM per mail dd. 2 december 2015 aan TNO gevraagd om de beschikbare kennis over de relatie tussen gasproductie en seismiciteit op kortere tijdschalen dan een jaar te evalueren. Bijgaande notitie geeft een overzicht en een evaluatie van de kennis, die op dit onderwerp recent voor het Groningen veld is ontwikkeld.

Hoogachtend,

Dr. I.C. Kroon  
Hoofd Adviesgroep Economische Zaken

Princetonlaan 6  
3584 CB Utrecht  
Postbus 80015  
3508 TA Utrecht

[www.tno.nl](http://www.tno.nl)

T +31 88 866 42 56

**Datum**

30 november 2015

**Onze referentie**

AGE 15-10.070

**E-mail**

[ingrid.kroon@tno.nl](mailto:ingrid.kroon@tno.nl)

**Doorkiesnummer**

+31 88 866 45 31

**Doorkiesfax**

+31 30 256 45 05

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

Handelsregisternummer 27376655.

**Datum**  
30 november 2015

**Onze referentie**  
AGE 15-10.070

**Blad**  
2/9

## Het effect van productievariaties en -fluctuaties op de seismiciteit van het Groningen veld

### Inleiding

In de besluiten over het winningsplan voor het Groningen veld worden sinds januari 2014 productiebeperkende maatregelen opgenomen, die beogen het seismisch risico te verminderen tot een acceptabel niveau.

In de besluitvorming worden de jaarproductie en randvoorwaarden voor de verdeling van de jaarproductie over het Groningen veld vastgelegd. De feitelijke vraag op Groningen is complexer geweest, met seizoensgebonden variaties en fluctuaties op kortere tijdschaal (maand, week, dag, uur). Ook in de toekomst kunnen dergelijke variaties en fluctuaties optreden, afhankelijk van de vraag naar Groningen gas, de keuze voor het gassysteem (huidig<sup>1</sup> of 'omgekeerd'<sup>2</sup>) en te stellen randvoorwaarden aan de productie. Voor verdere besluitvorming bestaat de behoefte aan kennis over de relatie tussen gasproductie en seismiciteit op kortere tijdschalen dan een jaar.

Deze notitie geeft een overzicht en evaluatie van de kennis van het effect van seizoensgebonden variaties en van korter durende fluctuaties op de seismiciteit, die recent voor het Groningen veld is ontwikkeld.

### Overzicht studies

In het kader van het winningsplan Groningen is onderzoek uitgevoerd door NAM met medewerking van Shell Research en van Exxon-Mobil Upstream Research (URC). Onafhankelijk daarvan hebben het CBS en TNO onderzoek verricht op verzoek van SodM. De bijlage bevat een overzicht van de in deze notitie aangehaalde rapporten en notities.

### Seizoensgebonden variaties

In deze paragraaf wordt eerst ingegaan op het historische - sterk seizoensgebonden - verloop van de productie van het Groningen veld. Vervolgens worden de studies

---

<sup>1</sup> Het huidige gassysteem is primair gebaseerd op gas uit het Groningen veld aangevuld met gas uit andere bronnen, geconverteerd naar Groningen kwaliteit.

<sup>2</sup> In een omgekeerd gassysteem [E1] wordt gas na kwaliteitsconversie primair geleverd uit andere bronnen dan Groningen en fungeert Groningen als sluitpost.

**Datum**  
30 november 2015

**Onze referentie**  
AGE 15-10.070

**Blad**  
3/9

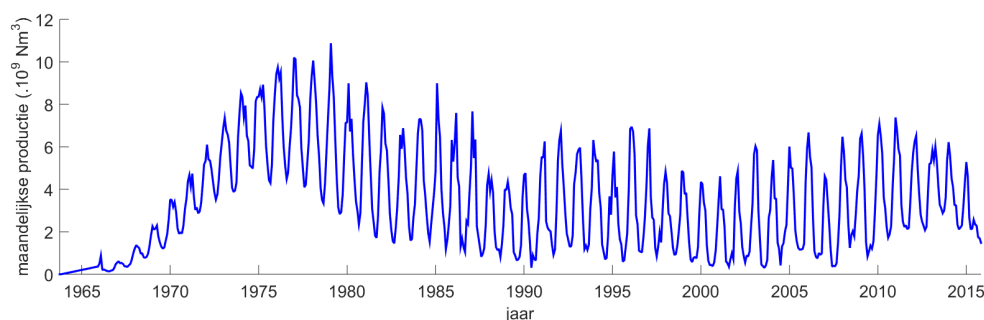
besproken, die de effecten op de seismiciteit hebben onderzocht. Een discussie sluit de paragraaf af.

## Historisch verloop gasproductie Groningen

Figuur 1 toont het historische verloop van de gasproductie uit het Groningen veld op maandbasis. Het productieprofiel wordt langjarig gemiddeld gekenmerkt door de volgende fasen:

- 1963 tot ~1975: snelle toename gasproductie;
- ~1975 tot ~1990: daling gasproductie<sup>3</sup>;
- ~1990 tot ~2003: relatief constant en laag niveau gasproductie;
- ~2003 tot 2014: stijging gasproductie;
- 2014 tot nu: daling gasproductie tgv. productiebeperkende maatregelen.

Binnen elk jaar zijn sterke seizoensgebonden variaties te zien. Die variaties zijn het gevolg van de rol, die het Groningen veld in de afgelopen ruim 50 jaar heeft vervuld in de leveringszekerheid. De consequentie hiervan was een sterk verhoogde gasproductie in de winter. In de periode 1990 tot 2008 was de verhouding tussen de hoogste en de laagste maandproductie ongeveer een factor vijf. Er was sprake van het cyclisch vrijwel insluiten van de productie in de zomermaanden en piekproductie in de wintermaanden, in overeenstemming met de vraag naar gas.



**Figuur 1** Historische gasproductie Groningen veld

<sup>3</sup> Dit is het gevolg van het kleine velden beleid: voorrang geven aan de toenemende productie uit de kleine velden.

**Datum**  
30 november 2015

**Onze referentie**  
AGE 15-10.070

**Blad**  
4/9

## Statistisch onderzoek

Statistisch onderzoek is op een aantal verschillende manieren uitgevoerd. Op hoofdlijnen zijn er drie typen onderzoek, in oplopende mate van gebruik van *a priori* informatie:

- 1) Seizoenspatronen onderzoek met gebruik data bevingen (catalogus KNMI);
- 2) Correlatieonderzoek met gebruik data gasproductie en bevingen;
- 3) als 2), maar nu met aanname van een fysisch model tussen gasproductie en bevingen.

De studies worden onderstaand per type behandeld.

### Seizoenspatronen

In Shell studie [S1] is gezocht naar seizoenspatronen in de catalogus van bevingen voor het Groningen veld als geheel.

In vervolgstudie [S2] is gezocht naar regionale verschillen in die patronen in vier productieregio's. Het gevonden seizoenspatroon lijkt volgens [S2] niet gelijk verdeeld over de vier onderzochte productieregio's: de regio Oost toont een meer geprononceerd patroon dan de andere drie regio's (Centraal, West en Zuid). Deze aanwijzingen worden overigens aangeduid als 'grotendeels kwalitatief'. Het document [S2] besluit met de opmerking, dat het seizoenspatroon wellicht verklaard kan worden door samenhang met de gasproductie.

### Correlaties

Shell [S1] en TNO [T1, T2] hebben statistisch onderzoek gedaan naar correlatie tussen veranderingen in gasproductie op seizoensbasis en de respons daarop van de seismiciteit. De studies vertonen onderlinge verschillen in de toegepaste statistische methode en in de omvang van de gebruikte dataset. Beide bronnen concluderen dat op de tijdschaal van een seizoen er een statistisch significante correlatie bestaat tussen gasproductie en seismiciteit, met een tijdvertraging in de orde van enkele maanden. Wel neemt de statistische significantie van de correlaties af, naarmate de magnitude-ondergrens voor de onderzochte catalogus wordt verhoogd (van 0,5 naar 1,0 en naar 1,5). De hoeveelheid bevingen met magnitude groter dan 1,5 is naar verwachting te gering om significante seizoenseffecten te kunnen zien.

### Correlaties met fysisch model

CBS [C1] heeft een correlatiestudie uitgevoerd, waarin een fysisch model voor voortplanting van drukgolven in het reservoir is aangenomen (zgn. drukdiffusie).

**Datum**  
30 november 2015

**Onze referentie**  
AGE 15-10.070

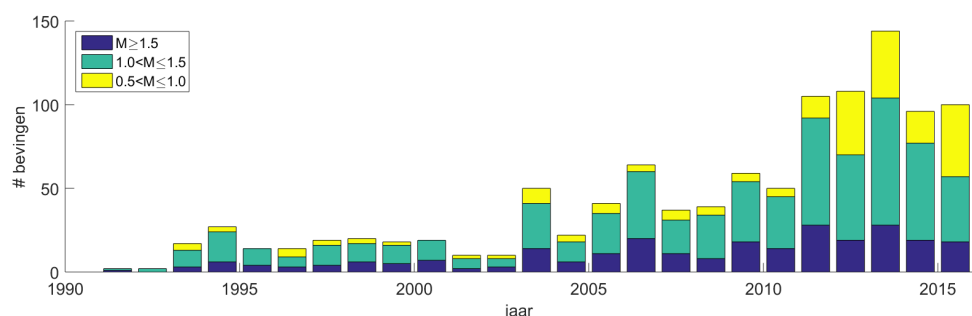
**Blad**  
5/9

Evenals de hiervoor beschreven studies is de conclusie dat er een toename van het aantal bevingen is. Deze toename volgt op een toename in productie met een tijdvertraging in de orde van enkele maanden. Deze uitspraak houdt ook stand bij de deeldataset voor magnitudes boven 1,5. De CBS-studie geeft aan een hogere correlatie te vinden, indien niet de gasproductie, maar de horizontale drukgradiënt ter plaatse van bevingen in de analyse wordt betrokken als ‘drijvende kracht’.

## Opmerkingen

Een vijftal punten naar aanleiding van de onderzoeksresultaten worden in deze paragraaf kort besproken en toegelicht.

- Het aantal geregistreerde bevingen met een magnitude groter dan 1,5 heeft in de orde van 10 tot 20% uitgemaakt van het aantal bevingen met magnitude groter dan 0,5 (Figuur 2). Dit beperkt de mogelijkheden om statistische uitspraken te doen voor de klasse van hogere magnitudes ( $M \geq 1,5$ ).



**Figuur 2. Histogram van het aantal bevingen per categorie gebaseerd op sterkte van de bevingen (magnitude M op de schaal van Richter)**

- Correlatie op de tijdschaal van een seizoen tussen veranderingen in gasproductie en seismiciteit in het Groningen veld is voldoende aangetoond. Het is de vraag, of die conclusie ook geldt voor alleen het segment bevingen met een magnitude groter dan 1,5. Vanwege het relatief geringe aantal bevingen in die klasse is het op zuiver statistische gronden niet aan te geven, wat het effect van seizoensvariaties is op deze magnitudes. Gebruik maken van een fysisch model, i.c. drukdiffusie, vergroot de significantie. De uitkomst is afhankelijk van de geldigheid van dat fysisch model.
- Statistische correlatie betekent niet dat er ook een oorzakelijk verband is aangetoond (of verworpen): daarvoor is een fysisch model nodig. Een oorzakelijk verband is van belang als vertrekpunt voor de mogelijkheden

**Datum**  
30 november 2015

**Onze referentie**  
AGE 15-10.070

**Blad**  
6/9

om via de productie te sturen op beheersing van de seismische hazard. Een fysisch plausibel mechanisme is, dat drukveranderingen ten gevolge van variaties in de gasproductie zich voortplanten door het reservoir (zgn. 'drukdifusie') en na enige tijd (weken, maanden) bij de breuksystemen aankomen. Het is geomechanisch gezien plausibel, dat drukveranderingen spanningsveranderingen op breuken veroorzaken, die weer effect hebben op de seismiciteit (zie o.a. ook [N3, note 4] en [T2]).

- De gevolgde statistische bewerking van de gegevens (stapelen van gegevens van meerdere jaren) maakt, dat in theorie niet kan worden uitgesloten, dat de correlatie zich (ook) afspeelt met een tijdvertraging van enkele maanden plus één of meerdere jaren. In praktijk zijn er echter voldoende aanwijzingen, dat de tijdvertraging inderdaad in de orde van enkele maanden is. Bovendien is het vanuit het fysisch mechanisme van druidifusie niet waarschijnlijk dat correlaties zich over langere tijdschalen zouden voltrekken. De energie in de drukgolf is dan vrijwel nihil geworden.
- De genoemde statistische studies hebben uitsluitend seizoensgebonden correlaties bestudeerd. Die correlaties geven echter geen informatie over het aantal bevingen, dat is opgetreden ten gevolge van een bepaald productiewinterseizoen.

## Discussie

### Relatie tussen seizoensvariatie en de ontwikkeling van het aantal bevingen

Figuur 3 toont op maanbasis de gasproductie en het aantal geregistreerde bevingen met magnitude groter dan 1,0<sup>4</sup>. De ontwikkeling van het aantal bevingen heeft duidelijk een seizoensgebonden component.

Het aantal bevingen per cyclus is vanaf circa 2003 onevenredig snel gestegen ten opzichte van de amplitude van de cyclische gasproductie. Na januari 2014, het moment van de productiereductie in de Loppersum clusters, is zowel de totale productie als het verschil zomer – winter productie gereduceerd. Tegelijk neemt het aantal bevingen af.

NB. Sinds eind 2014 is een uitbreiding van het seismisch meetnet operationeel geworden. Het aantal in figuur 3 weergegeven bevingen in 2015 zal daardoor iets hoger liggen dan het aantal dat met het oude netwerk zou zijn geregistreerd.

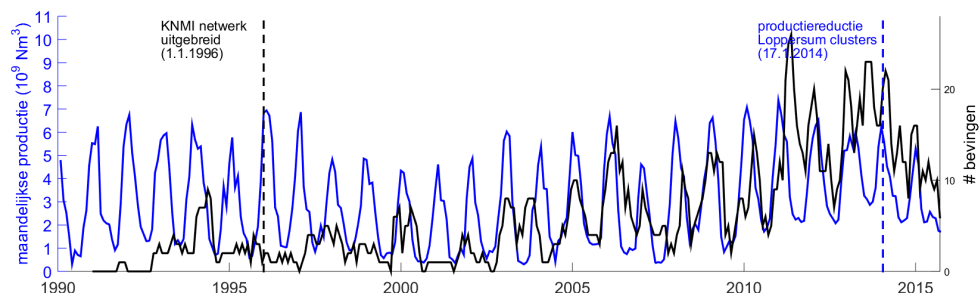
---

<sup>4</sup> Op maanbasis met een 3-maandelijks voortschrijdend gemiddelde. Hier is gekozen om het signaal (van het aantal bevingen) enigszins glad te strijken, zodat seizoensfluctuaties beter zichtbaar zijn.

**Datum**  
30 november 2015

**Onze referentie**  
AGE 15-10.070

**Blad**  
7/9



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

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 aantal en de zwaarte van de bevingen.

### Modelmatige gevolgen

Recent heeft de NAM de eerste versie van een kwantitatieve risico-analyse gepresenteerd [N1]. Het onderliggende model [N2] bevat een empirische relatie tussen gasproductie, compactie en seismiciteit. Met dat model kan voor gegeven productie-scenario's de ontwikkeling van de seismiciteit – en daarmee van de seismische hazard en het seismisch risico – worden berekend. Dat model bevat geen (expliciete) spanningsrelaxatiecomponent, anders dan seismisch via de bevingen zelf.

Een aseismisch relaxatie-effect zou passen binnen het kader van de theorie van Self Organized Criticality (SOC). Exxon-Mobil URC heeft in [N3, note 5] 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.

**Datum**  
30 november 2015

**Onze referentie**  
AGE 15-10.070

**Blad**  
8/9

## Kortdurende fluctuaties

In deze paragraaf wordt ingegaan op de onderzoeken naar het effect van kortdurende productief fluctuaties op de seismiciteit.

### Onderzoeken

Het effect van kortdurende productief fluctuaties op de seismiciteit is niet statistisch onderzocht: daartoe is de catalogus van bevingen ontoereikend.

Als alternatief heeft de NAM een computersimulatie uitgevoerd van de voortplanting van de drukgolf in het reservoir als gevolg van productie uit cluster De Eeker. Die simulatie is uitgevoerd over de wintermaanden februari en maart 2013 [N3, note 3], met een voor een winter representatief spectrum aan productief fluctuaties. Exxon-Mobil URC [N3, note 4] heeft een vergelijkbare aanpak gevolgd, maar dan gebaseerd op een fictieve productiecluster, waarvan de productie om de 12 uur werd aangezet en weer uitgeschakeld.

De conclusie van deze onderzoeken is, dat de amplitude van de drukgolf ten gevolge van kortdurende (binnen één dag) fluctuaties binnen enkele honderden meters vanaf het productiecluster zeer klein wordt in verhouding tot de globale drukdaling in het veld. NAM [N3, note 3] geeft aan, dat de effecten van het – om technische redenen- gedurende enkele dagen insluiten van clusters een groter drukeffect veroorzaakt dan de fluctuaties binnen één dag.

### Bevindingen

TNO onderschrijft de conclusies van NAM en van Exxon-Mobil URC, waar het gaat om zeer korte (intradag) productief fluctuaties. Het effect van fluctuaties met een duur van enkele dagen of zelfs enkele weken (tijdschalen tussen seizoen en intradag) is niet onderzocht<sup>5</sup>. Indien fluctuaties met een duur van enkele weken worden overwogen voor toekomstige productiescenario's, dan is het zinvol om hier nader aandacht aan te besteden.

---

<sup>5</sup> Een voorbeeld van dat laatste deed zich voor in de cluster Ten Post. In december 2014 werd in dit cluster een relatief groot volume geproduceerd in vergelijking met eerdere maanden. Op 6 januari 2015 trad in de nabijheid van dit cluster een beving op met een magnitude van 2,7 [T2].



**Datum**  
30 november 2015

**Onze referentie**  
AGE 15-10.070

**Blad**  
9/9

## Bijlage: overzicht onderzoeksrapporten

- [E1] *Onderzoek andere benadering van de gaswinning*  
Concept voor consultatie /Ministere van Economische Zaken (25 september 2015)
- [S1] *Statistical methodology to test for evidence of seasonal variation in rates of earthquakes in the Groningen field*  
Final / Shell Global Solutions
- [S2] *Regional seasonal patterns in earthquake rates*  
Draft Statistical note / Shell Global Solutions (28 oktober 2015)
- [N1] *Hazard and risk assessment for induced seismicity in Groningen*  
Interim update / NAM EP201511200172 (7-11-'15)
- [N2] *Activity rate model of induced seismicity within the Groningen field (part 2)*  
NAM (juli 2015)
- [N3] *Summary of studies related to the relationship between production fluctuations and seismicity*  
Draft / NAM (6-11-'15)  
Bijlage Notes on production fluctuation:  
1) *Artificial lake induced seismicity – a summary*  
Shell Global Solutions (oktober 2015)  
2) *Note on simulation model pressure response for high frequency production swings*  
NAM (oktober 2015)  
3) *Pressure Disturbance Estimation for Variable Production at Groningen*  
Draft / ExxonMobil Upstream Research Company (29-10-'15)  
4) *Faults and Earthquakes*  
Shell Global Solutions (november 2015)  
5) *Self-Organized Criticality*  
ExxonMobil Upstream Research Company (7-11-'15)
- [C1] *A phenomenological relationship between gas production variations and tremor rates in Groningen*  
Scientific paper 2015 / F.P. Pijpers (CBS), update November 2015
- [T1] *Recent developments on the seismicity of the Groningen field in 2015*  
TNO, rapport no. 2015 R10755 (29-5-'15)
- [T2] *Response of induced seismicity to production changes in the Groningen field*  
TNO, rapport no. 2015 R11367 (10-11-'15)