

Retouradres: Postbus 80015, 3508 TA Utrecht

Ministerie van Economische Zaken en Klimaat  
t.a.v. Minister Ir. E.D. Wiebes MBA  
Postbus 20401  
2500 EK DEN HAAG



Princetonlaan 6  
3584 CB Utrecht  
Postbus 80015  
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

T +31 (10)(2e)

**Datum**  
27 juni 2018

**Onze referentie**  
AGE 18-10.052

**E-mail**  
(10)(2e) @tno.nl

## Onderwerp

Advies veiligheid bouwwerken bij verlaagd niveau gaswinning

Geachte heer Wiebes,

In de brief van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, d.d. 20-04-2018 en kenmerk 18072342 worden verscheidene adviesvragen gesteld aan o.a. TNO. Naast TNO wordt ook advies gevraagd aan SodM, KNMI, NEN en een panel van hoogleraren. Het geheel wordt uitgevoerd onder auspiciën van de Mijnraad.

*TNO(-AGE) wordt gevraagd naar het effect van veranderende seismische dreiging op de omvang van de versterkingsoperatie in aantallen gebouwen als ook de orde grootte van de versterkingsmaatregelen. Beoogd middel hiervoor zijn risicoanalyses, aangevuld met de vraag hoe deze uitkomst zich verhoudt tot de praktijk waarin op basis van de Nederlandse Praktijk Richtlijn (NPR) wordt versterkt. Kernvragen hierbij zijn:*

1. *Wat is het effect van een lagere seismische dreiging op het seismische risico van bouwwerken in het Groningse aardbevingsgebied?*
2. *Hoe verhoudt de uitkomst van de risicoanalyses zich met de praktijk waarin op basis van de NPR wordt versterkt en hoe kunnen eventuele verschillen worden verklaard vanuit de risicoanalyses (NPR inzichten zijn separaat belegd bij NEN)?*
3. *Hoe kan, gezien het verwachte uitvoeringstempo van maatregelen, een balans worden gevonden tussen tijdelijke en permanente versterkingsmaatregelen?*

*Daarnaast hebben wij op 15 juni 2018 per mail via de voorzitter van de Mijnraad een extra verzoek ontvangen. De vraag is om vóór 1 juli een zo goed mogelijke inschatting te maken van de risico's voor zoveel mogelijk van de 1588 woningen als redelijkerwijs mogelijk is binnen de beschikbare tijd op basis van de meest recente NPR rekenmethodiek. Deze vraag zullen wij beantwoorden als vraag 4.*

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**

27 juni 2018

**Onze referentie**

AGE 18-10.052

**Blad**

2/1

**Noties**

Voor de antwoorden op de vragen verwijzen wij naar de bijlage. Voorts brengen wij graag enige noties onder de aandacht:

- TNO acht het waardevol dat verschillende vragen aan een brede groep van instituten wordt voorgelegd en de coördinatie van de antwoorden en uitkomsten is belegd bij de Mijnraad. De procesmatige en interactieve werkwijze aanpak van de Mijnraad geeft ruimte om de problematiek vanuit verschillende perspectieven te beschouwen en indringend te bediscussiëren.
- De tijdshorizon voor het advies is wel zeer krap. TNO is graag bereid om (snel) te adviseren, naar wenst uiteraard ook geen concessies te doen aan de wetenschappelijke kwaliteit van het werk. Daarom kiezen wij ervoor om op dit moment aan te geven wat redelijkerwijs te beantwoorden is. De noodzakelijke nadere verdieping laten we terugkomen in een aantal aanbevelingen.
- Belangrijk knelpunt in relatie tot vergelijkbare uitkomsten is de beschikbaarheid van consistente data; op dit moment wordt met te veel datasets en modellen gewerkt. De veelheid aan data komt de transparantie en vergelijkbaarheid van de uitkomsten niet altijd ten goede. Uiteraard leveren wij een uiterste inspanning om de data en de uitkomsten zoveel mogelijk met de andere instituten af te stemmen.
- TNO beperkt zich tot de beantwoording van technisch/wetenschappelijke vraagstukken; wij hebben geen suggesties of meningen ten aanzien van de politiek bestuurlijke keuzes die voorliggen.

**Aanbevelingen**

De gaswinning in Groningen zal de komende jaren worden afgebouwd. In dat perspectief stelt TNO voor om een monitoring protocol te ontwikkelen zodat jaarlijks bij de winning het risico gevolgd kan worden (ter ondersteuning van een adaptieve aanpak).

In het verlengde daarvan lijkt het ons raadzaam om een gevalideerd model te ontwerpen o.b.v. V5 opgesteld door een onafhankelijk (consortium van) institu(u)t(en). Tegelijkertijd dient gewerkt te worden aan alternatieve modellen.

Hoogachtend,



(10)(2e)

**Datum**

27 juni 2018

**Onze referentie**

AGE 18-10.052

**Blad**

3/1

## **Veiligheidsrisico's en versterkingsopgave**

### **Advies van TNO bij een verlaagd niveau van gaswinning in Groningen**

**Datum**

27 juni 2018

**Onze referentie**

AGE 18-10.052

**Blad**

4/1

## Vraag 1

*Wat is het effect van een lagere seismische dreiging op het seismische risico van bouwwerken in het Groningse aardbevingsgebied?*

### Antwoord:

#### 1. Algemene introductie

Hieronder wordt het antwoord toegelicht en uitgewerkt door in te gaan op de verandering van de seismiciteit na een productie ingreep en het voorspelde gedrag in modellen. Deze toelichting vormt ook de basis voor de beantwoording van de vragen 2 en 3.

In het algemeen leidt een lagere seismische dreiging tot een lager seismisch risico van bouwwerken in het Groningse aardbevingsgebied. De vraag is de mate waarin.

Bij een verandering in de gasproductie zal een verandering in de seismische dreiging plaatsvinden. Dit is eerder voorgekomen door productieverlagingen in het Groningen veld. De mate van verandering van seismische dreiging wordt voorspeld door modellen.

Bepalend element voor sturing van het risico door productie is het seismisch bronmodel en de respons daarvan op productieveranderingen. In de meeste modellen<sup>1</sup> voorspelt het seismisch bronmodel dat het cumulatief aantal bevingen alleen wordt bepaald door de cumulatieve compactie (het 'film rate' effect) en dus niet door het patroon van de gasproductie. Als gevolg daarvan voorspellen die modellen dat de seismiciteit stopt, zodra de compactie van het reservoir stopt (de film staat stil).

#### 2. Perspectief vanuit de data

##### Respons op productie-reductie in het Loppersum gebied

Op 17 januari 2014 werd de gasproductie van vijf clusters in het Loppersum gebied met 80% gereduceerd. Ook al betreft deze productiereductie slechts 5 clusters en een deel van het Groningen veld, toch heeft deze ingreep een effect gehad in het reservoir op de druk en het optreden van aardbevingen. Dit wordt hieronder uiteengezet.

##### Drukrespons

Figuur 1 toont de respons van het tempo van drukdaling op de productie-ingreep in vier deelgebieden van het Groningen veld.

<sup>1</sup> O.a. het model van NAM V5.

Datum

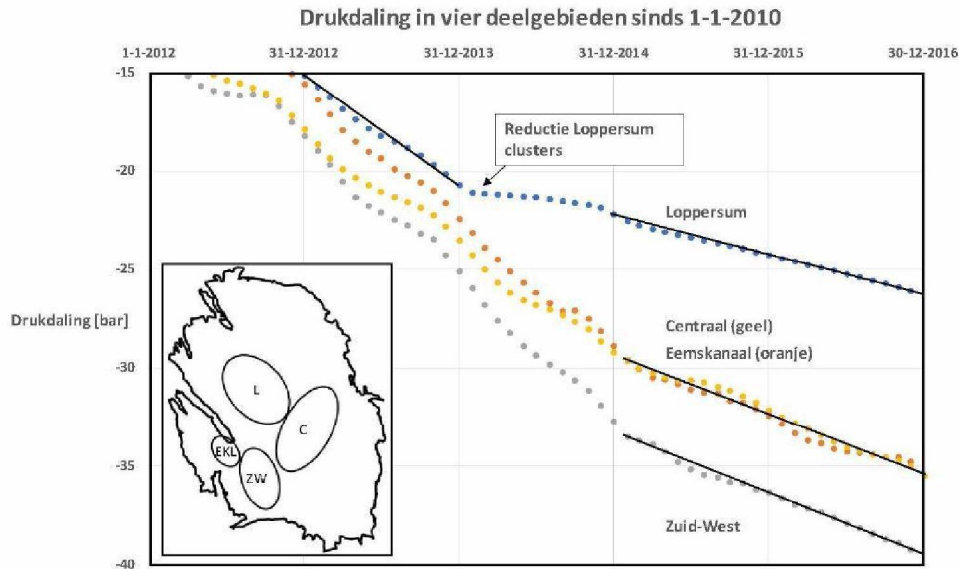
27 juni 2018

Onze referentie

AGE 18-10.052

Blad

5/1



Figuur 1. Drukdaling in 4 deelgebieden van het Groningen veld (Loppersum, Centraal, Eemskanaal, Zuid-West) in de periode 2012 tot eind 2016.

De gemiddelde snelheid van de drukkaling in het Loppersum deel van het gasveld nam af van  $\sim 0,45$  bar/maand in 2013 naar  $\sim 0,05$  bar/maand in 2014. De productie in de andere delen van het veld werd opgevoerd, met daar een versnelde drukkaling in 2014 als gevolg. In 2015 bereikte de drukkaling in het Loppersum gebied een vrij constante snelheid van  $\sim 0,15$  bar/maand, een factor drie langzamer dan vóór 2013. Dit is een direct (en onvermijdelijk) gevolg van de druk-connectiviteit binnen het reservoir tussen het Loppersum gebied en de rest van het veld. Opgemerkt wordt, dat de drukkaling in het Loppersum gebied nooit geheel tot stilstand is gekomen.

### Respons seismiteit

De respons van de seismiteit op de productie-ingreep in het Loppersum gebied is statistisch onderzocht in Nepveu et al. (2016), Pijpers (2016b) en Shell (2016). Een significante reductie van de seismiteit na de reductie van de productie werd geobserveerd en statistisch bevestigd. Na een aanvankelijk sterke reductie van het aantal bevingen in de jaren 2014 t/m 2016 begon de seismiteit weer toe te nemen in 2017/2018. Gezien de doorgaande gasproductie in de rest van het veld en de toename van de snelheid van drukkaling in het Loppersum gebied sinds 2015 werd dit ook verwacht (zie TNO, 2014).

Uit bovenstaande respons van de druk en de seismiteit op een verlaging van de gasproductie wordt geconcludeerd dat de verwachte respons op een verlaging van de gasproductie een vermindering geeft van het aantal bevingen per jaar. In het geval het gasveld niet volledig wordt gedepleteerd (basispad Kabinet) zal het totaal aantal aardbevingen ook dalen.

**Datum**

27 juni 2018

**Onze referentie**

AGE 18-10.052

**Blad**

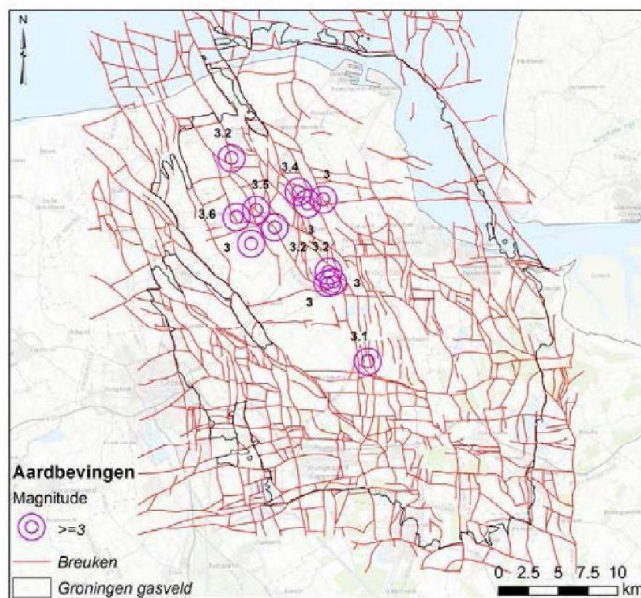
6/1

**Het belang van breuken**

Figuur 2 geeft weer, waar tot nu toe de zwaarste bevingen (met magnitude 3,0 of hoger) zijn geregistreerd in het Groningen veld. Zij zijn geconcentreerd in het Loppersum gebied en lijken gerelateerd aan het geologische ‘graben’ breuksysteem, dat het gebied van noord-west naar zuid-oost doorsnijdt.

Breuken spelen een belangrijke rol bij het optreden van aardbevingen (zie ook TNO 2016). Sensoren in het reservoir geven aan dat de bevingen voorkomen op gekarteerde breuken (NAM 2015). Op breuken in het Loppersum gebied blijken meer en zwaardere aardbevingen voor te komen dan elders in het veld. Dit hangt waarschijnlijk samen met de dominante oriëntatie van de breuken in het gebied, hun geometrie en geologische karakteristieken.

Samenvattend: vanuit de observaties kunnen we concluderen dat een verlaging van de gasproductie een vermindering tot gevolg heeft van het aantal aardbevingen per jaar. Aangezien het aantal aardbevingen per jaar de kans op een grotere beving bepaalt, neemt ook de kans op een grotere beving af en daarmee ook de seismische dreiging en het seismische risico.



*Figuur 2. Aardbevingen in het Groningen veld met magnitude groter dan 3,0. De zwarte contour geeft de randen van het Groningen veld aan, de rode lijnen geven de breuken weer (top reservoir).*

**Datum**

27 juni 2018

**Onze referentie**

AGE 18-10.052

**Blad**

7/1

### 3. Perspectief vanuit de modellen

#### Geomechanisch

De door de NAM opgestelde *Seismic Hazard and Risk Assessments*, kortweg SHRA's (NAM 2017, 2018a en 2018b) maken voor de beschrijving van de relatie tussen gasproductie, compactie en seismiciteit gebruik van de methodiek van Bourne & Oates (2017). Volgens deze methodiek wordt de seismiciteit gedreven door compactie van het reservoirgesteente. Bij een lineair compactiemodel (zoals gebruikt in het Winningsplan 2016 en de NAM's SHRA's) is de respons onmiddellijk.

Echter, uit zowel laboratoriumproeven als bodemdalingsstudies blijkt dat de compactie van het reservoir nog enige tijd doorzet na het stopzetten van de drukverandering. Als deze doorgaande compactie wordt gebruikt in de Bourne & Oates methodiek, dan zou dat leiden tot een vertraagde respons van de seismiciteit op een verandering in gasproductie. De respons van de seismiciteit op een verandering in gasproductie hangt in dit model dus sterk af van het gebruikte compactiemodel.

Van Wees et al. (2017a) beschrijft seismiciteit door gaswinning in termen van spanningsverandering. Er wordt daarin geconcludeerd dat doorgaande compactie na een verandering in gasproductie slechts zeer beperkt leidt tot seismiciteit, en afname van het tempo van drukkaling direct doorwerkt in de seismiciteit.

Ook in het model van Dempsey & Suckale (2017) wordt seismiciteit gedreven door spanningsveranderingen, die direct gekoppeld zijn aan veranderingen in de gasdruk. Een verandering in gasproductie heeft ook in dit model een vrijwel onmiddellijk effect op de seismiciteit.

Samenvattend: in de bestaande modellen geeft een reductie in het tempo van compactie, resp. drukkaling een evenredige reductie in het aantal bevingen per tijdseenheid ('film rate'). Aan TNO zijn geen gepubliceerde en aan data van het Groningen veld gecalibreerde modellen bekend, die tot naïj zouden leiden in de respons van de Groningen seismiciteit op compactie resp. drukkaling ter plaatse van breuken.

#### Reservoir-technisch

Tot aan de ingreep in het Loppersum gebied begin 2014 is het Groningen veld om operationele redenen geproduceerd zodanig dat drukverschillen binnen het veld werden geminimaliseerd. Ten gevolge van de ingreep in Loppersum (17 januari 2014) en andere opgelegde productiebeperkingen zijn drukverschillen ontstaan binnen het gasreservoir. Deze drukverschillen worden in het NAM V5 model meegenomen in de berekening van de compactie en de seismiciteit, en daarmee uiteindelijk ook in de ontwikkeling over tijd van het aantal woningen, dat niet aan de veiligheidsnorm voldoet.

Afhankelijk van de productiestrategie voor de komende jaren zullen er drukverschillen binnen het reservoir blijven bestaan, ook na het volledig insluiten van het Groningen veld. Die drukverschillen zullen zich geleidelijk autonoom

**Datum**

27 juni 2018

**Onze referentie**

AGE 18-10.052

**Blad**

8/1

vereffenen. Bepaalde gedeelten van het veld lopen qua druk achter op de druk in de rest van het veld. Dit geldt met name voor het Loppersum gebied, en daarbinnen het graben systeem. Dit kan betekenen dat er na insluiten van de productie langer aardbevingen voorkomen in het Loppersum gebied dan in de rest van het veld. Deze naijl-effecten zijn in principe meegenomen in de modelberekeningen van de NAM.

Samenvattend: De drukvereffening binnen het reservoir zal ook na het volledig insluiten van de Groningen productie doorgaan. Het effect daarvan op de seismiciteit en het seismisch risico wordt meegenomen in de NAM SHRA systematiek.

#### 4. Onzekerheden en mogelijke bias in het NAM V5 model

Naar het oordeel van TNO zijn de (bekende) onzekerheden correct meegenomen in het NAM V5 model. De bandbreedte rond de event rate is breed, maar representeert in essentie het inherent stochastisch gedrag van de seismiciteit van jaar tot jaar.

De NAM laat in haar SHRA's zien, dat de waargenomen seismiciteit valt binnen de bandbreedte van haar modelvoorspellingen.

De relatie tussen de cumulatieve productie en het cumulatief aantal bevingen heeft een hoge correlatie en ondersteunt in die zin het 'film rate' karakter.

Het sterk niet-lineaire verband tussen seismische dreiging en het aantal huizen dat niet voldoet aan de veiligheidsnorm, is vooral het gevolg van het feit, dat bij kleine veranderingen in de seismische dreiging grote aantallen huizen onder of boven die norm uitkomen.

Voor nu beschouwt TNO de resultaten van het NAM V5 model als een conservatieve schatting:

- het model houdt niet expliciet rekening met relaxatie-processen van de spanningen op de breuken; dit effect zou in een fase van afbouw van de gasproductie meer prominent kunnen blijken dan in de fase van toename van de gasproductie zoals vóór 2013 het geval was en waaraan het NAMV5 model in essentie is gecalibreerd;
- er is geen grens gesteld aan de exponentiële groei van de event rate (en dus het seismisch risico) met toenemende compactie; dit lijkt een fysisch niet houdbare aanname.



**Datum**

27 juni 2018

**Onze referentie**

AGE 18-10.052

**Blad**

9/1

**Modelonzekerheid**

De vraag is, of alternatieve seismologische bronmodellen zouden kunnen leiden tot fundamenteel andere uitkomsten in de risico-analyse. TNO concludeert, dat 'film rate' type modellen in essentie steeds tot dezelfde prognose voor seismiciteit en dus seismisch risico zullen leiden. Het resultaat hangt hooguit af van de resolutie in ruimte en/of tijd.

Fundamenteel alternatieve seismische bronmodellen – gecalibreerd aan de Groningen data- zullen zich dus anders moeten gedragen dan 'film rate'. Studies daarnaar zijn gaande, maar hebben nog niet tot tastbare en gevalideerde resultaten geleid.

**Conclusie**

Uit het bovenstaande kan worden geconcludeerd dat een lagere seismische dreiging leidt tot een lager seismisch risico van bouwwerken in het Groningse aardbevingsgebied.

Het V5 model is het enige aan Groningen data gecalibreerde en internationaal gereviewde model, dat de gehele keten van gasproductie tot en met seismisch risico beschrijft. Aan TNO zijn geen gepubliceerde modellen bekend, die tot andere effecten op de seismiciteit zouden leiden ten gevolge van compactie respectievelijk drukdaling ter plaatse van de breuken.

TNO heeft op cruciale onderdelen de aannames van het NAM V5 model getoetst en concludeert dat de door NAM gevonden verlaging van seismisch risico door afname van de gasproductie aannemelijk is, en op onderdelen mogelijk conservatief is..

TNO adviseert hierom, op dit moment, het door het NAM V5 model beschreven verlaging van het seismische risico te accepteren met betrekking tot het aantal huizen/ bouwwerken, dat niet voldoet aan de veiligheidsnorm.

**Datum**

27 juni 2018

**Onze referentie**

AGE 18-10.052

**Blad**

10/1

## Vraag 2

*Hoe verhoudt de uitkomst van de risicoanalyses zich met de praktijk waarin op basis van de NPR wordt versterkt en hoe kunnen eventuele verschillen worden verklaard vanuit de risicoanalyses (NPR inzichten zijn separaat belegd bij NEN)?*

### Antwoord:

#### 1. Algemeen

De uitkomst van risicoanalyses en de toepassing van een bouwnorm zoals de NPR 9998 zouden tot nagenoeg dezelfde uitkomsten moeten leiden mits er sprake is van dezelfde veiligheidsnorm, dezelfde seismische belastingen en dezelfde seismische weerstand van diverse bouwwerken.

In een risicoanalyse wordt volledig probabilistisch gewerkt waarin geïntegreerd wordt over de bijdrage van alle parameters en hun verdelingsfuncties aan het individueel aardbevingsrisico; een NPR aanpak laat de constructeur in de praktijk een eenvoudiger berekening uitvoeren met rekenwaarden, de zogenaamde semi-probabilistische berekening. Dit is overeenkomstig de systematiek van (internationale) bouwnormen. In een risico-analyse worden alle parameters en hun verdelingsfuncties door experts vastgesteld; in een NPR aanpak wordt een berekening gevraagd van een constructeur. De berekeningsmethode dient dan qua veiligheidsniveau gekalibreerd te zijn aan een volledig probabilistische analyse. Deze laatste is leidend en superieur in het voorkomen van onnodig stapelen van veiligheden.

#### 2. De veiligheidsnorm

Belangrijk is dat voor beide methoden éénzelfde risicomaat voor de veiligheidsnorm wordt gekozen. Het beleid voor de risico's van geïnduceerde aardbevingen als gevolg van de gaswinning is eind 2015 vastgesteld door het kabinet, met gebruikmaking van advies door de commissie Meijdam.<sup>2</sup> Het voornaamste element daarin is de veiligheidsnorm voor het omkomen in of nabij een gebouw vanwege een geïnduceerde aardbeving. Een individu mag een individueel risico hebben van maximaal  $10^{-5}$  per jaar. Dit betreft een verwachtingswaarde van het risico. Daarmee sluiten het kabinet en de commissie Meijdam zich aan bij het reeds bestaande minimum niveau voor individuele veiligheid zoals dit in het Bouwbesluit en in NEN 8700 is vastgelegd voor bestaande bouw (TNO, 2011). In eerdere publicaties heeft TNO (Steenbergen en Vrouwenvelder 2014; 2016) dit ook als uitgangspunt genomen voor zowel de risicoanalyses als de NPR bouwnorm en TNO adviseert dit uitgangspunt te blijven vasthouden.

<sup>2</sup> Brief van de minister van EZ van 3 november 2015 over tweede advies commissie Meijdam (TK 33 529, nr. 205); brief van de minister van EZ van 18 december 2015 over o.m. de gaswinning in Groningen en het eindadvies van de commissie Meijdam (TK 33 529, nr. 212).

**Datum**

27 juni 2018

**Onze referentie**

AGE 18-10.052

**Blad**

11/1

Omdat de risico's in de tijd afnemen ligt het voor de hand de risico's wat in de tijd te middelen. In het Bouwbesluit (en NEN 8700) wordt hiervoor een periode van 15 jaar genomen. In de beantwoording van vraag 3 wordt hier verder op ingegaan. Omdat het risico niet toeneemt in de tijd – sterker nog, het neemt af in de tijd - is ook een signaleringswaarde (striktter dan de normwaarde) zoals in de Waterwet opgenomen niet benodigd.

Het individueel aardbevingsrisico dient te worden berekend door de onzekerheid in alle parameters mee te nemen in de probabilistische berekeningen, die ten grondslag liggen aan het individueel persoonlijk risico. De parameters en hun onzekerheden worden op de best mogelijke wijze (unbiased) vastgesteld. Unbiased betekent zonder op voorhand een over- of onderschatting in te brengen.

De NPR gaat uit van een definitie van rekenwaarden in unbiased verdelingsfuncties van belasting en sterkte. Daarom geldt ook hier dat dit strikt moet zijn toegepast zonder toevoeging van extra onzekerheidsmarges die een systematische fout kunnen introduceren. De NPR zal dus zo veel mogelijk gebruikt moeten worden in combinatie met unbiased belasting- en sterkteparameters en hun onzekerheden.

In de risicoanalyse wordt tot nu toe gewerkt met een indeling van de bouwwerken in typologieën. De spreiding van de gebouweigenschappen binnen een typologie (building-to building variability) wordt dan meegenomen door een extra vergroting van de spreiding. De NPR is in eerste instantie bedoeld voor het doorrekenen op individueel huizeniveau, maar kan ook gebruikt worden op typologieniveau.

Wanneer we niet weten waar het huis zich precies bevindt in de 'building to building variability', dient de verscheidenheid in de sterkte binnen dit type huis meegenomen te worden in het berekenen van de kans. Pas wanneer we meer weten over het huis, dan kunnen we een extra conditionering doen op deze kennis, om zo een betere inschatting van de kans te maken. Als dit 'meer' weten niet of nauwelijks leidt tot een verandering in risico hoeft dit niet verder uitgezocht te worden (ten opzichte van de andere onzekerheden die niet of met zeer veel tijd en kosten nader vast te stellen zijn (b.v. bronmodel, breuken, GMPE)). Ook als dit 'meer' weten gepaard gaat met beschadiging of zeer veel tijd voor de bewoner dient hiervan af gezien te worden. Het gaat erom wat redelijkerwijs en binnen redelijke termijn vast te stellen is.

### **3. Wijze van bepaling aardbevingsrisico: (zonder) systematische bias**

Zoals in het voorgaande is besproken is het belangrijk dat de gebruikte verdelingsfuncties in de NPR zo unbiased mogelijk worden toegepast zonder over- of onderschattingen van de gebruikte parameters. Echter, het blijkt dat in de wijze waarop in de 'praktijk van NPR 2015' het individueel aardbevingsrisico wordt berekend, er in de inschatting van de onderliggende kansberekeningen veiligheidsmarges worden ingevoerd. Hiermee is de 'praktijk van NPR 2015' niet meer unbiased. Dit betekent dat er een zekere overschatting van het risico plaatsvindt.

**Datum**

27 juni 2018

**Onze referentie**

AGE 18-10.052

**Blad**

12/1

De bias aan de belastingkant komt door gebruik van belastingmodellen die – gezien de huidige stand der kennis en het huidige niveau van gaswinning, tot te hoge belastingen leiden. Zo is aan NPR 2015 het KNMI (2015) belastingmodel gekoppeld. Hierin keek het KNMI 5 jaar terug (2010-2015) voor de kalibratie van het seismologisch model. De jaren 2010-2015 waren echter jaren met zeer hoge gasproductie<sup>3</sup>. Ook maakte KNMI (2015) gebruik van Ground Motion Prediction Equation<sup>4</sup> versie 1. Dit was de eerste versie van een grondbewegingsmodel voor Groningen wat in 2015 in ontwikkeling was. De ontwikkelaars schrijven hierover<sup>5</sup>:

*“.. This is consistent with the objective that has guided the GMM development throughout the evolution from V0 to V4, namely that is preferable to err on the side of conservative estimates until there is a secure basis for providing lower estimates as a result of more refined models or reduced uncertainties.”*

Het V5 seismologisch model lijkt ook een bias te bevatten in die zin dat het model in de range aan mogelijke modellen aan de conservatieve kant is gekozen; zie ook de beantwoording van vraag 1.

De bias aan de sterktekant kan bijvoorbeeld komen doordat constructeurs, die met de NPR werken bij het bepalen van de seismische weerstand, veelal conservatieve (veilige) aannames gebruiken voor bijvoorbeeld materiaaleigenschappen of vervormingscapaciteit doordat men behoedzaam omgaan wil gaan met de sterkte van bouwwerken. Daarbij komt nog dat bij het uitkomen van NPR 2015 de uitkomsten van het merendeel van de proeven op metselwerk constructies bij de TU Delft en bij EUCentre in Pavia nog niet beschikbaar waren. De werkwijze conform NPR 2015 geeft daarmee een overschatting van het individueel risico door de aardbevingen in Groningen. Dit omdat er sprake is van bias aan zowel de belasting als de sterktekant.

Voor het verkrijgen van een reëel inzicht in de risico's zal de NPR 9998 moeten worden gekalibreerd aan de laatste inzichten qua seismische belasting en qua seismische weerstand (o.b.v. experimenten). Dit is op dit moment gedeeltelijk gerealiseerd.

### **Illustratie van het belang van kalibratie**

Ter illustratie van het belang van kalibratie van de NPR aan de risicoberekeningen wordt een vergelijking gemaakt tussen het aantal woningen met een individueel risico groter dan de normwaarde conform NAM SHRA, November 2017 en de laatste inzichten met betrekking tot NPR 9998. Dit wordt gedaan aan de hand van

<sup>3</sup> 2010=50,86 bcm; 2011=46,79 bcm; 2012=47,78 bcm; 2013=53,87 bcm; 2014 = 42,41 bcm; 2015=28,10 bcm

<sup>4</sup> Grondbewegingsmodel, dit model geeft de bewegingen aan het maaiveld door een aardbeving weer

<sup>5</sup> Namplatform.nl (GMPE V4, 2017, p. 298) in relatie tot een geconstateerde overpredictie (bias).

**Datum**

27 juni 2018

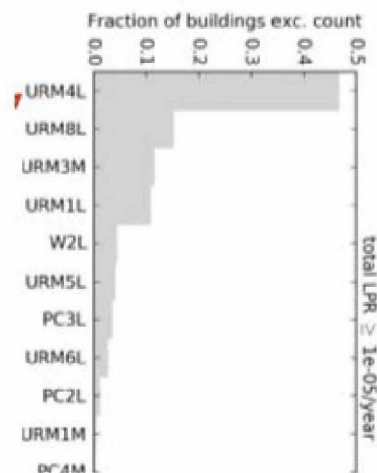
**Onze referentie**

AGE 18-10.052

**Blad**

13/1

één typologie: URM4L. Gebouwtype “URM4L” beslaat op dit moment ca 46% van de woningen met een individueel risico groter dan de normwaarde, conform de NAM SHRA, zie Figuur 1. Het gebouw-type kenmerkt zich door de grote openingen op de begane grond. Bij een afnemende seismische dreiging zal deze typologie overigens een groter deel dan 46% beslaan van het totaal aantal woningen dan niet voldoet aan de veiligheidsnorm. Voor dit voorbeeld wordt aangenomen dat dit huizentype een aanzienlijk deel van de zwakkere Groningse woningen betreft ook bij een verandering in de seismische dreiging.



Figuur 1: Aandeel van elk van de typologieën in de versterkingsopgave conform NAM's SHRA nov 2017. Veruit het grootste deel betreft URM4L.

NPR 9998 bevat ANNEX G waarin beschreven staat hoe een beoordeling van een gebouw uitgevoerd moet worden voor metselwerk bouwwerken o.b.v. een equivalente niet-lineaire statische procedure. Hierin wordt de belasting weergegeven in een Acceleration Displacement Response Spectrum (ADSR) voor een herhalingstijd van 2475 jaar en wordt de sterkte van de constructie (als één massa-veer systeem geschematiseerd) uitgedrukt in een z.g. capacity curve. Op basis van een vergelijking van rekenwaarden van de kracht en verplaatsing van het gebouw aan de ene kant en de aardbevingen aan de andere kant kan bepaald worden of het gebouw voldoende veilig is.

In deze paragraaf wordt gebruik gemaakt van de aardbevingsbelastingen conform de NEN webtool. Deze gaat uit van een productie van 24 bcm per jaar en GMPE versie V4. NAM's SHRA van November 2017 gaat ook uit van een gasproductie van 24 bcm per jaar. Dit zorgt voor een redelijke vergelijking van de uitkomsten van de twee methoden (NEN webtool en NAM winningsplan) op basis van ongeveer dezelfde aardbevingsbelastingen.

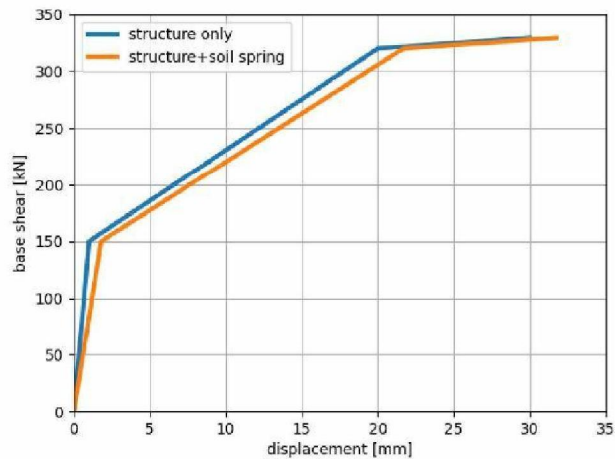
Voor de sterkte, uitgedrukt in een capacity curve, wordt gebruik gemaakt van de curve van Crowley & Pinho, 2017 waarbij de verplaatsingscapaciteit wordt beperkt tot 0.8% drift op effectieve hoogte conform Tabel G2 van NPR 2017 waarbij wordt aangenomen dat de globale drift limiet maatgevend is. Ook zijn de

effecten meegenomen van de grond-constructie interactie. Dit levert onderstaande capacity curve op.

**Datum**  
27 juni 2018

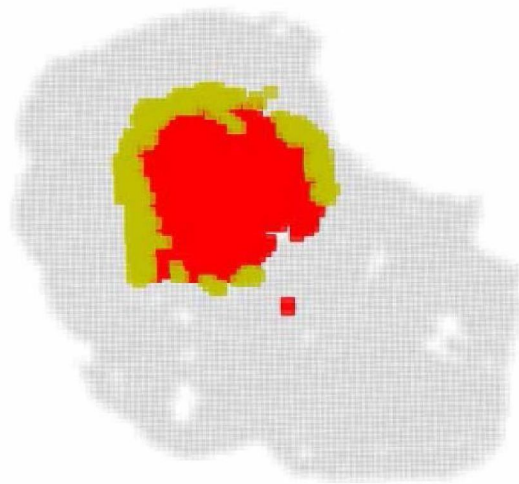
**Onze referentie**  
AGE 18-10.052

**Blad**  
14/1



*Figuur 2: Capacity curve voor URM4L (met drift limit conform NPR 2017).*

Dit levert uiteindelijk ca 1000 huizen van deze typologie die niet voldoen aan de veiligheidsnorm. Zie Figuur 3 waar de locatie van deze huizen ongeveer is weergegeven.



*Figuur 3: Gebied waarin type URM4L niet voldoet op basis van de belastingen uit de NEN webtool (24 bcm) voor 20% demping. De rode gebieden geven aan waar huizen niet voldoen. De gele + rode gebieden geven aan waar huizen voor een gesimplificeerd model niet voldoen.*

In rood zijn de cellen waarin de URM4L huizen niet voldoen aan de veiligheidsnorm. In geel cellen waarin de genoemde huizen niet voldoen indien gebruik gemaakt wordt van gesimplificeerde (iets meer conservatieve) modellen. Deze gesimplificeerde modellen gaan uit van een verplaatsingscapaciteit van een bouwwerk versus een verplaatsing uit de aardbevingen. De verplaatsingscapaciteit

**Datum**

27 juni 2018

**Onze referentie**

AGE 18-10.052

**Blad**

15/1

van dit type huis bedraagt ca 30 mm. Er wordt dan in de provincie gekeken waar de door de aardbeving veroorzaakte verplaatsing méér dan 30 mm bedraagt volgens het grondbewegingsmodel. Waar dat het geval is, zal de kans op het instorten van het bouwwerk te groot zijn. Op deze wijze worden ongeveer 1000 woningen van typologie URM4L gevonden die niet voldoen aan de veiligheidsnorm.

Het aantal van ca 1000 huizen uit deze typologie die niet voldoen komt redelijk goed overeen met de NAM SHRA, November 2017: die spreekt namelijk over 2800 woningen met 46% daarvan de URM4L typologie (dus ongeveer 1288 woningen) .

Uit dit voorbeeld wordt geconcludeerd dat indien de NPR gekalibreerd wordt aan volledig probabilistische berekeningen, de verschillen in uitkomsten met betrekking tot de aantallen woningen die niet voldoen aan de veiligheidsnorm klein zullen zijn.

#### **4. Effect van de verlaagde gaswinning op het aantal huizen dat niet aan de norm voldoet**

Zoals in de beantwoording van vraag 1 gelezen kan worden is de verwachting dat de seismische dreiging omlaag gaat bij het verlagen van de gasproductie van het Groningen gasveld. Voor het bepalen van het effect van een lagere seismische dreiging op het seismische risico van bouwwerken in het Groningse aardbevingsgebied wordt het effect op één typologie bekeken: URM4L: metselwerk rijtjeshuis met veel raamopeningen.

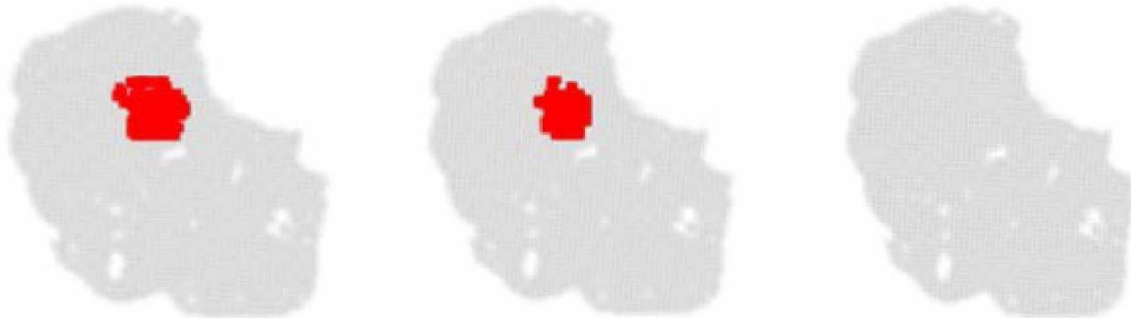
Op verzoek van EZK en de Mijnraad gebruikt TNO daartoe berekeningen van de seismische hazard zoals deze door het KNMI zijn opgeleverd. Het KNMI verwerkt in haar analyses de effecten van de voorgenomen beperking van de gaswinning in de komende jaren.

Het KNMI werkt daarin met:

3 periodes: t1: 2018-2020, t2: 2020-2023, t3: 2023-2027 en  
3 cases: hi: koude, lo: warme, mid: gemiddelde winters.

Voor elk van de periodes en de scenario's kan het ADRS spectrum bepaald worden op basis van de resultaten van KNMI. In deze analyse wordt uitgegaan van 30 mm verplaatsingscapaciteit (net als in paragraaf 4). Dit leidt voor de hi-case (koude winters) tot onderstaande gebieden waarin URM4L woningen niet voldoen aan de veiligheidsnorm.

Datum  
27 juni 2018



*Figuur 4: Cellen waar URM4L niet voldoet in rood voor periode t1 (links), periode t2 (midden), periode t3 (rechts). Aardbevingsbelasting conform KNMI hi-case.*

In onderstaande tabel is samengevat wat de resultaten zijn voor de overige scenario's.

*Tabel 1: Aantal URM4L huizen dat niet voldoet bij de verschillende scenario's van verlaagde gaswinning. Aardbevingsbelasting conform KNMI.*

Gasproductie scenario	Periode	Aantal URM4L voldoet niet (ordegrootte)
hicase	t1	200
hicase	t2	100
hicase	t3	0
locase	t1	0
locase	t2	0
locase	t3	0
midcase	t1	100
midcase	t2	0
midcase	t3	0



**Datum**

27 juni 2018

**Onze referentie**

AGE 18-10.052

**Blad**

17/1

## 5. Conclusie

Hier kan geconcludeerd worden dat:

- Bij veel koude winters het aantal URM4L woningen dat niet voldoet circa 200 bedraagt in de periode 2018-2020; en daalt naar circa 100 in de periode 2021-2023; naar nul ná 2023.
- Bij veel warme winters voldoen alle URM4L woningen in alle beschouwde perioden.
- Bij gemiddelde winters voldoen circa 100 URM4L woningen niet in de periode 2018-2020. Na 2020 voldoen alle URM4L woningen.

Dit alles op basis van de door het KNMI aangeleverde aardbevingsbelastingen.

Echter, indien gewerkt wordt met een model waarin de breukgeometrie en breukafstanden zo accuraat mogelijk zijn meegenomen (b.v. het NAM v5 model, zie ook de beantwoording van vraag 1) zullen de bovengenoemde aantallen enigszins groter zijn maar nog steeds in de orde van honderden. Zie ook de beantwoording van de vraag 3.

Voor de URM4L woningen, gezien als een van de zwakkere Groningse woningen, neemt het aantal gebouwen dat niet voldoet aan de veiligheidsnorm zeer sterk af over de komende jaren tot nagenoeg nul na 2023 ongeacht de gemiddelde temperatuur van de winters.

Overigens vermeldt NAM<sup>6</sup> dat bij de nieuwste scenarios, URM4L woningen in nog hogere mate (namelijk ca 80%<sup>7</sup>) verantwoordelijk zijn voor de aantallen woningen die niet voldoen aan de veiligheidsnorm. Dit betekent dat deze huizentypologie grotendeels de mogelijke versterkingsopgave zal bepalen.

TNO adviseert om een dergelijke analyse ook uit te voeren voor andere gebouw typologieën. Voor andere typologieën gebouwen worden vergelijkbare effecten verwacht voor het aantal gebouwen dat versterkt dient te worden bij verlaging van de gasproductie.

<sup>6</sup> NAM report, Seismic Risk Assessment for production scenario "Basispad Kabinet" for the Groningen field. Addendum to: induced seismicity in Groningen Assessment of Hazard, Building Damage and Risk (November 2017), June 2018

<sup>7</sup> In 2020: URM4L ~46% van 1354 huizen totaal

In 2022: URM4L ~53% van 678 huizen totaal

In 2024: URM4L ~66% van 88 huizen totaal

In 2026: URM4L ~83% van 28 huizen totaal

**Datum**

27 juni 2018

**Onze referentie**

AGE 18-10.052

**Blad**

18/1

## Vraag 3

*Hoe kan, gezien het verwachte uitvoeringstempo van maatregelen, een balans worden gevonden tussen tijdelijke en permanente versterkingsmaatregelen?*

### Antwoord:

#### 1. Inleiding

De schattingen over de aantallen te versterken woningen zijn tot nu toe in de meeste gevallen gebaseerd op NPR 2015. In de tussentijd is in 2017 een groene versie (concept) update geschreven van de NPR die op korte termijn als NPR 2018 zal verschijnen. Dit document zal gebaseerd zijn op de laatste inzichten met betrekking tot de seismische belastingen (die daardoor substantieel lager uitvallen) en bevat ook verdere aanwijzingen voor een scherpere berekening van seismische capaciteit van de gebouwen.

Op dit moment speelt verder het recente besluit om de Groningen gasproductie te verminderen waarmee ook de seismische belasting, beginnend met 2018, in de tijd verder zal afnemen. Door deze afname zullen er minder woningen niet voldoen aan de veiligheidsnorm, zijn de versterkingen vaak minder ingrijpend en ook minder lang noodzakelijk. De beoogde levensduur van een bouwkundige oplossing bij een gegeven belasting heeft slechts een beperkte invloed op de kosten. Wat eventueel voordelen kan bieden is dat bij een kortere periode een esthetisch minder verantwoorde en daardoor goedkopere en snellere oplossing die makkelijker door bewoners geaccepteerd kan worden.

#### 2. Omvang van het aantal huizen dat niet voldoet aan de veiligheidsnorm

Om de balans van tijdelijke en permanente maatregelen zinvol te kunnen overwegen is het doelmatig de omvang van de nu noodzakelijke versterkingsoperatie in het oog te houden. Figuur 1 geeft een schematisch overzicht. De getrokken lijnen geven de aantallen woningen die niet voldoen weer zonder versterking (permanent of tijdelijk), de gestippelde lijnen geven de invloed van versterking (permanent of tijdelijk).

Alle aantallen in Figuur 1 geven alleen de orde van grootte aan en dienen als achtergrond voor de verdere discussie.

Op basis van de NPR 2015 zijn in de loop van de tijd verschillende schattingen gemaakt voor de omvang van het aantal huizen dat niet voldoet aan de veiligheidsnorm. De schattingen liepen onderling uiteen, maar duidelijk was wel dat gedacht moest worden aan een orde van 20.000 woningen die versterkt moesten worden. Versterkingen aan andere typen bouwwerken (scholen, bedrijfsgebouwen, bruggen) zijn hier niet bij inbegrepen.

Als de woningen opnieuw worden beoordeeld met de belastingen en rekenmethoden volgens de, per 1 september aanstaande, in te voeren NPR 2018 is

**Datum**

27 juni 2018

**Onze referentie**

AGE 18-10.052

**Blad**

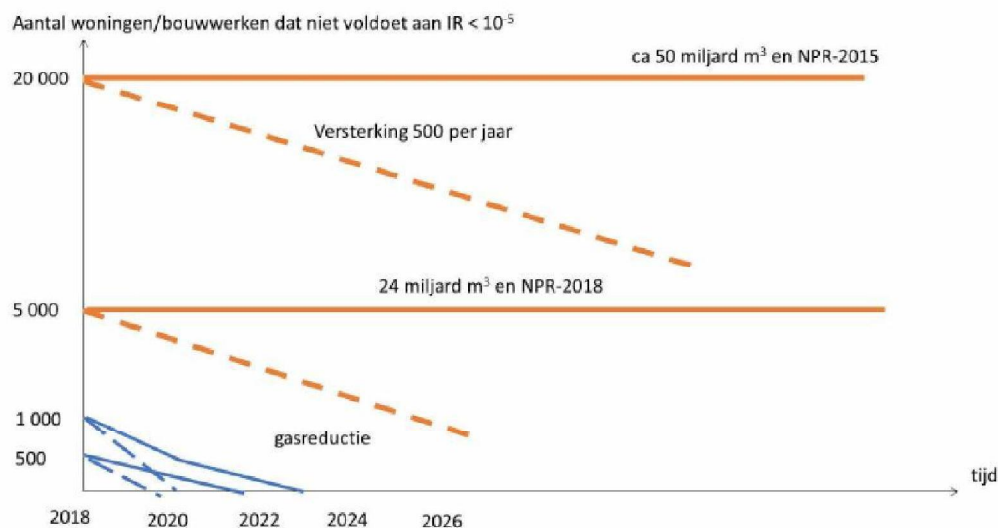
19/1

de schatting dat dit aantal zakt tot orde 5000 woningen. Dit is gebaseerd op een gasproductie van orde 24 miljard m<sup>3</sup> per jaar.

Door de verlaging van de gasproductie zoals op dit moment in het voornemen ligt (zie beantwoording vraag 1) daalt het aantal woningen dat niet voldoet aan de individueel risico norm van  $10^{-5}$  direct en ook nog verder als functie van de tijd (zie beantwoording vraag 2). Op basis van het KNMI-scenario (voor koude winters) is berekend dat voor de typologie URM4L in de periode t1 (2018-2020) nog slechts 200 huizen niet voldoen aan de norm. Voor het totaal aantal woningen dat versterkt dient te worden (over de verschillende typologieën) moet dan gedacht worden in de orde van 500 woningen.

Als sommige uitgangspunten iets anders worden gekozen kan echter met vrijwel even veel recht een aantal van 1000 woningen worden gevonden. Er is op dit moment dus nog sprake van een bandbreedte.

Door de afname van de aardbevingsbelasting in de tijd, als gevolg van het afnemen van de gasproductie, zal op den duur, ook zonder enige versterking, een situatie ontstaan waarbij alle gebouwen aan de norm voldoen. Dat geldt uiteraard niet voor alle gebouwen in dezelfde mate maar is afhankelijk van het tekort aan seismisch draagvermogen en dus ook van de locatie. In 2024 zullen er volgens het Basispad van het Kabinet hooguit nog enkele tientallen woningen niet aan de norm voldoen, ook als geen versterking plaatsvindt.



*Figuur 1: schematische voorstelling van de aantallen te versterken woningen*  
 - *Getrokken lijnen: schattingen zonder versterking, afhankelijk van productie,*  
 - *Beoordelingsrichtlijn en seismisch belastingmodel*  
 - *Gestippelde lijnen: invloed versterking*

### 3. Uitvoering

Voorgaande maakt duidelijk dat de versterkingsoperatie met enige zorgvuldigheid gepland moet worden. Het voorbereiden en uitvoeren van een versterking kost enige tijd en het heeft niet veel zin een versterking voor te bereiden voor een woning die op het tijdstip van oplevering feitelijk geen versterking meer nodig heeft. Het is dus zaak de woningen met de grootste kans op (gedeeltelijk) bezwijken het eerste aan te pakken, maar tevens rekening te houden met de vereiste doorlooptijd. Om zoveel mogelijk woningen in een zo kort mogelijke tijd te kunnen versterken kan het beste worden begonnen met de rijtjeswoningen van het type URM4L. Deze hebben onderling meer overeenkomst dan de vrijstaande woningen en boerderijen. Een enigszins seriematige behandeling is dan mogelijk en levert voordelen op (tijd en geld).

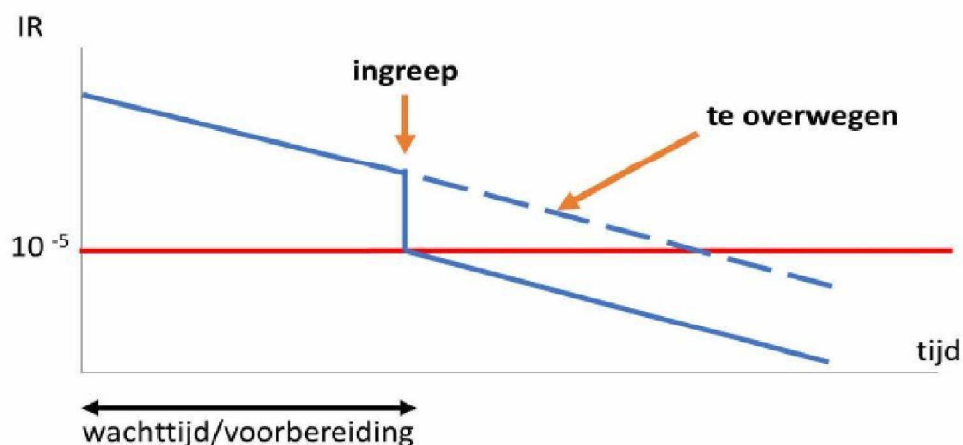
Een strikte toepassing van het IR-criterium (Individueel Risico) houdt in dat dit moet gelden voor elk individueel jaar. Het maakt dan niet uit of een maatregel nodig is voor één jaar of voor 10 jaar. Men kan de vraag stellen of een ingrijpende en dure aanpassing aan een huis die uiteindelijk maar voor één jaar of hooguit een paar jaar nodig is wel verantwoord en gewenst is. Dit speelt vooral als we over enkele jaren het eindpunt van de versterkingsoperatie naderen. Te overwegen valt (zie figuur 2) of een middelingstijd van bijvoorbeeld 3 of 5 jaar kan worden toegepast. Merk op dat dit in feite nu ook al gebeurt (en eigenlijk in sterkere mate) met de toepassing van de gemiddelde KNMI-belasting voor de tijdvakken t1, t2 en t3.

**Datum**  
27 juni 2018

**Onze referentie**  
AGE 18-10.052

**Blad**  
20/1

### Acceptatie $10^{-5}$ norm



*Figuur 2: Te overwegen (niet noodzakelijke) tijdelijke overschrijding van de norm (niet noodzakelijk omdat een bouwkundige ingreep op het aangegeven moment technisch en organisatorisch haalbaar is).*

In dit verband is het zinvol erop te wijzen dat in eerder uitgebrachte adviezen De Cie Haenen en Cie Meijdam hebben aangegeven dat het om praktische redenen

**Datum**

27 juni 2018

**Onze referentie**

AGE 18-10.052

**Blad**

21/1

enige tijd kost voor de  $10^{-5}$  voor alle inwoners is bereikt. Dit werd acceptabel geacht zolang met voortvarendheid aan de verbetering van die situatie te werk werd gegaan en deze situatie niet te lang zou duren. Overschrijding van de waarde  $10^{-4}$  / jaar werd wel zeer onwenselijk geacht en zou op zeer korte termijn moeten worden verbeterd. Letterlijk zegt het rapport van de Commissie Meijdam hierover:

“Voor bestaande bouw acht de commissie voor een tijdelijke periode een norm van  $10^{-4}$  aanvaardbaar. “

En:

“De termijn waarbinnen maatregelen worden getroffen om het niveau van individueel risico van  $10^{-5}$  / jaar te bereiken, beschouwt de commissie als onderdeel van de beleidsruimte van de verantwoordelijke overheden en van de ruimte van de Nationaal Coördinator Groningen, waarbij het uitgangspunt moet zijn dat prioriteiten worden gesteld op basis van de veiligheidsrisico's.”

TNO tekent hierbij aan dat discussie over het al dan niet toepassen van een middeling van de veiligheidsnorm op meer beleidsterreinen speelt. De huidige NEN 8700 voor beoordeling van bestaande bouw in Nederland past in wezen ook een middeling toe over een periode van 15 jaar, zolang degradatie geen rol speelt.

Bij dit alles moet worden bedacht dat door het verminderen van de gasproductie niet alleen het aantal woningen met een te lage veiligheid afneemt, maar ook de mate waarin. Zeker in het tweede of derde gasjaar is het veiligheidstekort minder dan bij een niet gereduceerde gasproductie. De maatregelen, ook als men kiest voor een de veiligheidsnorm van  $10^{-5}$  / jaar voor elk individueel jaar, kunnen daarom in veel gevallen minder ingrijpend worden hetgeen ook weer de snelheid van de versterking ten goede komt.

#### 4. Tijdelijke maatregelen

Tijdelijke maatregelen in het Groningse aardbevingsgebied zijn tot nu toe genomen in geval van urgentie, met name als het de schatting van het Individueel Risico hoger uitviel dan  $10^{-4}$ . Een dergelijke mate van onveiligheid werd ook voor een korte periode niet acceptabel geacht (zie Meijdam). De bedoeling was altijd deze tijdelijke maatregel op den duur te vervangen door een permanente. Vaak ging het om beschadigde gebouwen waarbij ook werd getwijfeld aan de mate van veiligheid zonder het voorkomen van aardbevingen.

Door de voorgenomen vermindering van de gaswinning kunnen tijdelijke maatregelen nu ook eventueel anders worden ingezet, namelijk als overbrugging. Na verloop van tijd zullen alle woningen die voldoen aan het Bouwbesluit ook voldoende veiligheid hebben ten aanzien van de mogelijke aardbevingen na de gaswinningsperiode en zijn geen permanente maatregelen überhaupt niet meer nodig. In feite zouden alle maatregelen vanaf nu een tijdelijk karakter kunnen hebben. Tijdelijk wil in dit verband zeggen dat de voorziening na enige tijd niet meer nodig is en wordt verwijderd. De vraag is of en in welke mate dit voordelen biedt.

**Datum**

27 juni 2018

**Onze referentie**

AGE 18-10.052

**Blad**

22/1

Tijdelijke maatregelen kunnen bestaan uit een tijdelijk ander gebruik van het bouwwerk. In veel gevallen zal dat neerkomen op het tijdelijk niet gebruiken voor de functie waarvoor het gebouw bestemd was. Bij opslag kan men zware apparatuur of andere belastingen verwijderen. Woongebouwen kan men tijdelijk niet gebruiken of een andere bestemming geven.

Bij tijdelijke maatregelen in bouwkundige zin moet men vooral denken aan versterkingen die grotendeels zichtbaar aan de buitenzijde van het gebouw worden aangebracht. Dit kunnen bijvoorbeeld zijn:

- Houten of stalen stutten
- Bracings (kruisverbanden)
- Uitwendige frames
- Tyings (rondlopende banden, op de hoekpunten versterkt)
- Voorspanning (symmetrisch per wand of vloer, dus deels binnen)

In Nieuw Zeeland praat men in dit verband wel over "exoskeletons".

Tijdelijke maatregelen van dit type zijn vooral te overwegen bij noodzaak tot een globale bouwkundige versterking als de In Plane capaciteit (IP) te kort schiet. Permanente maatregelen als versterken van wanden en vloeren zijn meestal zeer ingrijpend. Bij met name een korte overbruggingsperiode zouden tijdelijke uitwendige maatregelen een oplossing kunnen bieden, omdat ook de overlast voor de bewoner wordt verminderd.

Versterking van wanden bij het tekort schieten van de capaciteit uit het vlak (OOP, Out of Plane) zijn vaak minder ingrijpend en kunnen niet anders dan binnenshuis worden uitgevoerd. Tijdelijke maatregelen zullen hier niet kostenbesparend zijn en ook niet veel tijdwinst opleveren. Dit heeft ook te maken met de mogelijke seriematige aanpak van deze versterking indien gekozen wordt voor een permanente oplossing. Men kan wel overwegen zodanig te werk te gaan dat het eventuele ruimtebeslag van deze maatregelen na verloop van tijd weer verminderd kan worden. Hier werkt de tijdelijke maatregel dus mogelijk kostenverhogend.

Indien zowel 'in plane' als 'out of plane' versterkingen nodig zijn zal meestal een permante oplossing te prefereren zijn.

Een van de voordelen van de tijdelijke maatregelen voor de IP situatie is de kostenbesparing. Gedacht kan worden aan een factor 2 tot 4. Een ander voordeel is de tijdwinst die geboekt kan worden waardoor de veiligheidsdoelen eerder worden bereikt. Aangetekend moet worden dat een deel van de kostenbesparing en tijdwinst teniet wordt gedaan door de benodigde extra engineering. Zorgvuldigheid is een vereiste omdat verkeerd uitgevoerde "versterkingen" een averechts effect kunnen hebben.

## 5. Conclusie

De volgende conclusies kunnen worden getrokken:

- Het aantal woningen in Groningen dat niet voldoet aan de veiligheidsnorm is als gevolg van de technisch-wetenschappelijke ontwikkelingen en vermindering van de gasproductie in de afgelopen jaren sterk in omvang afgenomen. Als gevolg van de verdere reductie en stopzetting van de gaswinning komt daar nog een extra afname bovenop.
- Er is daarnaast ook sprake van een beperkte tijd vanaf nu waarin de huizen niet voldoen. Eventueel versterken moet daarom vooral gericht worden op een bij voorkeur grote, en op korte termijn efficiënt aan te pakken groep woningen. Dit zouden bijvoorbeeld de URM4L type woningen in het centrale seismisch actieve gebied kunnen zijn. Indien niet op korte termijn met versterking wordt begonnen is deze eenvoudigweg niet meer nodig.
- Of gekozen wordt voor permante of tijdelijke maatregelen lijkt door de sterk gereduceerde omvang van de gehele operatie vanuit kostenoverwegingen minder belangrijk. De belangrijkste reden om een tijdelijke maatregel te overwegen is de kortere realisatieduur en mogelijk geringere overlast. De voorkeur van de bewoner kan hierbij een rol spelen.
- De periode waarin de Meijdam-norm (ook zonder versterking) nog zal worden overschreden is kort en de mate waarin is relatief (meestal) gering. Hoe hiermee om te gaan, is bij uitstek een politiek-bestuurlijke keuze en geen technische.

**Datum**

27 juni 2018

**Onze referentie**

AGE 18-10.052

**Blad**

23/1

**Datum**

27 juni 2018

**Onze referentie**

AGE 18-10.052

**Blad**

24/1

## Vraag 4

*De Mijnraad vraagt aan TNO om vóór 1 juli een zo goed mogelijke inschatting te maken van de risico's voor zoveel mogelijk van de 1588 woningen als redelijkerwijs mogelijk is binnen de beschikbare tijd op basis van de meest recente NPR rekenmethodiek.*

### Antwoord:

#### 1. Algemene introductie

TNO heeft gezien de beperkte tijd voor onderzoek van de batch met 1588 adressen (dit betreft woningen, met soms meerdere woningen per gebouw) 534 rijwoningen onderzocht in Delfzijl, Appingedam en Ten Boer.

Geconcludeerd kan worden dat beoordeling van deze rijwoningen zeer waarschijnlijk er toe zal leiden, dat al deze rijwoningen op dit moment voldoen aan de veiligheidsnorm. Dit gezien de afname in de gasproductie en de daarmee gepaard gaande afname van zowel seismische dreiging als seismisch risico. Vanuit het oogpunt van veiligheid zullen deze rijwoningen geen versterking behoeven. De inschatting van TNO is dat voor de overige adressen uit de 1588 batch er weliswaar woningen zijn die op dit moment niet voldoen aan de veiligheidsnorm, maar dat dit slechts een klein deel betreft.

Hieronder wordt eerst aangegeven uit welke typologieën rijwoningen de 1588 batch bestaat. Vervolgens wordt ingegaan op het huidige niveau van seismische dreiging ter plaatse van deze rijwoningen. Dan wordt aangegeven wat de seismische weerstand van de rijwoningen is. Als laatste wordt een conclusie getrokken over het op dit moment voldoen van de rijwoningen aan de veiligheidsnorm.

#### 2. Beschrijving Batch 1588

De 1588 adressen van deze batch bevinden zich niet direct in het centrumgebied maar verspreid in de randgebieden in de provincie Groningen, met een concentratie in Appingedam en Delfzijl. De woningen uit de 1588 batch zijn onder andere vanwege hun locatie niet zonder meer de woningen met het hoogste risico. In de batch van 1588 adressen bevinden zich verschillende woningtypologieën. De grootste categorie is die van de rijwoningen. In dit advies beschouwt TNO alléén de rijwoningen en wel alleen de rijwoning-typologieën zoals weergegeven in Tabel 1. Dit betreft 534 rijwoningen die gelegen zijn in Delfzijl, Appingedam en Ten Boer. Dit zijn veel voorkomende rijwoningen met twee verdiepingen en een zolder. Met deze keuze wordt het overgrote deel van de rijwoningen in de 1588 batch afgedekt.



**Datum**  
27 juni 2018

**Onze referentie**  
AGE 18-10.052

**Blad**  
25/1

Tabel 1: Beschouwde typologieën rijwoningen

	Typologie	Locatie	aantal
1	DELE_HUIBPL_01	Delfzijl	40
2	MARTINI E45 C Basis Garage plat Garage zadel LLBW	Delfzijl	130
3	MARTINI E45 D Basis Basis + Erker Garage Plat Garage Zadel LLBW	Delfzijl	95
4	MARTINI E50.001	Ten Boer	20
5	MARTINI K	Appingedam	10
6	MARTINI K.E8260	Delfzijl	27
7	MARTINI K66	Appingedam	24
8	MARTINI K66.E8260	Appingedam	188
TOTAAL			534

De 1588 adressen met bijbehorende typologie en locatie zijn door de NCG aangeleverd aan de Mijnraad<sup>8</sup> en via de Mijnraad aan TNO op een kaart met 10 cellen van 1 km x 1 km. Deze studie beperkt zich tot de 534 te analyseren woningen in 7 cellen in Delfzijl, Appingedam en Ten Boer.

Per locatie zijn de NCG cellen vergeleken met het NEN-webtool grid om de bijbehorende NEN gridcellen op te sporen die gebruikt zijn in de TNO berekeningen. Dit levert de voor de beoordeling relevante gridcellen, zoals weergegeven in Tabel 2.

### 3. Beoordelingssystematiek

Conform het verzoek van de Mijnraad is de beoordeling uitgevoerd op basis van de laatste inzichten in NPR 2018. Deze NPR bevat een ANNEX G welke beschrijft hoe voor metselwerk bouwwerken een beoordeling uit te voeren op basis van een equivalente niet-lineaire statische procedure. Hierin wordt de belasting weergegeven in een ADRS spectrum (voor een herhalingstijd van 2575 jaar) en wordt de sterkte van de constructie uitgedrukt in een capaciteitscurve. Op basis van een vergelijking van rekenwaarden van de kracht- en verplaatsingscapaciteit van de gebouwconstructie en de rekenwaarden van de kracht en verplaatsing uit de aardbevingen kan beoordeeld worden, of de constructie voldoende veilig is. Gezien de eigenschappen van de hier onderzochte rijwoningen, kan gesteld worden dat- in een enigszins conservatieve benadering - het gedrag volledig bepaald wordt door de verhouding tussen de rekenwaarde van de

<sup>8</sup> E-mail juni 2018

verplaatsingscapaciteit en de rekenwaarde van de verplaatsing opgelegd aan de rijwoning door een aardbeving.

#### 4. Seismische belastingen

Voor de 'weer' scenario's 'koude winters', 'gemiddelde winters' en 'warme winters' zijn gasproductie scenario's vastgesteld door EZK en GTS. Deze zijn doorgerekend tot seismische belasting/hazard op maaiveldniveau door zowel NAM als KNMI. Het scenario gemiddelde winters wordt als meest reëel gezien en is in Tabel 2 vergeleken met de scenario's voor een gemiddelde winter conform het NAM model.

Zowel NAM als KNMI hebben hun uitkomsten aan TNO ter beschikking gesteld<sup>9</sup>. Een eerste vergelijking laat zien dat de uitkomsten overeenkomen, alhoewel NAM op iets hogere belastingniveau's uitkomt.

Door TNO is gerekend met 21% demping conform de laatste inzichten in NPR 2018 en het vrije vorm spectrum aangeleverd door KNMI en NAM voor de scenario's koude winters (hi-case), gemiddelde winters (mid-case) en warme winters (lo-case) voor de jaren 2018 t/m 2027 (bij KNMI: perioden t1, t2, t3). In Tabel 2 staan de piekverplaatsingen voor de relevante cellen en 'weer'scenario's voor een herhalingsijd van 2475 jaar.

Voor alle KNMI hazard/ belasting scenario's blijven de verplaatsingen onder de 30 mm voor alle beschouwde cellen. Voor de NAM hazard/ belasting scenario's zijn de waarden iets hoger.

**Datum**

27 juni 2018

**Onze referentie**

AGE 18-10.052

**Blad**

26/1

<sup>9</sup> KNMI data via e-mail juni 2018, NAM data via de Mijnraad e-mail juni 2018

**Datum**  
27 juni 2018

**Onze referentie**  
AGE 18-10.052

**Blad**  
27/1

Tabel 2: Rekenwaarden maximale verplaatsing (in mm) voor  $T=2475$  jaar bij 21% demping voor de relevante gridcellen.  
DLFZ betreft locaties in Delfzijl, APP betreft locaties in Appingedam en TB betreft locaties in Ten Boer.

scenarios	Delfzijl				Appingedam						Ten Boer	
	DLFZ1	DLFZ2	DLFZ3	DLFZ4	APP1	APP2	APP3	APP4	APP5	APP6	TB1	TB2
KNMI t1 hicase	22	21	22	22	26	26	23	23	23	23	23	22
KNMI t2 hicase	21	21	21	21	25	25	22	22	22	22	22	21
KNMI t3 hicase	18	17	17	17	20	20	18	18	18	18	19	18
KNMI t1 locase	20	19	19	19	22	22	20	20	20	20	21	19
KNMI t2 locase	18	18	18	18	20	20	19	19	19	19	19	18
KNMI t3 locase	15	14	14	14	18	18	16	16	16	16	17	16
KNMI t1 midcase	21	20	20	20	24	24	22	22	22	22	22	20
KNMI t2 midcase	19	19	19	19	22	22	20	20	20	20	21	19
KNMI t3 midcase	16	15	16	16	18	18	17	17	17	17	18	17
NAM gemiddelde winter 2018	22	22	22	21	26	26	26	26	25	26	23	23
NAM gemiddelde winter 2019	24	23	24	23	28	29	29	27	27	28	24	24
NAM gemiddelde winter 2020	23	22	23	22	27	28	28	26	26	26	25	24
NAM gemiddelde winter 2021	21	21	21	21	25	25	26	24	24	24	23	23
NAM gemiddelde winter 2022	19	18	18	18	22	22	22	21	21	21	22	22
NAM gemiddelde winter 2023	14	13	13	13	16	16	16	16	15	16	19	19
NAM gemiddelde winter 2024	13	12	12	12	15	15	15	14	14	14	18	18
NAM gemiddelde winter 2025	12	12	12	12	14	14	14	13	13	13	17	17
NAM gemiddelde winter 2026	12	12	12	11	14	14	14	13	12	13	17	16
NAM gemiddelde winter 2027	11	11	11	10	13	13	13	12	12	12	16	16

## 5. Seismische weerstand

Voor het bepalen van de seismische weerstand zijn capaciteitscurves benodigd volgens de systematiek in Annex G van de NPR. Hiervoor zijn door TNO verschillende bronnen geraadpleegd.

Studio Calvi [rapportage Studio Calvi (2018)] heeft een studie uitgevoerd naar de seismische (verplaatsings)capaciteit van de rijwoningen, waarbij de zwakke richting is geanalyseerd (in-het-vlak). Tabel 3 geeft een overzicht van de berekende verplaatsingscapaciteit.

**Datum**

27 juni 2018

**Onze referentie**

AGE 18-10.052

**Blad**

28/1

*Tabel 3: Rekenwaarde verplaatsingscapaciteit verschillende rijwoningen conform [1], met rijwoning typologieën cf. Tabel 1*

Rijwoning type	Verplaatsingscapaciteit (mm)
1	45
2	33-37
3	40
4	40
5	33
6	35
7	37
8	35

In [Notities 2015] is door Adviesbureau ir. J.G. Hageman in twee rekenvoorbeelden conform en behorend bij NPR 2015 ook een capaciteitscurve afgeleid voor 2 typen rijwoningen die qua typologie dichtbij de bovenstaande typologieën liggen. De in deze studie gevonden verplaatsingscapaciteit is weergegeven in Tabel 4.

*Tabel 4: Rekenwaarde verplaatsingscapaciteit verschillende rijwoningen conform [2] en [3]*

Rijwoning type	Verplaatsingscapaciteit (mm)
A	35 a 40
B	ca 33

Op basis van deze resultaten is het redelijk aan te nemen, dat de verplaatsingscapaciteit van de hier beschouwde en veelvoorkomende typen rijwoningen minimaal 30-35 mm bedraagt.

## 6. Resultaten

Voor de beschouwde locaties is de rekenwaarde van de verplaatsing aan de rijwoningen opgelegd vanuit de aardbevingen kleiner dan de verplaatsingscapaciteit. Dit geldt voor zowel de KNMI als de NAM belastingmodellen en voor zowel de productiecurves voor koude winters als voor gemiddelde en warme winters. Daarmee wordt dus voor het in-het vlak gedrag van de 534 rijwoningen reeds nu (2018) voldaan aan de veiligheidsnorm.

Opgemerkt wordt, dat het al dan niet voldoen van de beschouwde rijwoningen gevoelig is voor kleine variaties in hazard en draagkracht. Dit omdat ze rond de grens van de veiligheidsnorm zitten. Dit betekent echter tevens dat, indien rijwoningen niet voldoen, het draagkrachtekort gering is en geen zware versterkingsmaatregelen noodzakelijk zijn.

Voor uit-het-vlak gedrag en voor vallende objecten dient voor deze rijwoningen nog een aparte toets uitgevoerd te worden. Deze is nog niet uitgevoerd maar zou binnen enkele maanden gereed kunnen zijn. De verwachting is dat ook de toets van de fundering van deze batch zal leiden tot voldoende veiligheid.

**Datum**

27 juni 2018

**Onze referentie**

AGE 18-10.052

**Blad**

29/1

Opgemerkt wordt dat voor bouwwerken die niet in-het-vlak voldoen aan de veiligheidsnorm globale versterkingsmaatregelen noodzakelijk zijn. Bouwwerken die met betrekking tot het uit-het-vlak gedrag of in verband met vallende objecten niet voldoen aan de veiligheidsnorm, kunnen met lokale versterkingsmaatregelen, zonder veel overlast, worden versterkt.

**Datum**

27 juni 2018

**Onze referentie**

AGE 18-10.052

**Blad**

30/1

## Referenties

Bourne, S.J., Oates, S.J., 2017. Extreme threshold failures within a heterogeneous elastic thin-sheet and the spatial-temporal development of induced seismicity within the Groningen gas field, *J. Geophys. Res. Solid Earth.*, doi 10.1002/2017JB014356

Dempsey, D., & Suckale, J. (2017). Physics-based forecasting of induced seismicity at Groningen gas field, the Netherlands. *Geophysical Research Letters*, 44(15), 7773-7782.

EZK 2018 de brief van 29 maart over Gaswinning Groningen met kenmerk DGETM-EI / 18057375)

NAM 2015. M. Pickering, An estimate of the earthquake hypocenter locations in the Groningen gas field, NAM report June 2015.

NAM 2017 Induced Seismicity in Groningen – Assessment of Hazard, Building Damage and Risk (November 2017)

NAM 2018a Seismic Risk Assessment for a selection of Gas Production Scenarios for the Groningen field. Addendum to: NAM 2017 (maart, 2018)

NAM 2018b Seismic Hazard an Risk Assessment in Groningen – Preliminary Results Production Scenario “Basispad Kabinet” (verkregen via de Mijnraad, juni 2018)

Nepveu, M., van Thienen-Visser, K., Sijacic, D., Statistics of seismic events at the Groningen field, *Bulletin of Earthquake engineering* 14 (12): 3343-3362, 2016.

Pijpers, F.P., 2016b. Trend changes in tremor rates in Groningen: update November 2016. Statistics Netherlands (The Hague). Available at [www.cbs.nl/-/media/\\_pdf/2016/47/tremors\\_nov2016.pdf](http://www.cbs.nl/-/media/_pdf/2016/47/tremors_nov2016.pdf) [Google Scholar](#)

Shell 2016. Measuring changes in earthquake occurrence rates in Groningen, update October 2016.

TNO 2011, “Veiligheidsbeoordeling bestaande bouw – Achtergrondrapport bij NEN 8700”, TNO-060-DTM-2011-03086, December 2011.

TNO 2014, Aanbiedingsbrief rapport TNO-2013 R11953, kenmerk AGE 14-10.016.

TNO 2016, Groningen field 2013 to present; Gas production and induced seismicity. TNO 2016 R10425

**Datum**

27 juni 2018

**Onze referentie**

AGE 18-10.052

**Blad**

31/1

van Wees, J. D., Osinga, S., Van Thienen-Visser, K., & Fokker, P. A. (2017a). Reservoir creep and induced seismicity: inferences from geomechanical modeling of gas depletion in the Groningen field. *Geophysical Journal International*, 212(3), 1487-1497.

Steenbergen, R.D.J.M., Vrouwenvelder, A.C.W.M., “Reliability based assessment of buildings under earthquakes due to gas extraction”, Heron 2014.

Steenbergen, R.D.J.M., Vrouwenvelder, A.C.W.M., Safety requirements for buildings under induced earthquakes due to gas extraction, Risk, Reliability and Safety: Innovating Theory and Practice - Proceedings of the 26th European Safety and Reliability Conference, ESREL 2016.

Van Wees, J.D., Fokker, P.A., van Thienen-Visser, K., Wassing, B.B.T., Osinga, S., Orlic, B., Ghouri, S.A., Buijze, L., Pluymaekers, M., (2017b) Geomechanical models for induced seismicity in the Netherlands: inferences from simplified analytical, finite element and rupture model approaches. *Netherlands Journal of Geosciences – Geologie en Mijnbouw*, 96-5, s183-s202, 2017

Commissie Haenen

Impact Assessment Nederlandse Praktijk Richtlijn Aardbevingsbestendig bouwen  
Stuurgroep NPR . januari 2015

Advies Commissie-Meijdam ‘Omgaan met risico’s van geïnduceerde  
aardbevingen’

Handelingsperspectief voor Groningen

Uitgave Lysias Advies B.V. Soesterweg 310-D E., Amersfoort, november 2015

NEN 8700:2011 Beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand  
bouwwerk bij verbouw en afkeuren - Grondslagen  
Nederlandse norm, NEN, Delft, 2011

Vrouwenvelder A.C.W.M., N. Scholten, RDJM Steenbergen

Veiligheidseisen bij bestaande bouw - Achtergrond bij

TNO Rapport TNO-034-DTM-2010-01104, Delft, 2010

Rapportage Studio Calvi op basis van memo

“NAM.PO4512967520\_30\_Memo180627\_01\_R0\_NPR application for IP”, 2018

Notitie Adviesbureau ir. J.G. Hageman, Notitie 15-4-2015. NPR 9998-  
Rekenvoorbeeld 1 steenconstructies.

Notitie Adviesbureau ir. J.G. Hageman, Notitie 145-4-2015. NPR 9998-  
Rekenvoorbeeld 2 steenconstructies.