

RUIMTELIJKE VEILIGHEID

EN RISICOBELEID

abstracts

Waarschijnlijkheid en onzekerheid

Ben Ale

Een nieuwe veiligheidsnorm voor Groninger aardbevingen?

Jaques Hagoort

Toekomstperspectief gaswinning met aardbevingen in Groningen: ontwikkeling van de seismische dreiging en een 'veiliger' gaswinstrategie

Charles Vlek

Het risico van de gaswinning: Effecten van de Groningse gaswinning op veiligheidsbeleving, risicoperceptie en gezondheid

Stroebe, Postmes, Lekander, Richardson, Oldersma, Broer

Juridisch actueel

Esther Broeren & Christiaan Soer

Bovengrondse hogedruk stoom transportleidingen: welk risico voor de omgeving en hoe te beoordelen?

Jan Heitink & Robert Geerts



Jrg. 7 – nr. 24 – september 2016

Inhoud:

abstracts	p. 3
Waarschijnlijkheid en onzekerheid Column Ben Ale	p. 5
Een nieuwe veiligheidsnorm voor Groninger aardbevingen? Jaques Hagoort	p. 9
Toekomstperspectief gaswinning met aardbevingen in Groningen: ontwikkeling van de seismische dreiging en een 'veiliger' gaswinstrategie Charles Vlek	p. 12
Het risico van de gaswinning: Effecten van de Groningse gaswinning op veiligheidsbeleving, risicoperceptie en gezondheid Stroebe, Postmes, Lekander, Richardson, Oldersma, Broer	p. 36
Juridisch actueel Esther Broeren & Christiaan Soer	p. 48
Bovengrondse hogedruk stoom transportleidingen: welk risico voor de omgeving en hoe te beoordelen? Jan Heitink & Robert Geerts	P. 54
Colofon	p. 64

Abstracts

editorial

The editorial staff presents its abstracts of the articles in this issue of RV&R (RV&R being the abbreviation of the name of this journal). In presenting this summary we hope to facilitate the interest of specialists in the variety of fields on risk policy and societal safety and risk management. If you have specific questions on the topic raised in an article please don't hesitate to address the author(s) (email addresses are given). The editorial staff aims at crossovers of knowledge between the diverse specialisms of risk governance, societal safety and risk communication. We regret that English versions of articles you may be interested in cannot yet be made available and obtaining them depends completely on the willingness of the author for translation.

Probability and uncertainty, by B.J.M. Ale (p. 5-8)

Part two of Ben Ale's introduction for political decision makers about risk thinking. In part two the concept of uncertainty is illustrated. It is made clear that uncertainty is not an unambiguous concept. ben.ale@xs4all.nl

A new safety standard for earthquake risks in the province of Groningen? by J. Hagoort (p. 9-11)

The author criticizes the rationales behind the new safety standard for the natural gas production from the Groningen gas field. The risk from induced earthquakes correlates with the yearly production volume of natural gas. The peculiar reasoning from the SodM (translated: State Authority on Mining Activities) is explained by Hagoort. He concludes that the effect on lowering the yearly gas production volume to some level, which is considered as safe enough, has only the effect of mediating the expected number of earthquakes over a longer time period. jacqueshagoort@gmail.com

Development of seismic threat and risk control under uncertainty, by C.A.J. Vlek (p. 12-35)

Induced earthquakes from natural gas extraction will keep plaguing the Netherlands' province of Groningen for decades to come. Particularly after 2002, the earthquakes (EQs) have increased in number, magnitude and resulting damage. The Gutenberg-Richter equation about the statistical distribution of EQ magnitude is applicable here, too. Linear extrapolations from the registered-earthquake catalogue over 2001-2015 indicate that, when substantial gas extraction would continue, around 2020 some 30 EQs with magnitude $M \geq 1.5$ (Richter) could be expected annually, four of which having $M \geq 2.5$. Rather harmful and even life-threatening EQs with $M \geq 3.5$ or $M \geq 4.0$ would occur twice or once per five years, respectively.

Meanwhile, however, annual gas extraction has been considerably reduced, from 54 billion cubic meters in 2013 to 27 bcm in 2015/'16. Thus, for around 2020 the Netherlands Petroleum Company (NAM) foresees at most 22 EQs with $M \geq 1.5$ per year, three of which having $M \geq 2.5$. This is hardly more than the actual EQ activity over 2015. The latter, however, would only be a temporary reduction since – due to continuing reservoir compaction – after 2020 seismicity would again increase, up to some 28 EQs annually around 2025. For the longer term an international expert panel estimates the maximum possible EQ to have an M between 4.0 and 7.0.

Following a policy advice by the Dutch State Supervision of Mines (2016), there recently is a possibly sustainable decrease in EQ activity. When Groningen gas extraction would be moderately further reduced and the usual seasonal production fluctuations would henceforth be avoided, seismic threat and risk might further decrease. Meanwhile, SSM finds NAM's (life-) risk assessments to be of limited use. Given persistent uncertainties about reservoir compaction, pressure equalisation, underground

faults and peak ground accelerations, the SSM's desire for 'an optimal risk control system' seems somewhat optimistic.

A serious decrease in EQ activity would have far-reaching consequences for the government's multi-annual programme for making thousands of vulnerable structures earthquake-proof. So far, the much-encompassing 'risk approach' seems the most problematic policy component. Further research and debate may eventually put an end to notable differences in seismological model-thinking between NAM and SSM. KNMI-reports on peak ground accelerations could be more comprehensible for non-seismologists. More social-science research around natural gas extraction seems meaningful as well as desirable. c.a.j.vlek@rug.nl

The Risk of Gas Production, by K. Stroebe, J. Postmes, B. LeKander, J. Richardson,, F. Oldersma, J. Broer (p. 36 -47)

The article describes a study on the effects of the gas production on the state of health of the public in the province of Groningen, on their risk perception and safety experience. The method used in the study is explained. The results of their study are part of a comprehensive study on the effects on the public. The results show an increase of health problems and decrease of safety experience. Although the concern of the public is serious it doesn't lead to a significant migration of inhabitants. It appears that the people are attached to their surroundings. k.e.stroebe@rug.nl

Column: < Legal matters > by E.M. Broeren & J.H.K.C. Soer (p. 48- 53)

In their regular column the authors discuss the implications of recent decisions from the Council of State on matters of 'external safety'. e.broeren@element-advocaten.nl christiaan.soer@rhdhv.com

How to assess and evaluate the risk of high pressure steam pipelines through industrial areas by R. Geerts, J. Heitink (p. 54-62)

The auteurs describe what risks can be associated with steam pipeline trajectories through industrial areas. They describe how to calculate the effects of hot steam on skin burns. They propose a frame of reference which offers a logic scheme for reasoning about the acceptability of the risk and the need for extra safety measures. The scheme is a specific format derived from the well known risk matrix. J.heitink@aviv.nl r.geerts@aviv.nl

Waarschijnlijkheid en onzekerheid

B. (Ben) J.M. Ale ¹

column

In een vorige column hebben we stilgestaan bij het uitrekenen van kansen en gevolgen. Dat zijn de twee dimensies waarin over het algemeen risico's worden uitgedrukt. Er zijn heel veel varianten op dit thema, maar die zijn allemaal eigenlijk toch weer gewoon kans en gevolg.

Bij het nemen van een besluit is van belang te weten wat de onzekerheden in al die sommen en schattingen zijn. Waarbij meteen moet worden aangetekend dat risico zelf al een uitdrukking is van onzekerheid. Zelfs als de uitgerekende kans 1 is, kunnen er nog onzekerheden zijn in de gevolgen. En misschien is die berekende uitkomst 1 ook niet helemaal zeker. Zoals we zullen zien kunnen al die onzekerheden worden terug gevoerd in de berekening van kans en gevolg, zodat er toch weer één risicoplaatje ontstaat. De vele discussies van de afgelopen decennia hebben echter wel laten zien dat dat ook conceptueel voor veel besluitnemers een brug te ver is. Die zien liever onzekerheidsbanden om hun schattingen.

Voordat we daaraan toe komen moeten we het echter eerst hebben over zwarte zwanen. Sinds Taleb's boek *De Zwarte Zwaan* is die vogel het symbool geworden van de compleet onverwachte verrassing. De donderslag bij heldere hemel, "out of the blue". Voor meneer de Vlamingh was de verrassing groot, toen hij in 1697 in Australië een zwarte zwaan tegen het lijf liep. Hij wist niet beter of er bestonden alleen witte Europese zwanen. Voor de Australische aborigines waren zwarte zwanen heel gewoon. Of een gebeurtenis een verrassing is hangt dus af van de kennis die iemand, de wetenschap, de consultant of de besluitnemer heeft en dat hoeft niet alle kennis te zijn. Dat blijkt ook wel uit het Taleb's boek, die de financiële crisis van 2007 een zwarte zwaan noemt, terwijl er al aan het begin van de liberalisering van de geldmarkt waarschuwingen hiervoor klonken. Misschien heeft Taleb die waarschuwingen weleens gelezen maar verdrongen en zo niet dan vond hij de zwarte zwaan metafoor als titel voor zijn boek heel geschikt. Terje Aven heeft vervolgens aan het wel of niet beschikken van kennis over zaken een serie publicaties gewijd. Aven brengt "beschikbare" kennis in als een van de dimensies van het risico. Dat leidt tot allerlei filosofische beschouwingen, maar veel helpen doen die niet echt. De juistheid van, of de onzekerheid in, elke risico berekening wordt begrensd door de juistheid, volledigheid en bekendheid van de gegevens. Dat geldt voor de jaarrekening van een multinational, voor de aanslag inkomsten belasting en voor het risico. De besluitnemer moet ergens van uit gaan. Hij kan ook gewoon een gulden opgooien: doe ik 't of doe ik 't niet. Of zoals de Romeinen een dobbelsteen of alea. Alea jacta est: het besluit is genomen. En dat brengt ons bij een andere onzekerheid: de aleatorische onzekerheid, oftewel die van de dobbelsteen.

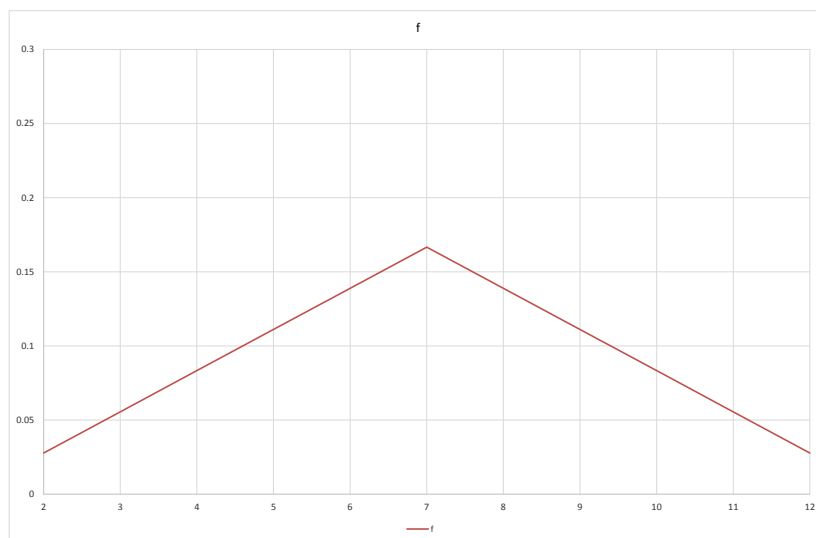
Er is geen enkele manier om vooraf te weten welke kant van een munt boven zal komen of welke zijde van de dobbelsteen. Zelfs als er iets met die munt of de dobbelsteen aan de hand is en we daar weet van hebben, dan nog kunnen we niet vooraf weten wat de uitkomst zal zijn. Maar een voorkeur kunnen we wel aangeven over de uitkomst. Onze onzekerheid is minder geworden doordat we weten wat er aan hand is met de dobbelsteen. Als de munt of dobbelsteen een asymmetrisch zwaartepunt heeft en we hebben daar geen weet van dan blijft de kans op kop $\frac{1}{2}$ en die op 6 blijft $\frac{1}{6}$.

Die onzekerheid is dus zeker. Bij dobbelstenen zijn er nog twee extra zekerheden: De verwachtingswaarde, dat is het theoretische gemiddelde van alle worpen als je oneindig lang zo gooit, vandaar theoretisch. Die verwachtingswaarde is gelijk aan 3,5. Waar je wel zekerheid over hebt is dat het gemiddelde dat je gooit heel weinig zal afwijken van 3,5 als je voldoende vaak gooit.

¹ Ben Ale Risk Management Advice, Emeritus hoogleraar Veiligheid en Rampenbestrijding TU Delft. ben.ale@xs4all.nl

Maar 3,5 is niet een vlakje dat boven kan komen. Bij munten is er ook een kleine onzekerheid: een dubbeltje kan op zijn kant terecht komen. Daar houden we bij het tossen echter geen rekening mee. De kans op kop en de kans op zes worden ook wel frequentistische kansen genoemd: de te verwachten aantal maal van optreden van 6 gedeeld door het aantal worpen.

Als de uitkomst niet zeker is, en bij dobbelstenen is die dat dus niet, dan kunnen we die onzekerheid zichtbaar maken als de kansverdeling van de uitkomsten. Voor twee dobbelstenen ziet dat er uit als figuur 1. De kans dat er 7 wordt gegooid is het hoogst, de kans op 12 of 2 is het laagst. De kansen zijn verticaal uitgezet in de figuur.



figuur 1.

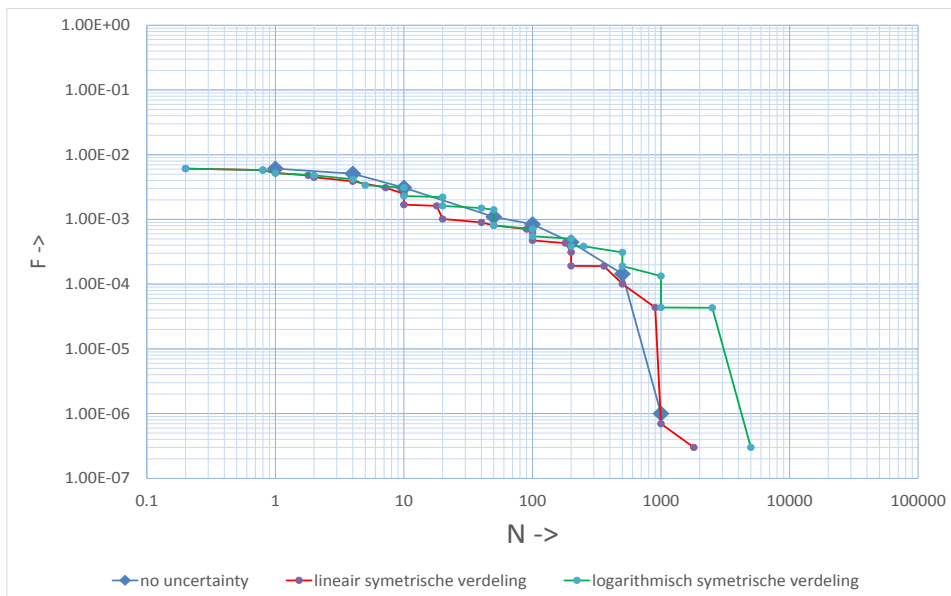
Kansen kun je ook bepalen door het gedrag van je object of systeem te onderzoeken; een experiment dat berust op voldoende herhalingen om te zien wat telkens de uitkomst is. Er zijn ook kansen die niet, zoals die bij echte dobbelstenen, door experimenteren kunnen worden bepaald. Die moeten worden ingeschat op basis van de beschikbare informatie en op basis van ideeën die we hebben over hoe de wereld in elkaar zit. Omdat daar vaak een subjectief kantje aanzit, de inschatting van de expert, worden dat wel subjectieve kansen genoemd. Als we de bezwijkkans van een drukvat inschatten op basis van ongelukken en een schatting van het totaal aantal drukvaten, dan nemen we en passant aan dat alle drukvaten ongeveer gelijk zijn in hun kans op bezwijken door welke oorzaak dan ook. Als we verder geen informatie hebben moet dat maar. We kunnen nog wel een poging doen om in te schatten hoe nauwkeurig dat dan is, of hoe groot de spreiding is of kan zijn in de kansen afhankelijk van de verscheidenheid aan drukvaten in de populatie. Die schattingen zijn dan nog subjectiever, maar ook daarmee valt best te rekenen.

n	F
1	$1,0 \cdot 10^{-3}$
4	$2,0 \cdot 10^{-3}$
10	$2,0 \cdot 10^{-3}$
50	$2,5 \cdot 10^{-4}$
100	$4,0 \cdot 10^{-4}$
200	$3,0 \cdot 10^{-4}$
500	$1,43 \cdot 10^{-4}$
1000	$1,0 \cdot 10^{-6}$

tabel 1

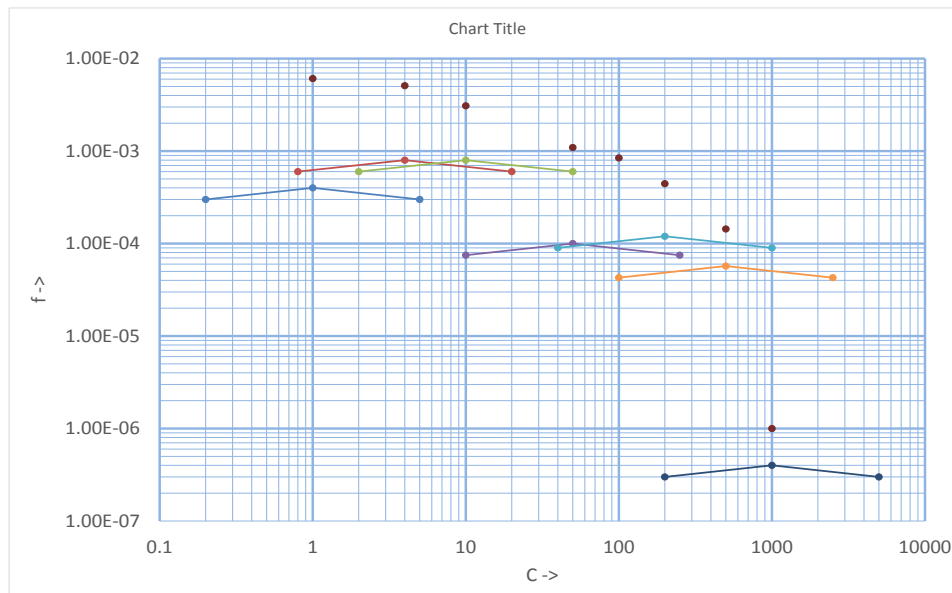
Hoe dat in z'n werk gaat wordt geïllustreerd met het volgende voorbeeld. Stel er zijn in een systeem 8 ongevallen mogelijk ieder met een eigen kans en een eigen gevolg (tabel 1). Dan kunnen we een FN curve uitrekenen, zoals is uitgelegd in de vorige column (hier figuur 2).

Stel nu, dat we de gevolgen niet precies weten, maar dat die gevolgen ook een factor 5 hoger, of een factor 5 lager zouden kunnen zijn en dat we denken dat de kans op die uitschieters nog redelijk groot



figuur 2.

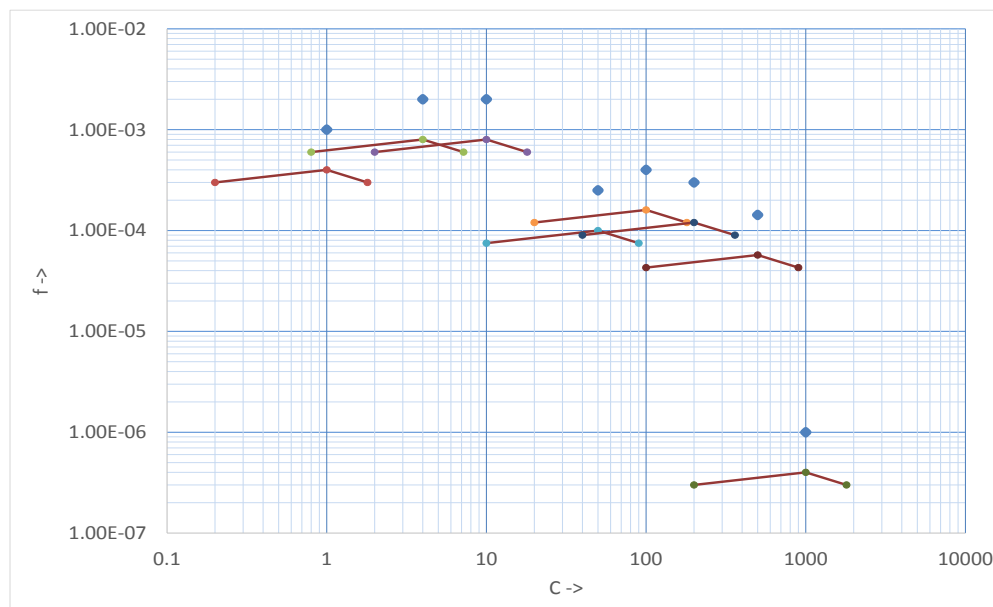
zou kunnen zijn ook. Stel 40% kans dat de middenschatting juist is, en 30% kans dat de extreme schattingen juist zijn. De 8 punten in de F,n grafiek (de niet cumulatieve) worden dan mini kansverdelingen over de gevolgen. In plaats van 8 punten hebben we er nu 24. (figuur 3). We kunnen dan weer een FN curve berekenen. Die staat ook in figuur 1. De nieuwe curve is tegen de klok in geroteerd ten opzichte van de vorige. Bovendien is de verwachtingswaarde nu hoger. We hebben de kansverdeling over de gevolgen namelijk symmetrisch gemaakt in het logaritmische domein: maal 5 en gedeeld door 5.



figuur 3.

De verwachtingswaarde wordt altijd uitgerekend in het lineaire domein. Als we de verwachtingswaarde constant willen hebben moeten we de onzekerheid symmetrisch verdelen rond de centrale schatting in het lineaire domein. Dat wil zeggen 0.2 en 1.8 van de oorspronkelijke waarde. Die kans verdelingen staan in figuur 4 en de F,n curve in fig 1. De F,n curve is nog steeds geroteerd t.o.v. de oorspronkelijke maar niet meer zo veel en de verwachtingswaarde blijft nu gelijk.

Omdat we vaak noodgedwongen met een expert opinie of weinig feiten beginnen en er in de loop van de tijd waarnemingen en feiten bijkomen – denk maar aan de ontdekkingsreiziger Vlammingh – kunnen we onze kansschattingen verbeteren op een manier die bedacht is door dominee Thomas Bayes rond het midden van de 18de eeuw.



figuur 4.

Dat houdt in dat we meer zekerheid hebben dat die schatting dichter naar zijn onbekende waarde is geschoven. Dit wordt dan ook Bayesiaans verbeteren genoemd. De wiskunde daarachter gaat voor dit stukje te ver, maar de gedachte is dat een nieuwe waarneming de kans vergroot of verkleint dat onze oude schatting en de daarbij behorende kansverdeling juist is en dat leidt dan weer tot een verbeterde schatting die beter past bij de totale set van waarnemingen. Naarmate het aantal waarnemingen toeneemt –dus de kennis groeit over het systeem- wordt de invloed van subjectieve schattingen in de uitkomst steeds kleiner. Dat klinkt niet alleen logisch, maar volgt ook uit de Baysiaanse formule van de kansrekening. Om die reden vindt de Bayesiaanse kansrekening in risico analyses steeds meer toepassing. We kunnen namelijk alvast een schatting maken op basis van wat we weten en wanneer we meer te weten komen de schatting verbeteren. Dit laatste gebeurt overigens zelden. Sommige risicoanalyses gaan decennia mee. Het duurt lang voordat we wezenlijk wat nieuws te weten komen over hoe en wat er kan gebeuren met een systeem dat risico's heeft. De gekwantificeerde onzekerheid van de mogelijkheid op een zeldzame maar rampzalige gebeurtenis heeft een lang leven. Daar moeten we mee leven. Soms lijkt er een inhaalmanoeuvre plaats te vinden in de onzekerheden over kans op rare gebeurtenissen. De wetenschappelijke opvatting over de kans op een zware aardbeving ($M > 4,5$) in Groningen is binnen twee jaar sterk veranderd. Misschien niet alleen fysisch (door de toenemende schuifspanningen langs breukvlakken in het gesteente waar het gas uit verdwijnt), maar ook door veranderde opvattingen in de kennis over de aardbevingen in het Groninger gasveld.²

Verwijzingen

Ale, B.J.M. (2016). Een korte cursus risicorekenen en het 'maatschappelijk risico' van aardbevingen in Groningen. Ruimtelijke Veiligheid en Risicobeleid Jrg 7, Nr 22/23, (p. 10-21).



Een nieuwe veiligheidsnorm voor Groningen?

J. (Jaques) Hagoort ¹

kennis / discussie

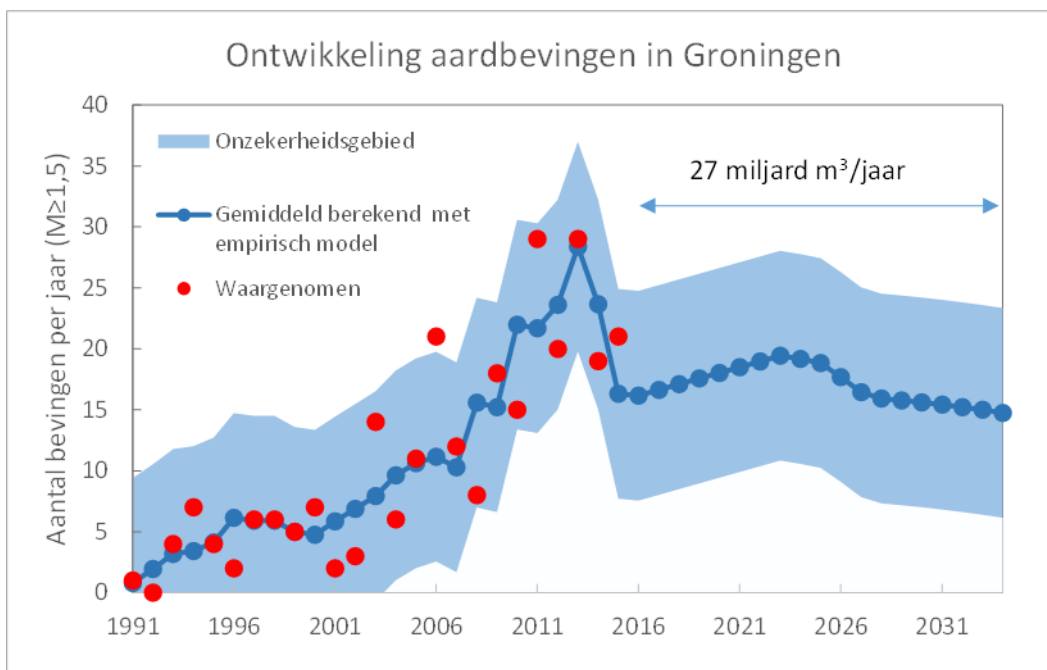
Het leek allemaal zo goed geregeld met de veiligheid van de bewoners in het aardbevingsgebied van Groningen. Een speciale commissie (Meijdam c.s.) heeft eind vorig jaar een duidelijke norm vastgesteld die door de minister van EZ is overgenomen en vervolgens door het parlement bekrachtigd. Die norm zegt dat het jaarlijkse overlijdensrisico van een individuele bewoner als gevolg van aardbevingen kleiner moet zijn dan 1 op de 100.000. Dat houdt in dat de minister en het parlement het acceptabel vinden dat er in het aardbevingsgebied met zo'n 125.000 inwoners maximaal 1,25 aardbevingsdoden per jaar vallen. Om aan die norm te voldoen is er een groot-schalige versterkingsoperatie in gang gezet onder leiding van een speciaal daarvoor aangestelde Nationaal Coördinator Groningen. Aanvankelijk werd geschat dat er tienduizenden woningen zouden moeten worden versterkt. Dankzij voortschrijdend inzicht is dat inmiddels teruggebracht tot enige honderden. De hele operatie moet binnen 5 jaar zijn afgerond. En dan is Groningen veilig, volgens de Meijdam norm.

Recentelijk heeft de Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM) bij de minister van EZ een nieuw Winningsplan voor het Groningen gasveld ingediend dat moet ingaan op 1 oktober 2016. Daarin laat NAM op basis van geavanceerde rekenmodellen zien dat er bij de huidige jaarlijks toegestane productie van 27 miljard kubieke meter aan de afgesproken veiligheidsnorm kan worden voldaan. Na voltooiing van de versterkingsoperatie kan het jaarlijkse productievolume zelfs worden verhoogd naar 33 miljard. Echter: het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM), de veiligheidsadviseur van de minister van EZ waar het gaat om mijnbouwkundige operaties. Het SodM heeft geen enkel vertrouwen in de rekenmodellen van de NAM. Die zijn volgens het SodM "beperkt bruikbaar" en bieden geen "solide" basis voor het vaststellen van een veilige jaarlijkse productiesnelheid. Maar wat dan wel? Daarvoor heeft het SodM een compleet nieuwe norm uit de lucht geplukt: het aantal aardbevingen per jaar met een sterkte van 1,5 of meer op de Schaal van Richter mag gedurende de komende 5 jaar, de voorgestelde looptijd van het nieuwe Winningsplan, niet meer bedragen dan 21. Dat is gelijk aan het aantal geregistreerde bevingen in het afgelopen jaar 2015, door SodM peildatum gedoopt. De productiesnelheid moet dan zo gekozen worden dat het aantal toekomstige bevingen onder de 21 per jaar blijft. Om dat te bepalen valt het SodM terug op de rekenmodellen van de NAM. Uit de door de NAM aangeleverde prognoses van het aantal aardbevingen leidt het SodM af dat de jaarlijkse productie dan hooguit 24 miljard mag bedragen. Met die snelheid is het volgens het SodM veilig produceren. En de minister volgt daarin zijn adviseur.

De redenering van het SodM is uiterst curieus om vier redenen. Ten eerste, het SodM gebruikt de resultaten van rekenmodellen waarvan het eerder heeft beweerd dat die beperkt bruikbaar en niet zo solide zijn. Ten tweede, de keuze van 21 bevingen in het peiljaar 2015 is volstrekt willekeurig. Het SodM had voor hetzelfde geld kunnen kiezen voor het jaar 2008, toen zijn er maar 8 bevingen met een sterkte van 1,5 of meer geregistreerd. Ten derde, door te kiezen voor het aantal bevingen in één specifiek jaar ignoreert het SodM de natuurlijke variatie in het aantal bevingen. Het aantal bevingen in een bepaald jaar zegt op zich niet zoveel, dat kan makkelijk met plus of min 8 rond het gemiddelde variëren. Ten vierde, het is totaal onduidelijk waarom het SodM een aantal van 21 bevingen per jaar als veilig beschouwt. Misschien ook afgeleid uit de rekenmodellen van NAM?

¹ Dr. ir. J. Hagoort is oud-hoogleraar reservoirtechniek aan de TU Delft. Dit artikel is geschreven vanuit de professionele interesse van de auteur. Hij woont in de randstad. jacqueshagoort@gmail.com

In plaats van terug te vallen op het semi-empirische rekenmodel van NAM had het SodM ook een bestaand volledig empirisch model kunnen gebruiken zoals beschreven in RV&R (Jrg. 6 -nr 19 – 2015, pagina 11 – 21). Dat zou helemaal in de geest zijn geweest van een conclusie uit het eigen adviesrapport om “naast de uitkomst van rekenmodellen ook de waarnemingen van daadwerkelijk opgetreden bevingen mee te nemen” (pagina 9 onderaan). De onderstaande figuur toont de historische en toekomstige ontwikkeling van het aantal bevingen zoals berekend met het empirisch model. De ononderbroken blauwe lijn geeft het gemiddelde aantal bevingen weer, de rode balletjes de daadwerkelijk opgetreden bevingen van 1991 tot en met 2015. Vanaf 2016 wordt geproduceerd met het 27 miljard scenario van de NAM. Wat direct opvalt, is de grote onzekerheid in de voorspellingen. Dat is geen minpunt van het empirisch model, het is een reflectie van het stochastische karakter van de aardbevingen. Het gemiddeld aantal bevingen bij het productiescenario van 27 miljard per jaar neemt gestaag toe tot 2024, daarna daalt het aantal bevingen. Die daling is een rechtstreeks gevolg van de natuurlijke begrenzing van de productiesnelheid. Na 2024 is de druk in het gasvoerende gesteente te laag geworden om aan de gevraagde 27 miljard te voldoen. Vanaf dat moment daalt de jaarlijkse productie en dus ook het aantal bevingen. In het 27 miljard scenario blijft het aantal bevingen te allen tijde beneden die van het peiljaar 2015. Indachtig de logica van het SodM is de 27 miljard per jaar dan ook een veilige productiesnelheid.



Betekent dat nu dat de keuze voor de 24 miljard op losse schroeven staat? Nee, want de minister had ook direct 24 miljard kunnen kiezen, daar heb je geen nieuwe veiligheidsnorm en curieuze redenering voor nodig. Zolang de versterkingsoperatie loopt, is het produceren van gas niet veilig in de zin dat er niet wordt voldaan aan de veiligheidsnorm. Per definitie, anders hoeft je niet te versterken. In die situatie moet je het risico op een aardbevingscalamiteit zo klein mogelijk maken. En dat bereik je met een zo laag mogelijke productiesnelheid: hoe lager de snelheid des te minder bevingen per jaar. En met minder bevingen per jaar is de kans dat er een dodelijke bij zit ook kleiner. De laagst mogelijke snelheid is 24 miljard, dat is de hoeveelheid die Gasunie Transport Services (GTS) nodig heeft om aan de leveringszekerheid te voldoen. Althans, als je de leveringszekerheid prioriteit geeft en dat doet de minister.

Tot slot: welke productiesnelheid ook wordt gekozen, aardbevingen zullen blijven voorkomen zolang er gas wordt geproduceerd. Een voorzichtige schatting op basis van het empirisch model leert dat we tot het gas op is nog kunnen rekenen op zo'n 400 tot 500 bevingen met een sterkte van 1,5 of meer. Dat aantal ligt vast ongeacht het jaarlijks toegestane productievolume. Een lagere productiesnelheid dan de 24 miljard van de minister, zoals bepleit door o.a. de

verzamelde Groningse bestuurders, leidt weliswaar tot minder bevingen per jaar maar daar staat tegenover dat het langer duurt voordat het veld is leeg geproduceerd. Stel dat de gaswinning met de voorgestelde 24 miljard nog 30 jaar kan doorgaan en dat het veiligheidsrisico in die periode maximaal 1 dode per jaar bedraagt. Bij een verlaging naar 12 miljard duurt de winning dan 60 jaar met een risico van 0,5 dode per jaar. Een verlaging smeert het veiligheidsrisico, 30 doden in dit voorbeeld, alleen maar uit over een langere periode. Is dit de veiligheid die de Groningers willen?



Toekomstperspectief gaswinning met aardbevingen in Groningen: ontwikkeling van de seismische dreiging en een 'veiliger' gaswinstrategie ¹

C. (Charles) A.J. Vlek ²

kennis / discussie

Samenvatting

De gaswinning met aardbevingen zal Groningen nog lang blijven plagen. Vooral na 2002 zijn de bevingen in aantal en kracht toegenomen. Hoe zal de seismische dreiging zich de komende jaren ontwikkelen? Ook hier werkt de Gutenberg-Richterformule over de statistische verdeling van aardbevingssterkten. Lineair geëxtrapoleerd vanuit de aardbevingsgegevens over 2001-2015 zouden zich, bij verdere gaswinning, tegen 2020 gemiddeld per jaar circa 30 bevingen kunnen voordoen met een magnitude van $M \geq 1.5$ op de schaal van Richter, waaronder vier met $M \geq 2.5$. Zeer schadelijke en riskante bevingen met $M \geq 3.5$ à 4.0 zouden zich een à twee keer per vijf jaar kunnen voordoen. Bij een jaarlijkse gaswinning van hooguit 20 miljard m^3 zou de aardbevingsactiviteit sterk kunnen afnemen.

Sinds 2014 is de gaswinning echter (weer) verminderd, tot 27 miljard m^3 in 2015-'16. Mede daardoor voorziet de NAM tot 2020 hooguit 22 bevingen met $M \geq 1.5$ per jaar, waarvan drie met $M \geq 2.5$, al met al nauwelijks meer dan in 2015. Maar ná 2020 zou het aantal bevingen met $M \geq 1.5$ weer flink toenemen, tot jaarlijks 28 rond 2025 en 36 omstreeks 2035. Voor de langere termijn taxeert een internationaal expertpanel de maximale bevingskracht op $4.0 \leq M_{\max} \leq 7.0$. Volgens het Staatstoezicht op de Mijnen manifesteert zich sinds vorig jaar een mogelijk duurzame daling in aardbevingsactiviteit. Wanneer de gaswinning nog wat verder omlaag gaat en de (toegenomen) seizoensfluctuaties worden vermeden zou de seismische dreiging verder kunnen verminderen. Hierbij noemt SodM de risicoberekeningen van NAM 'beperkt bruikbaar'.

Een duurzame afname in aardbevingsactiviteit zou grote gevolgen hebben voor het meerjarenprogramma-gebouwenversterking van de Nationaal Coördinator Groningen. De daarbij gevolgde 'risicobenadering' lijkt nog zeer problematisch. Gezien de voortdurende onzekerheden over bodemcompactie, drukegalisatie, breukvlakken en grondversnellingen lijkt het SodM-verlangen naar een 'optimaal risicobeheerssysteem' nogal optimistisch te zijn.

Verder onderzoek en debat kan een einde maken aan de opmerkelijke verschillen in seismologisch model-denken tussen NAM en SodM. De KNMI-rapporten over piekgrondversnellingen zouden ook voor niet-seismologen begrijpelijk moeten zijn. Meer sociaal-wetenschappelijk onderzoek rondom de gaswinning lijkt zinvol en wenselijk.

1. Vijftig jaar gaswinning, steeds meer aardbevingen

Ofschoon er al sinds 1963 veel gas uit Groningse grond wordt gehaald doen zich pas vanaf 1991 goed-merkbare aardbevingen voor. *Figuur 1* toont het verloop van de gaswinning tussen 1963 en 2015. Duidelijk te zien is dat in de 1970-er en 1980-er jaren veel meer gas is gewonnen (zonder

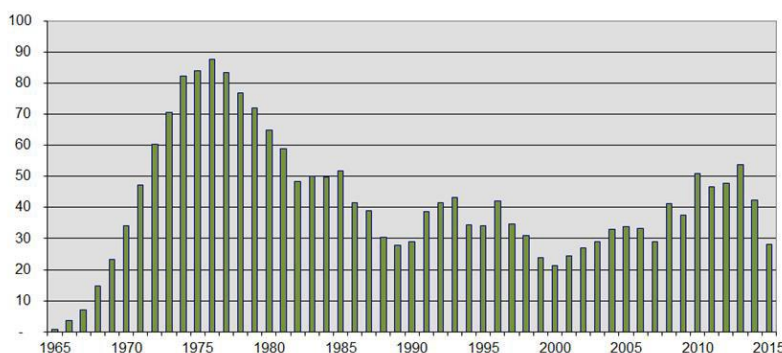
¹ Een voorlopige versie van dit betoog is op 20 april 2016 voorgedragen op een symposium van de Ned. Vereniging voor Risicoanalyse en Bedrijfszekerheid. Een uitgeschreven 'pre-publicatie' is op 8 juni 2016 gepresenteerd voor de Groninger Bodem Beweging. Bij verdere uitwerking heeft de auteur sterk geprofiteerd van kritische opmerkingen en suggesties van energie-publicist drs. H. Damveld te Groningen, reservoirtechnoloog ir. J. van Elk (NAM), oud-hoogleraar reservoirtechnologie dr.ir. J. Hagoort (TU Delft), geofysicus dr. A. Muntendam-Bos van het SodM, en de redactie van RV&R. De paragrafen over seizoens-fluctuaties (3.6), piekgrondversnellingen (5) en het Advies-2016 van het SodM (6) zijn in de plaats gekomen van eerdere passages over risicobeheersing en -aanvaardbaarheid.

² Dr. C.A.J. Vlek is emeritus-hoogleraar omgevingspsychologie en besliskunde bij de Faculteit Gedrags- en Maatschappij-wetenschappen van de RUG. Hij was lid van de Stuurgroep Maatschappelijke Discussie Energiebeleid (1981-1983). Hij is het faculteitsbestuur erkentelijk voor de geboden gastvrijheid en onderzoeksfaciliteiten. c.a.j.vlek@rug.nl

aardbevingen) dan in de periode 1991-2015 (mèt steeds meer aardbevingen; zie *Figuur 4*). Eind 2015 was al drie kwart van de 2800 miljard m³ aardgas naar boven gehaald.

Het 'Groningenveld' is voor Nederland en zijn buurlanden zeer belangrijk, volgens Shell (in Tweede Kamer, 2016, p. 9) is het "de kurk waar de Nederlandse gassector op drijft". Aardgas bestrijkt ongeveer 40% van het Nederlandse energiegebruik. De afgelopen jaren werd meer dan 50% van het Groningengas geëxporteerd. De totale staatsinkomsten uit aardgas over 1963-2015 bedragen meer dan € 280 miljard; over deze ruim 50 jaar moet de Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM) tenminste € 30 miljard hebben geïncasseerd.

De voortdurende, omvangrijke gaswinning veroorzaakt een aanzienlijke drukverlaging in de poreuze zandsteenlaag op 3 km diepte waaruit het gas wordt gewonnen. Dit zorgt voor toenemende compactie (inklinking) van de ondergrond, met als gevolg een flinke bodemdaling (circa 50 cm rond 2050) en steeds meer 'seismische activiteit' als gevolg van spanningsontlading langs kritische breukvlakken.



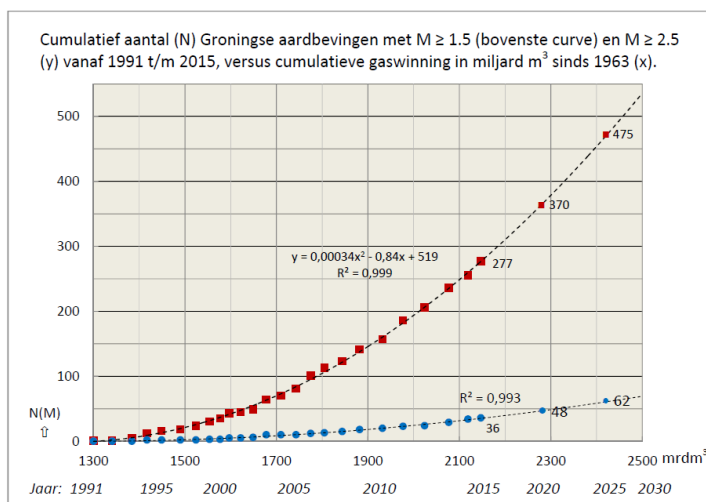
figuur 1. Jaarlijkse gaswinning-Groningen in miljard m³ tussen 1965 en 2015 (van www.namplatform.nl).

Volgens de KNMI-lijst van geïnduceerde ('man-made') aardbevingen hebben zich van 1991 t/m 2015 277 aardbevingen met $M \geq 1.5$ voorgedaan. Daarvan waren er 93 met $M \geq 2.0$, 36 met $M \geq 2.5$ en 11 met $M \geq 3.0$ (waaronder Westeremden-2006 met $M = 3.5$ en Huizinge-2012 met $M = 3.6$). *Figuur 2* toont een uitsnede van de lange KNMI-lijst, een solide gegevensbestand waarop de volgende analyses zijn gebaseerd. Tabel 1 in par. 2 geeft een overzicht van geregistreerde aantallen aardbevingen *per drie jaar* tussen 1991 en eind 2015. Tabel 2 in par. 3.1 geeft de aantallen aardbevingen *per vijf jaar*.

20150106	065528.20	Wirdum	53.324	6.768	246,087	593,800	3	2.7	3.0
20150106	182644.09	Farmsum	53.322	6.937	258,206	593,788		1.0	3.0
20150111	230524.48	Sappemeer	53.171	6.797	249,208	576,795		1.5	3.0
20150114	115456.92	Steendam	53.257	6.848	252,468	586,413		1.1	3.0
20150118	105410.25	Lageland	53.233	6.720	243,955	583,596		1.5	3.0
20150122	034416.55	Schildwolde	53.246	6.822	250,713	585,154		0.6	3.0
20150122	040826.16	Sappemeer	53.157	6.827	251,244	575,295	1	1.4	3.0
20150123	114537.29	Sappemeer	53.175	6.797	249,198	577,296		1.2	3.0
20150126	180723.98	Wirdum	53.319	6.800	249,106	593,340		1.1	3.0
20150127	151142.85	Sappemeer	53.178	6.793	248,968	577,643		0.5	3.0
20150131	052929.65	Sappemeer	53.172	6.792	248,870	576,954		0.8	3.0
20150131	162148.89	Waddenzee	53.371	6.942	258,421	599,264		1.6	3.0
20150202	231533.76	Woltersum	53.268	6.743	245,438	587,575		0.9	3.0
20150203	000222.56	Wildervank	53.067	6.863	253,901	565,350		1.6	3.0
20150204	223447.67	Oostervijthwerd	53.328	6.832	251,196	594,303		1.1	3.0
20150205	035714.43	Noordzee	52.894	4.248	78,339	545,713		1.8	3.0
20150210	074252.08	Westeremden	53.349	6.728	244,271	596,513		0.9	3.0
20150211	020213.79	Godlinze	53.374	6.808	249,542	599,415		0.4	3.0
20150212	160553.96	Kropswolde	53.143	6.752	246,258	573,622		1.9	3.0
20150213	040900.27	Steendam	53.281	6.830	251,190	589,151		0.8	3.0
20150222	060850.36	Steendam	53.264	6.855	252,097	587,201		0.8	3.0
20150222	062133.64	Sappemeer	53.183	6.805	249,738	578,178		0.6	3.0
20150222	190052.82	Meedhuizen	53.291	6.940	258,501	590,417		1.4	3.0
20150224	173409.01	Schildwolde	53.237	6.820	250,621	584,107		0.8	3.0
20150225	100256.92	Appingedam	53.323	6.857	252,873	593,843	3	2.3	3.0
20150301	101630.48	Overschild	53.272	6.810	249,876	588,087		1.2	3.0
20150301	163247.39	Houwerzijl	53.334	6.343	218,659	594,435		1.4	3.0
20150301	194249.06	Kommerzijl	53.288	6.330	217,838	589,286		1.5	3.0
20150314	192659.73	Onnen	53.166	6.667	240,525	576,150		0.7	3.0
20150316	235729.47	Overschild	53.279	6.790	248,528	588,704		0.6	3.0
20150324	032335.99	Lageland	53.234	6.718	243,841	583,723		1.1	3.0
20150324	132756.75	Appingedam	53.322	6.855	252,765	593,674	3	2.3	3.0
20150325	064602.92	Uithuizermeeden	53.433	6.743	245,092	605,915		1.2	3.0

figuur 2. Uit de KNMI-lijst (2016) van geïnduceerde aardbevingen in Nederland, periode januari-maart 2015. De eerste vijf kolommen indiceren resp.: datum, tijd, locatie, breedte- en lengtegraad; de laatste drie kolommen geven intensiteit (indien bepaald), magnitude en diepte aan. De stippen markeren tien bevingen met $M \geq 1.5$ op de schaal van Richter, waarvan negen in het Groningenveld.

Figuur 3 toont het toenemend *totaal aantal* aardbevingen met $M \geq 1.5$ en $M \geq 2.5$ vanaf 1991, in stappen van één jaar uitgezet tegen de toenemende *totale (cumulatieve) hoeveelheid* aardgas die sinds 1963 in Groningen is gewonnen.³



figuur 3.

Op grond van dit overduidelijke verband kan – uitgaande van een gaswinvolume van 27 mrdm³ per jaar⁴ – worden voorspeld dat er bij een cumulatieve gaswinning van 2280 mrdm³ omstreeks 2020 in totaal – vanaf 1991 – 370 aardbevingen met $M \geq 1.5$ zullen zijn opgetreden, waarvan 48 met $M \geq 2.5$. Dit zou betekenen dat er voor 2016-2020 circa 83 bevingen met $M \geq 1.5$ te verwachten zijn, gemiddeld 17 per jaar, een schatting die op voorhand erg laag lijkt. Bij 2420 miljard m³ gaswinning omstreeks 2025 zouden er vanaf 1991 bij elkaar zo'n 475 bevingen met $M \geq 1.5$ zijn opgetreden, waarvan 62 met $M \geq 2.5$.

Doel en opzet van dit artikel

In de navolgende paragrafen 2 en 3 wordt het frequentieverloop van geregistreerde aardbevingen met $M \geq 1.5$ tot 3.5 over 1991-2015 geanalyseerd per jaar, per drie jaar en per vijf jaar, steeds in relatie tot de cumulatieve gaswinning sinds 1963. Daarbij worden duidelijke trends zichtbaar die statistische extrapolaties toelaten naar toekomstige *cumulatieve* hoeveelheden gaswinning over 2016-2030. Hierbij zijn hogere aantallen aardbevingen te verwachten met M groter dan 1.5 tot 4.0 op de schaal van Richter.

Ook de prognoses uit het Winningsplan van de NAM (2016a) worden hierbij nader uitgewerkt voor te verwachten aantallen bevingen met $M \geq 1.5$ tot 4.5. Dit wordt niet alleen bekeken voor de jaarproductie-scenario's van 33, 27 en 21 mrdm³ aardgas uit NAM (2016a) zelf, maar ook – geëxtrapoleerd – voor een veel lager productiescenario van 15 mrdm³ per jaar. Paragraaf 3.5 is gewijd aan de maximaal mogelijk aardbevingskracht; par. 3.6 gaat over seizoensfluctuaties in gaswinning en seismiciteit.

In par. 4 worden de analyseresultaten samengevat en worden hoofdconclusies getrokken over de omstreeks 2020 en later te verwachten aardbevingen van verschillende magnitude. Paragraaf 5 is gewijd aan de KNMI-rapportage over maximale grondversnellingen. De visie van het SodM wordt samengevat in par. 6, met diverse kanttekeningen. Paragraaf 7 geeft een korte slotbeschouwing met enige relativering.

Een opmerking vooraf is dat men met statistische analyses geen oorzakelijke verbanden kan aantonen en dat men bij extrapolatie moet aannemen dat 'het systeem' zich in de toekomst blijft gedragen zoals in het (geëxtrapoleerde) verleden. Als grondslag van het navolgende betoog wordt aangenomen dat het oorzakelijke verband tussen (cumulatieve) gaswinning, bodemcompactie en

³ Een soortgelijke figuur, voor het (veel grotere) totaal aantal bevingen met $M \geq 1.0$, is te vinden in Hagoort (2015). Seismologisch gesproken wordt hier echter uitgegaan van $M = 1.5$ als de (minimum) magnitude-van-compleetheid ter afbakening van de zgn. aardbevingscatalogus (het gegevensbestand) vanaf 1991 voor het Groningenveld.

⁴ Een jaarvolume van 27 mrdm³ is het 'middenscenario' uit het Winningsplan-2016 van de NAM.

aardbevingen voldoende plausibel is voor statistische aardbevings-prognoses waarbij rekening wordt gehouden met (gestaag) wat meer dan wel fors minder gaswinning dan de huidige 27 mrdm³ per jaar.

Een tweede opmerking is dat feitelijke schade, letsel, of zelfs overlijden door aardbevingen mede afhangt van de kwetsbaarheid van gebouwen en de hulpeloosheid c.q. weerbaarheid van bewoners. Deze kwesties gaan het bestek van dit artikel te buiten en komen in ander verband aan de orde.

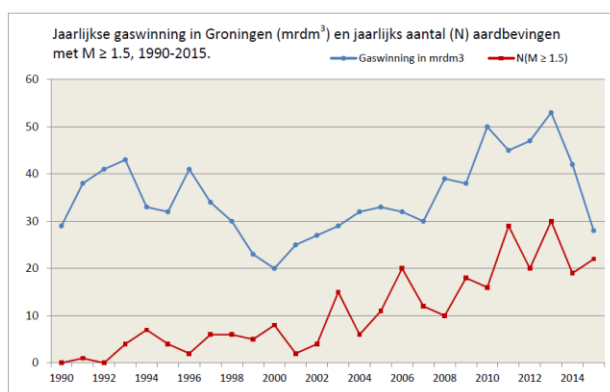
2. Ontwikkelingen en verwachtingen per jaar en per drie jaar

Op de kortere termijn dan 25 jaar wordt het verband tussen cumulatieve gaswinning en het aantal en de zwaarte van aardbevingen duidelijk wanneer het aantal aardbevingen *per 1 jaar, per 3 jaar en per 5 jaar* wordt uitgezet tegen de totaalhoeveelheid sinds 1963 gewonnen aardgas, als volgt.

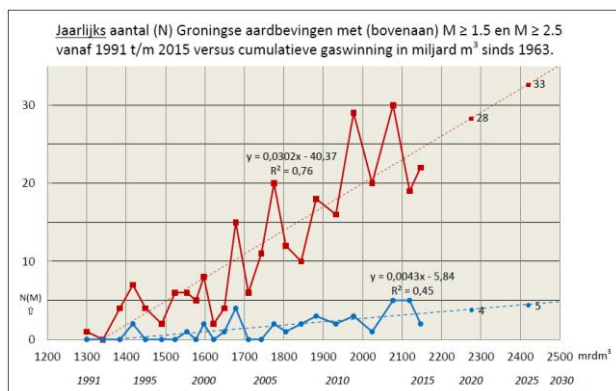
2.1. Jaarlijkse aantallen bevingen met $M \geq 1.5$

Figuur 4 toont voor 1990-2015 zowel het jaarvolume van de gaswinning als het aantal aardbevingen met $M \geq 1.5$ per jaar. Opmerkelijk is de stijging vanaf 2001 t/m 2013 in zowel het gaswinnvolume als de aardbevingsactiviteit. Vóór 2001 is het verband tussen die twee minder duidelijk. Tussen 1996 en 2000 neemt de gaswinning duidelijk af terwijl het aantal aardbevingen langzaam toeneemt. Dit ondersteunt het 'compactiemodel' van Bourne & Oates (2015) waarin *cumulatieve* gaswinning de grondoorzaak is.

Als de aardbevingen vooral voortkomen uit toenemende bodemcompactie als gevolg van de groeiende totaalhoeveelheid gaswinning sinds 1963, dan kan de seismische activiteit beter worden uitgezet tegen de cumulatieve gaswinning. Dit verband wordt getoond in *Figuur 5*, die laat zien dat deze relatie *op jaarbasis* nogal grillig verloopt. Toch is wel duidelijk dat het aantal bevingen met $M \geq 1.5$ sinds 1991 ruwweg een stijgende trend vertoont.⁵ Lineaire extrapolatie hiervan naar een totaal-gaswinning van 2280 mrdm³ per eind 2020 laat zien dat tegen die tijd per jaar 28 van zulke bevingen zijn te verwachten. Bij 2420 mrdm³ rond 2025 zouden het er jaarlijks 33 kunnen zijn.



figuur 4.



figuur 5.

⁵ Men zou kunnen veronderstellen dat $N(M \geq 1.5)$ één jaar na-ijlt omdat het afhangt van het volume aan gaswinning in het jaar daarvoor. Dit levert echter geen regelmatig verband op dan *Figuur 5* al laat zien. Blijkbaar heeft $N(M \geq 1.5)$ weinig te maken met het gaswinnvolume in één bepaald jaar. Maar zie par. 3.6. over seizoensfluctuaties.

2.2. Driejaarlijkse bevingaantallen met $M \geq 1.5$ tot 3.0

Figuur 6a laat zien dat een weergave van het aantal aardbevingen *per 3 jaar* al een meer regelmatig verband met cumulatieve gaswinning onthult. Daardoor wordt het ook zinvol (want minder ‘rommelig’) om aardbevingen sterker dan 2.0 tot 3.0 in de grafiek op te nemen. De basisgegevens voor *Figuur 6* zijn bijeengezet in *Tabel 1*. Ook hierin wordt duidelijk dat niet het driejaarvolume van de gaswinning (dalend van eind 1994 naar eind 2000) maar de toenemende cumulatieve gaswinning verklarend lijkt te zijn voor het aantal aardbevingen met $M \geq 1.5$ (stijgend over hetzelfde drietal driejaarperioden).

In *Figuur 6a* is voor $M \geq 1.5$ de best-passende statistische trendformule aangegeven, met voor $M \geq 1.5$ en $M \geq 2.0$ ook de passingsmaat R^2 (tussen 0 en 1) die voor alle trendlijnen behoorlijk hoog is.

tabel 1.

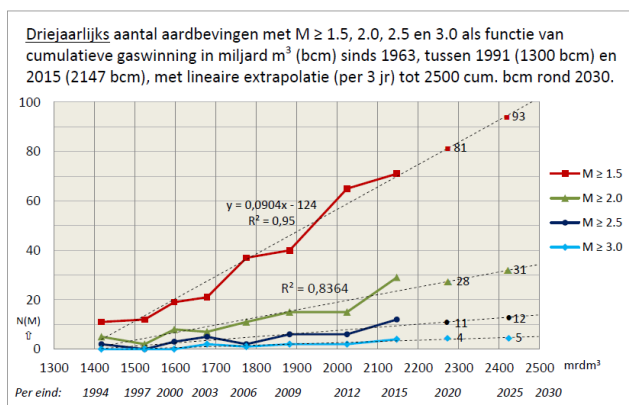
Driejaarvolume en cumulatieve gaswinning sinds 1963 en driejaarlijkse aantallen aardbevingen (N) met $M \geq 1.5$ tot 3.0, voor acht driejaar-perioden na 1991, t.w. 1992-'94, 1995-'97, enz. t/m 2013-'15.

3-jaarperiode per eind:	1994	1997	2000	2003	2006	2009	2012	2015	Totaal
3-jaarvolume gaswinning	117	107	73	81	97	107	142	123	--
Cum. mrdm ³ sinds 1963 ^a	1417	1524	1597	1678	1775	1882	2024	2147	--
N($M \geq 1.5$)	11	12	19	21	37	40	65	71	276 ^b
N($M \geq 2.0$)	5	2	8	7	11	15	15	29	92 ^b
N($M \geq 2.5$)	2	0	3	5	2	6	6	12	36
N($M \geq 3.0$)	0	0	0	2	1	2	2	4	11

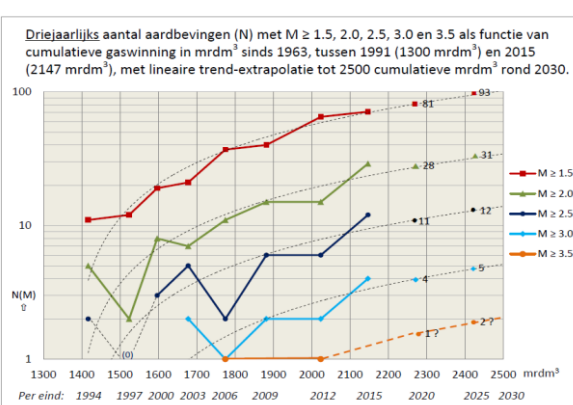
^a Eind 1991 was al ongeveer 1300 mrdm³ aardgas uit het Groningenveld naar boven gehaald.

^b Exclusief 1991 (één beving met $M = 2.4$, bij Middelstum).

Op grond van zo'n regelmatig verband kunnen via (in *Fig. 6a*) lineaire trendlijnen plausibele voorspellingen worden gedaan over wat Groningen nog te wachten staat. In *Figuur 6b* zijn de aantallen bevingen uitgezet op een logaritmische schaal. Hiermee wordt duidelijk dat de (hier 'kromgetrokken') lineaire trendlijnen na 2000 een zekere rechtlijnigheid én onderlinge evenwijdigheid gaan vertonen. Dit patroon wordt nog duidelijker wanneer aardbevingen per vijf jaar bijeen worden geteld (zie par. 3).



Figuur 6a



Figuur 6b

Volgens lineaire extrapolatie in *Figuur 6* naar 2280 mrdm³ cumulatieve gaswinning zouden er omstreeks 2020 jaarlijks zo'n 27 (= 81/3) bevingen met $M \geq 1.5$ zijn te verwachten, waarvan circa negen ($\approx 28/3$) met $M \geq 2.0$, ongeveer vier ($\approx 11/3$) met $M \geq 2.5$ en afgerond een ($\approx 4/3$) met $M \geq 3.0$. *Figuur 6b* laat bovendien een *verticale* extrapolatie toe naar een mogelijke trendlijn voor $N(M \geq 3.5)$ met een verwachting van bijna twee zulke bevingen per drie jaar rond 2020. Deze verwachtingen zijn – gemiddeld *per jaar* – weergegeven in de eerste rij van *Tabel 5* onder 'Hoofdconclusies' in par. 4 verderop.

3. Vijfjaarlijkse $N(M \geq 1.5 \text{ tot } 3.5)$, extrapolatie-2030 en NAM-prognose

Het verband met de cumulatieve gaswinning wordt nog sterker wanneer we het aantal aardbevingen vanaf 1991 bekijken *per vijf jaar*, in relatie tot het totaal aantal mrdm³ gaswinning aan het eind van 1995, 2000, 2005, 2010 en 2015. In par. 3.1 bekijken we eerst het totaalbeeld over 1991-2015 (in vijfjaarperiodes) met daarop gebaseerde toekomstverwachtingen. In par. 3.2 bezien we (slechts) de afgelopen 15 jaar: 2001-2015, met de bijbehorende trend-extrapolaties tot circa 2030. Paragrafen 3.3 en 3.4 zijn gewijd aan de verwachte seismiciteit volgens de NAM-prognose (2016a) tot 2035. Daarbij worden ook verwachtingen gespecificeerd voor bevingaantallen met $M \geq 4.0$. In par. 3.5 wordt de maximale aardbevingskracht en in par 3.6 worden seizoensfluctuaties onder de loep genomen.

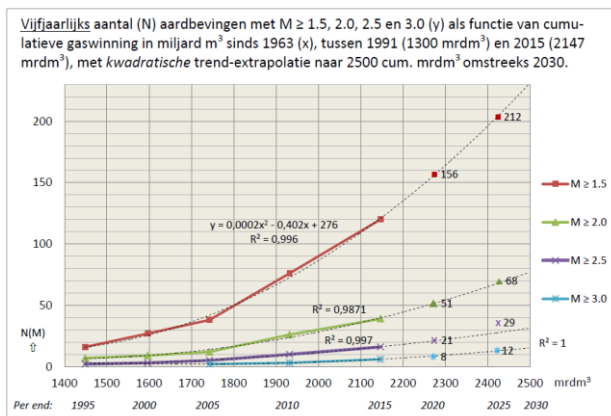
3.1. Vijfjaaraantallen aardbevingen over 1991-2015

De basisgegevens: geregistreerde aantallen aardbevingen *per vijf jaar*, zijn geteld met behulp van de KNMI-lijst (2016) en weergegeven in *Tabel 2*. Deze vijfjaargegevens zijn (m.u.v. $M \geq 3.5$) grafisch weergegeven in *Figuur 7a*. Deze laat zeer regelmatige, *versneld* stijgende verbanden zien tussen het aantal aardbevingen met $M \geq 1.5$ tot $M \geq 3.0$ en de cumulatieve gaswinning, in stappen van vijf jaar. De trendlijnen in *Figuur 7a* zijn dan ook niet lineair, maar kwadratisch ingepast; de statistische passendheid (R^2) valt hier zeer hoog uit. Waar deze trends rond 2020 op uitlopen is van hoog tot laag aangegeven langs de verticale lijn bij 2280 mrdm³ cumulatieve gaswinning. Dit wordt verderop besproken.

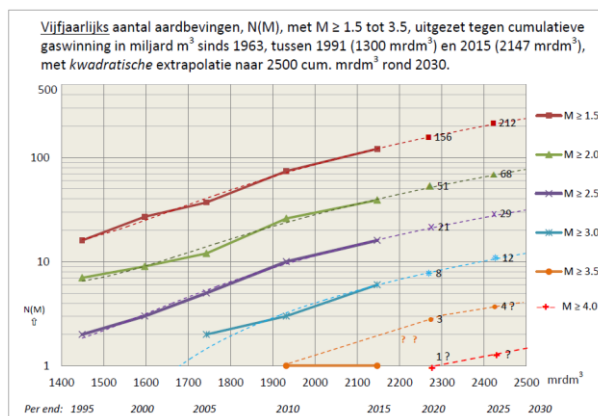
tabel 2. Vijfjaarvolume en cumulatieve gaswinning (cum. GW) in miljard m³ sinds 1963 en aantallen $N(M)$ KNMI-geregistreerde aardbevingen met $M \geq 1.5, 2.0, 2.5, 3.0$ en 3.5 , voor opeenvolgende vijfjaarperiodes in 1991-2015.

Vijfjaarperiode:	1991-'95	1996-2000	2001-'05	2006-'10	2011-'15	Totaal
5-jaarvolume GW	190	148	146	189	215	--
Cum. GW, mrdm ³	1449	1597	1743	1932	2147	--
$N(M \geq 1.5)$	16	27	38	76	120	277
$N(M \geq 2.0)$	7	9	12	26	39	93
$N(M \geq 2.5)$	2	3	5	10	16	36
$N(M \geq 3.0)$	0	0	2	3	6	11
$N(M \geq 3.5)$	0	0	0	1	1	2

Meer en misschien belangrijker toekomstverwachtingen laten zich schetsen wanneer de aantallen aardbevingen logaritmisch (met grondtal 10) worden uitgezet, zoals in *Figuur 7b*, met eveneens kwadratische trendlijnen tot een cumulatieve gaswinning van 2500 mrdm³ omstreeks 2030.



Figuur 7a



Figuur 7b

In *Figuur 7b* valt op:

- dat de toename van de 10-logaritme van het aantal aardbevingen met $M \geq 1.5$ tot 3.0 steeds een vrijwel rechte lijn volgt met de toenemende cumulatieve gaswinning,

- b. dat de trendlijnen voor verschillende M-waarden redelijk parallel ten opzichte van elkaar liggen,
- c. dat de afstanden tussen belendende trendlijnen (met M-verschil van 0.5) min of meer gelijk zijn.

Een en ander stemt redelijk overeen met de zogenoemde Gutenberg-Richtervergelijking over de verhoudingen tussen aantallen aardbevingen van verschillende sterkte (zie o.m. Wikipedia; Utsu, 1999, geeft een leerzaam overzicht). Met behulp hiervan kunnen we te verwachten aantallen aardbevingen met hogere M-waarden inschatten.

Gutenberg-Richtervergelijking. Voor een bepaald aardbevingsgebied geldt volgens ‘Gutenberg-Richter’: $N(M) = 10^{a-bM}$. Hierbij staat $N(M)$ voor het aantal aardbevingen met tenminste kracht M , terwijl a en b constanten zijn. Hieruit is af te leiden dat $b = \log_{10}N(M \geq x) - \log_{10}N(M \geq x+1) = \log_{10}[N(M \geq x)/N(M \geq x+1)]$. De constante b is een maat voor de afstand tussen belendende trendlijnen in Figuur 7b. Wanneer $N(M \geq x)$ en $N(M \geq x+1)$ uit aardbevingsstatistieken bekend zijn kan hiermee de waarde van b worden geschat – voor allerlei M-paren (b.v. $M \geq 1.5$ versus $M \geq 2.5$ of $M \geq 2.0$ versus $M \geq 3.0$) en voor diverse tijdsperioden (b.v. 2009-2012 of 2010-2015). Wanneer het M-verschil slechts 0.5 bedraagt verkrijgt men een schattingswaarde voor $\frac{1}{2}b$. Strikt genomen zou een perfecte geldigheid van ‘Gutenberg-Richter’ in Figuur 7b moeten leiden tot kaarsrechte, exponentieel ingepaste trendlijnen. Statistisch beschouwd bleek een licht gekromde, kwadratische trendlijn hier echter beter te passen.

Met behulp van Gutenberg-Richter kunnen empirische b-waarden worden ingeschat op basis van paarsgewijze aantallen aardbevingen met verschillende M-waarden, volgens de formule in het kader hierboven. Tabel 3 geeft de berekeningsresultaten.

tabel 3. Waarden van b , zoals berekend voor paren van bevingaantallen (per vijf jaar) met $M \geq 1.5$ tot 3.0 in Tabel 2, volgens de Gutenberg-Richtervergelijking. Per cel staan van links naar rechts de berekende b-waarden volgens de vijf tijdsperioden in Tabel 2, tussen 1991 en 2015, met daarboven de toepasselijke berekeningsformule.

	$N(M \geq 2.0)$	$N(M \geq 2.5)$	$N(M \geq 3.0)$
$N(M \geq 1.5)$	$b = 2\log N(M \geq 1.5)/N(M \geq 2.0) =$ 0,72 0,96 0,98 0,91 0,98	$b = \log N(M \geq 1.5)/N(M \geq 2.5) =$ 0,90 0,95 0,87 0,87 0,88	$b = \frac{2}{3}\log N(M \geq 1.5)/N(M \geq 3.0) =$ -- -- 0,84 0,89 0,88
$N(M \geq 2.0)$	--	$b = 2\log N(M \geq 2.0)/N(M \geq 2.5) =$ 1,1 0,95 0,76 0,83 0,77	$b = \log N(M \geq 2.0)/N(M \geq 3.0) =$ -- -- 0,78 0,94 0,82
$N(M \geq 2.5)$	--	--	$b = 2\log N(M \geq 2.5)/N(M \geq 3.0) =$ -- -- 0,80 1,0 0,85

Uit Tabel 3 blijkt – voor deze verzameling vijfjaargegevens – niét dat de berekende b-waarde systematisch verandert in de tijd (wanneer meer en meer gas uit de grond is gehaald), zeker niet voor de drie vijfjaarperioden tussen 2001 en 2015 (laatste drie b-waarden per cel). Ook verschillen zij niet systematisch voor M-paren van verschillende sterkte (tussen de onderscheiden cellen), met uitzondering van cel 1,1 linksboven, waar de b-waarde vanaf (tweede) periode 1996-2000 wat hoger uitvalt.

Als *overall* gemiddelde b-waarde lijkt 0,90 een redelijke schatting te zijn.⁶ Deze waarde volgt uit het empirische feit dat, voor elke M-waarde ≥ 1.5 in Tabel 2, het aantal aardbevingen van een hele (minimum-) kracht *lager* ongeveer acht keer zo groot is ($\Rightarrow \log_{10}[8] = 0,903$). Bij voorbeeld, in 2001-2005 is $N(M \geq 1.5) = 37$ tegenover $N(M \geq 2.5) = 5$; in 2006-2010 is $N(M \geq 2.0) = 26$ tegenover $N(M \geq 3.0) = 3$. Daarnaast is het aantal aardbevingen van een halve (minimum-) kracht *lager* ongeveer 2,8 keer zo groot; b.v. in 2001-'05 is $N(M \geq 1.5) = 37$ tegenover $N(M \geq 2.0) = 12$; in 2005-'10 is $N(M \geq 2.0) = 26$ tegenover $N(M \geq 2.5) = 10$; in 2010-'15 is $N(M \geq 2.5) = 16$ tegenover $N(M \geq 3.0) = 6$. Ook in de ‘totaal’-kolom van Tabel 2 zijn deze verhoudingen goed zichtbaar.

⁶ Spetzler en Dost (2016) gaan voor Groningen – op grond van geregistreerde bevingen in 2011-2016 – uit van een algemene b-waarde van 1.0; maar zij geven aan dat b voor het centraal-noordelijke deelgebied (met de hoogste aardbevingsdichtheid) uitkomt op 0,80. Dit betekent dat zwaardere aardbevingen dáár relatief vaker voorkomen dan elders in Groningen.

Op grond van de kwadratische trendlijnen in Figuur 7a,b laat zich voorspellen dat er omstreeks 2020 *per vijf jaar* 156 bevingen met $M \geq 1.5$ zijn te verwachten. Daarvan zijn er 51 met $M \geq 2.0$, 21 met $M \geq 2.5$ en 8 met $M \geq 3.0$. Volgens de (verticaal) geëxtrapoleerde trendlijn voor $M \geq 3.5$ zou er zeker elke tweeënhalfjaar jaar zo'n beving optreden. En volgens verdere extrapolatie zou rond 2020 eens per vijf jaar een beving met $M \geq 4.0$ te verwachten zijn, die tot op heden nog niet is voorgekomen. Een en ander is weergegeven in de tweede rij van Tabel 5 in par. 4; daarbij is onder elk vijfjaaraantal tussen haakjes aangegeven hoeveel aardbevingen er gemiddeld *per jaar* te verwachten zouden zijn.

3.2. Voorspellingsbasis beperken tot 2001-2015?

'Voorspellen' op grond van aardbevingsgegevens over alle 25 jaren 1991-2015 is misschien wat conservatief; laat men hierbij niet te veel van het verleden meewegen? De gegevens in Tabel 2 en Figuur 7a geven enige reden (nl. de 'knik' per eind 2005) om te denken dat de extrapolatie beter kan worden beperkt tot 15 van de 25 jaar, nl. tot de 21^{ste}-eeuwse perioden 2001-'05, 2006-'10 en 2011-'15, *tenzij* er een 'trendbreuk' optreedt.

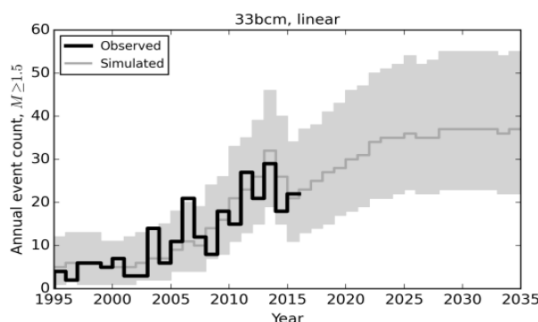
Wanneer de aardbevingsgegevens van het KNMI over deze drie perioden statistisch worden beschreven blijkt hier een lineaire trendlijn uitstekend te passen. Dit wijst erop dat nabije-toekomstverwachtingen zeer wel gebaseerd kunnen worden op feitelijk geregistreerde aardbevingen (per vijf jaar) over de afgelopen drie vijfjaarperioden 2001-'05, 2006-'10 en 2011-'15, *tenzij* er een 'trendbreuk' optreedt.

Op basis van de seismische gegevens over de afgelopen 15 jaar geeft extrapolatie naar 2280 mrdm³ gaswinning per eind 2020 wat lagere verwachte vijfjaaraantallen aardbevingen dan wanneer we uitgaan van alle gegevens over 1991-2015 (25 jaar). Omgerekend op jaarbasis zou dit neerkomen op 30 bevingen met $M \geq 1.5$, waarvan tien met $M \geq 2.0$ en vier met $M \geq 2.5$; een aardbeving met $M \geq 3.0$ zou zich elke anderhalf jaar voordoen. Deze verwachtingen zijn weergegeven in de derde rij van Tabel 5 in par. 4. En wanneer ook hier nieuwe trendlijnen worden ingeschat voor de aantallen (zeldzame) aardbevingen met $M \geq 3.5$ en $M \geq 4.0$, kan worden geconcludeerd dat omstreeks 2020 *per vijf jaar* twee aardbevingen met $M \geq 3.5$ en één met $M \geq 4.0$ zijn te verwachten (zie Tabel 5).

Bij dit alles zou kritisch aangetekend kunnen worden dat de gaswinning in de periode 2001-2013 vrijwel van jaar op jaar is toegenomen; zie Figuren 1 en 4. Dit heeft kennelijk geleid tot een *versnelde* compactie van het ondergrondse gasreservoir. Daardoor zouden statistische extrapolaties voor periodes met een vrijwel *constante* gaswinning (zoals thans voorzien voor 2016-2021) minder valide kunnen zijn. Een mogelijk versnellingseffect op de seismiciteit wordt verder besproken in par. 3.6 en 6.

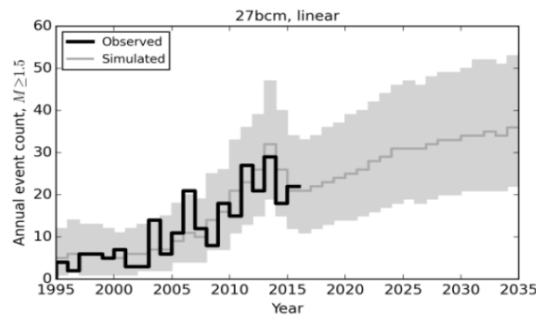
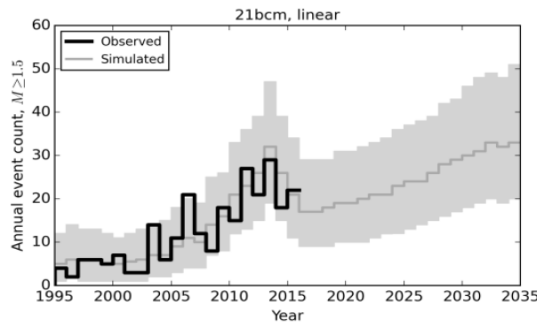
3.3. Toekomstverwachtingen volgens de NAM

Volgens de projecties in het Winningsplan-2016 van de NAM zal de 'seismiciteit' in Groningen hoe dan ook nog jarenlang toenemen (behalve in 2014-'16). *Figuur 8a,b,c* geeft het door NAM geschatte jaaraantal aardbevingen met $M \geq 1.5$ voor 2016 t/m 2035, volgens de drie productiescenario's van 33, 27 en 21 mrdm³ aardgas per jaar.⁷ Hierbij geeft het grijze gebied de (grote) onzekerheidsmarge van de NAM aan.

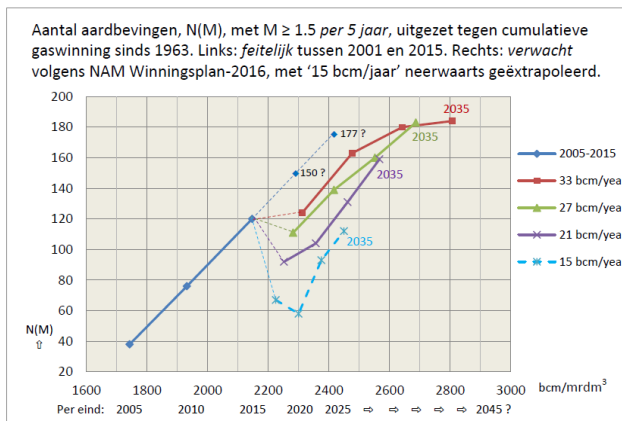


figuur 8a. 33 mrdm³/jaar

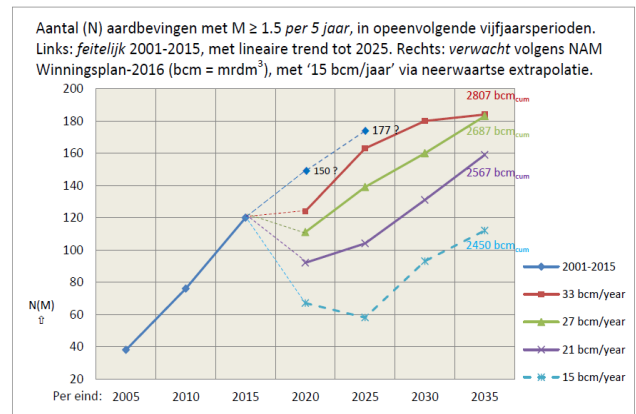
⁷ Uit NAM Winningsplan-2016, Technical Addendum, hfst. 7, p. 12.

figuur 8b. 27 mrdm³/jaarfiguur 8c. 21 mrdm³/jaar

Van de gemiddelde-lijnen in Figuur 8a,b,c zijn de verwachte *jaarlijkse* aantallen aardbevingen met $M \geq 1.5$ direct af te lezen. Deze kunnen vervolgens bijeengeteld worden tot aantallen per vijf jaar. Deze vijfjaaraantallen zijn weergegeven in de rechterhelft van *Figuur 9a*, per eind 2020, 2025, 2030 en 2035. In de linkerhelft van Figuur 9a staan de vijfjaaraantallen van *feitelijk* *geregistreerde* aardbevingen in 2001-'05, 2006-'10 en 2011-'15 (zie Tabel 2), met lineaire extrapolatie tot 2020 respectievelijk 2025.



figuur 9a.



figuur 9b.

Toegevoegd is de onderste, lichtblauw gestippelde lijn tussen 2020 en 2035, met verwachte aantallen bevingen met $M \geq 1.5$ voor een productiescenario van slechts 15 mrdm³ aardgas per jaar (nóg 6 mrdm³ lager); de gegevens hiervoor zijn – per vijfjaarperiode – lineair geëxtrapoleerd langs de ‘verwachtingenlijn’ van 33 via 27 naar 21 mrdm³ per jaar (in Figuur 9 neemt het *verticale* verschil in aardbevingsaantallen blijkbaar toe). Extrapolatie naar een productiescenario van 15 mrdm³ per jaar is natuurlijk een hachelijke zaak, enerzijds omdat de uitgangsggegevens (NAM-verwachtingen) tamelijk onzeker zijn, anderzijds omdat het seismisch effect van vrij snel fors minder gas winnen zich vooralsnog moeilijk laat inschatten. Zie ook par. 6 met de kritiek van het SodM (2016) op het seismologisch compactiemodel van de NAM (Bourne & Oates, 2015).

Figuur 9a toont *op dezelfde vijfjaartijdstippen* flinke niveauverschillen tussen de drie NAM-scenario's van 33, 27 en 21 mrdm³ per jaar, alsmede – en a fortiori – het extrapolatiescenario van 15 mrdm³ per jaar. In *Figuur 9b* vallen deze scenarioverschillen echter aanzienlijk kleiner uit. Dit komt omdat hier de vijfjaarlijkse aantallen bevingen met $M \geq 1.5$ zijn uitgezet tegen de *cumulatieve gaswinning* sinds 1963.

Figuur 9b laat zien dat de verlaging in het vijfjaaraantal aardbevingen bij verminderde jaarlijkse gaswinning *tijdelijk* is; na het voltooien van 2600 mrdm³ cumulatieve gaswinning omstreeks 2035 ligt (volgens de NAM-prognose) het vijfjaaraantal bevingen met $M \geq 1.5$ voor de productiescenario's 33, 27 en 21 mrdm³ per jaar praktisch op hetzelfde niveau (plm. 35 per jaar) als bij voortzetting van 33 mrdm³ per jaar vanaf 2016, waarbij de gaswinning de 2800 mrdm³-limiet eerder bereikt. Ook het 15 mrdm³-scenario laat een ontwikkeling zien van aardbevingsaantallen die na 2020 weer sterk gaat stijgen.

Dit alles wijst er wederom op dat de cumulatieve gaswinning en de daarmee gestaag toenemende compactie van het gasreservoir de hoofdfactor is, waardoor de aardbevingsactiviteit wordt veroorzaakt en waardoor deze de komende twintig jaar nog zal toenemen. Jarenlang (veel) minder gas winnen matigt de aardbevingsproblematiek op de korte termijn, maar schuift deze tevens op naar de toekomst.

Midden in Figuur 9a,b – tussen 2015 en 2020 – zit een opvallende knik in het verloop van het vijfjaar-aantal aardbevingen met $M \geq 1.5$. Bij een jaarlijkse gaswinning van 27 mrdm³ en meer nog bij 21 mrdm³ zouden, volgens de NAM-prognose, tussen 2016 en 2020 fors minder aardbevingen met $M \geq 1.5$ gaan optreden. Ook bij 33 mrdm³ zou het minder zijn dan de lineaire trend over 2001-2015 doet verwachten (nl. eerder 150 dan 120 per vijf jaar). Het is dan ook enigszins verwarrend dat de NAM stelt:

“Voor de periode van 2016 tot 2021 zal de gemiddelde hoeveelheid aardbevingen en de gemiddelde energie die daarbij vrij zal komen – voor alle productiescenario's – naar verwachting van dezelfde orde zijn als in de periode van 2012 tot 2015.” (NAM, 2016a, Technical Addendum, ch. 1-5, p. 5).

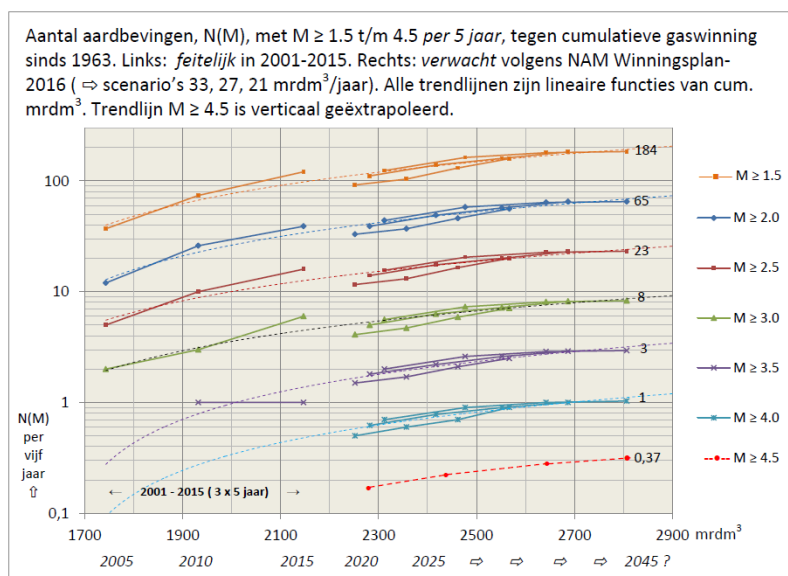
Volgens de KNMI-lijst (2016) waren er in 2012 t/m 2014 in totaal 69 aardbevingen met $M \geq 1.5$, gemiddeld per jaar dus 23. Op vijfjaarbasis zou dit neerkomen op 115 bevingen met $M \geq 1.5$, een getal dat slechts past bij het 27 mrdm³-scenario in Figuren 8 en 9.

De lagere verwachte aardbevingsactiviteit kán een doorwerking zijn van de aanzienlijke vermindering in jaarlijkse gaswinning tussen piekjaar 2013 (54 mrdm³), 2014 (42 mrdm³) en 2015 (28 mrdm³), een vertragingseffect dat na enkele jaren zal zijn uitgewerkt. Zoals Figuur 9 laat zien zou dit tijdelijke effect volgens het extrapolatiescenario van 15 mrdm³/jaar uiteraard nog flink groter zijn en veel langer duren.

3.4. Aantallen krachtiger aardbevingen, afgeleid uit NAM-2016

In de eerdere, logaritmische Figuren 6b en 7b zagen we vrijwel evenwijdige trendlijnen met min of meer gelijke onderlinge afstanden. Dit empirische gegeven kan worden benut om uit de NAM-figuren 8a,b,c betreffende $M \geq 1.5$ ook de voorziene aantallen bevingen met hogere M -waarden af te leiden. Formeel doen we dit door toepassing van de Gutenberg-Richtervergelijking, met een plausibele b -waarde van 0,90 (zie kader met toelichting in par. 3.1). Dat levert ons aantallen aardbevingen met M -waarden ≥ 2.0 , 2.5, enzovoort tot $M \geq 4.0$ en eventueel hoger.

De resultaten van deze uitwerking staan in *Figuur 10*. Hierin zijn feitelijke en verwachte aantallen aardbevingen op een log₁₀-schaal uitgezet tegen cumulatieve gaswinning t/m 2800 mrdm³. In de linkerhelft van Figuur 10 zijn weer de vijfjaaraantallen aardbevingen met $M \geq 1.5$ t/m 3.5 weergegeven, die tussen 2001 en 2015 feitelijk zijn geregistreerd; zie Tabel 2.



figuur 10.

In de rechterhelft van Figuur 10 zijn de verwachte aantallen aardbevingen met $M \geq 1.5$ t/m 4.0 (en verticaal geëxtrapoleerd ook 4.5) weergegeven. Deze zijn statistisch en met behulp van de Gutenberg-Richtervergelijking afgeleid uit de drie NAM-grafieken in Figuur 8a,b,c. Hierbij zijn de geschatte aantallen voor de drie productiescenario's van de NAM (33, 27 en 21 mrdm³ per jaar) over elkaar heen geprojecteerd. Dit maakt tevens zichtbaar dat de drie productiescenario's een verschillende eindtijd hebben. Daardoor liggen hun grafische lijnen ook een beetje in elkaars verlengde.⁸

De in Figuur 9 waarneembare knik in het verloop van het vijfjaaraantal aardbevingen tussen 2015 en 2020 wordt (uiteraard, want afgeleid) ook in Figuur 10 zichtbaar voor de hogere M -waarden dan 1.5. Zoals gezegd kán dit, als tijdelijk effect, verband houden met de na 2013 sterk verlaagde gaswinning.

Volgens bovenstaande afleiding uit de projecties van NAM (2016a) zijn bij een jaarproductie van 27 mrdm³ aardgas rond 2020 (dán cumulatief 2280 mrdm³) *per vijf jaar* te verwachten: 111 bevingen met $M \geq 1.5$, 39 bevingen met $M \geq 2.0$, 14 met $M \geq 2.5$, vijf met $M \geq 3.0$, 1,8 met $M \geq 3.5$, 0,62 met $M \geq 4.0$ en 0,22 aardbeving met $M \geq 4.5$. Deze aantallen zijn weergegeven in de vierde rij van Tabel 5 in par. 4.

De vijfde rij van Tabel 5 geeft – eveneens afgeleid uit de NAM-prognose van $N(M \geq 1.5)$ – de verwachte aantallen aardbevingen bij een (gestage) gasproductie van 21 mrdm³ per jaar, waardoor eind 2020 'pas' 2250 mrdm³ cumulatief zou zijn gewonnen. Vergelijking van de vierde en vijfde rij van Tabel 5 laat nog eens zien dat een jaarvolume van 27 versus 21 mrdm³ niet veel uitmaakt voor het te verwachten aantal aardbevingen van verschillende magnitude.

De stippellijnen in Figuur 10 geven voor elke M -waarde de lineaire trend over de lange termijn, vanaf 1700 mrdm³ (per eind 2005) tot 2800 mrdm³ cumulatieve gaswinning rond 2045. Deze – hier eigenlijk overbodige – trendlijnen zijn gemakshalve bepaald op grond van álle gegevens per M -waarde, d.w.z. zowel de feitelijk geregistreerde aantallen bevingen (2001-2015) als de verwachte, uit Figuur 8a,b,c afgeleide aantallen volgens de drie productiescenario's van de NAM (t/m 2035).

Op de uiteindelijke 'tijdhorizon' van 2800 mrdm³ cumulatieve gaswinning (plm. 2045?) zou men – volgens de recente NAM-prognose – *per vijf jaar* kunnen verwachten: ongeveer 184 bevingen met $M \geq$

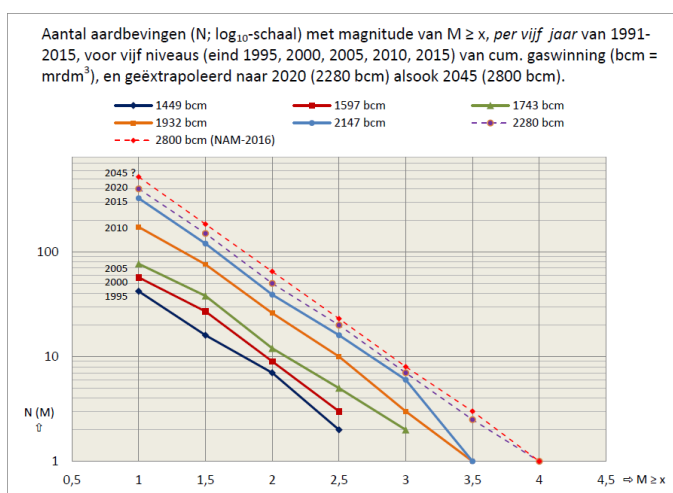
⁸ Het veel lagere productiescenario van 15 mrdm³ per jaar is hier achterwege gelaten (zie Fig. 9a,b). Overigens toont de NAM (2016) in zijn Supplement voor de scenario's 27 en 21 mrdm³/jaar verwachte aantallen bevingen met $M \geq 2.0$ en 2.5, die lager zijn dan in Figuur 10. Dit houdt waarschijnlijk verband met het feit dat de NAM uitgaat van een (verticale) afstandsparameter $b = 1,0$ in plaats van $b = 0,90$ zoals hier empirisch berekend aan de hand van Tabel 2; zie de resultaten in Tabel 3.

1.5, waarvan drieëntwintig met $M \geq 2.5$ en drie met $M \geq 3.5$; zie Figuur 10. Een beving met $M \geq 4.5$ zou eens in de veertien jaar te verwachten zijn, of eens per 500 ($= 184/0,37$) bevingen met $M \geq 1.5$.

3.5. Maximaal mogelijke magnitude

Met dit alles wordt tevens een (statistisch) antwoord gegeven op de vraag naar de *maximaal mogelijke aardbevingskracht*. Voorlopig lijkt $M = 4.0$ een realistisch maximum te zijn: “eens per vijf jaar”. Op langere termijn, vooral na 2030, lijkt $M = 4.5$ zeker mogelijk: “eens per veertien jaar”. Gezien het patroon van de vrijwel evenwijdige trendlijnen (en $b \approx 0,90$) in Figuur 10 lijkt een aardbeving met $M \geq 5.0$ ook op lange termijn niet uitgesloten maar wel onwaarschijnlijk: bij benadering eens per 40 jaar.

De maximale M-waarde komt ook naar voren in de zgn. frequentie/magnitude- (F/M-) grafiek, *per vijf jaar*, van Figuur 11a. Deze laat andermaal zien dat de Groningse seismiciteit, inclusief de kans op zwaardere bevingen, toeneemt met de cumulatieve gaswinning sinds 1963. In Figuur 11a loopt dit van de meest linkse, 1995-curve naar de meest rechtse, 2045-curve. Bovendien wordt hier nog eens duidelijk dat over het geheel gezien de helling van de onderscheiden F/M-curven (de b-waarde uit de Gutenberg-Richtervergelijking) kleiner is dan 1.⁹ De extrapolatie naar rechts (voor 2020 en 2045) berust op lineaire trends in $N(M)$ tussen 2001 en 2015 (3×5 jaar).

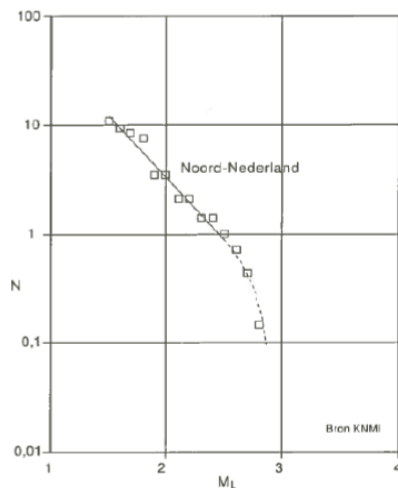


figuur 11a

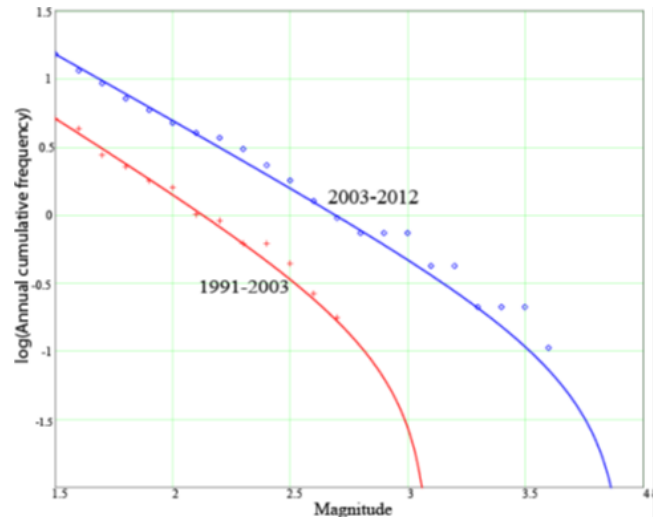
Opmerkelijk in Figuur 11a is dat de onderste F/M-lijn, voor de periode 1991-1995 (vijf jaar), redelijk overeenkomt met de KNMI-grafiek uit 1993, hier weergegeven in Figuur 11b (over $6\frac{1}{2}$ jaar). Deze KNMI-figuur toont echter niet het verband met de cumulatieve gaswinning; in het toenmalige rapport zelf wordt niet aangegeven dat de F/M-lijn naar rechtsboven zou kunnen gaan opschuiven. Daardoor kon het KNMI (1993) ook niet aangeven dat de maximale magnitude ooit hoger zou kunnen zijn dan de ‘asymptotische waarde’ van $M = 3.3$; zie ook De Crook, Dost en Haak (1995). Jaren later concludeerden Van Eck, Goutbeek, Haak en Dost (2006) dat een hogere $M_{\max}$ dan 3.9 onwaarschijnlijk was, een conclusie die door Dost, Goutbeek, Van Eck en Kraaijpoel (2012) nog altijd werd onderschreven.

Dost en Kraaijpoel (2013) schetsen een actueler beeld: hier Figuur 11c. Daarin wordt nogal altijd weinig aandacht besteed aan het verband met de cumulatieve gaswinning. Tevens wordt, met het oog op een mogelijke $M_{\max}$, de neerwaartse asymptoot uit KNMI (1993) volgehouden. Gezien het gegevenspatroon in Figuur 11c lijkt dit echter minder plausibel. Bij lineaire extrapolatie volgens Figuur 11a lijkt eerder een $M_{\max}$ van 4 à 4.5 in de rede te liggen. Dost en Kraaijpoel (2013) zelf houden ‘conservatief’ rekening met een, feitelijk ‘onschatbare’ $M_{\max}$ van 5.0. Ook Muntendam-Bos en De Waal (2013) sloten niet uit dat $M_{\max}$ hoger zou kunnen uitvallen dan 3.9.

⁹ Hierbij moet even worden bedacht dat $\log_{10}(1) = 0$, $\log_{10}(10) = 1$ en $\log_{10}(100) = 2$.



Uit KNMI, 1993, p. 11. "Figuur 8: Jaarlijks aantal aardbevingen N voor Noord-Nederland uitgezet tegen de magnitude M_L . De getekende kromme nader asymptotisch de waarde $M_L = 3,3$."



Figuur 11b. Frequentie-magnitudegrafiek uit KNMI (1993), op basis van 24 bevingen in 1986-1993.

Figuur 11c. F/M-grafiek uit Dost en Kraaijpoel (2013). De basisgegevens omvatten 64 bevingen met $M \geq 1.5$ in 1991-2003 en 142 zulke bevingen in 2003-2012.

Over de omvang en ernst van de seismische activiteit blijft flinke onzekerheid bestaan (vgl. de ruime bandbreedten in Fig. 8a,b,c), speciaal ten aanzien van de maximaal mogelijke aardbevingskracht $M_{\max}$, hierboven ingeschat op $M = 4.0$ à 4.5 . Bij alle onzekerheid houdt de NAM in zijn Winningsplan (2016a) vast aan de reeds in 2015 gepubliceerde taxatie dat $M_{\max}$ met gelijke kansen kan vallen tussen 5.0 en 6.5.

Een onafhankelijk internationaal panel van acht experts concludeerde eind april 2016, met ruime marge, dat de grootste aardbevingskracht voor het Groningenveld zeer waarschijnlijk hoger dan $M_{\max} = 4.0$ en niet meer dan 7.0 zou zijn (NAM, 2016b). Volgens de experts kon $M_{\max}$ niet slechts worden afgeleid uit feitelijke aardbevingsregistraties (zoals hier via Figuren 7b, 10 en 11).¹⁰ Meegewogen werd dat aanwezige breukvlakken in het gasreservoir zich zouden kunnen voortzetten in naast- of onder-liggende gesteentelagen. Ook werd gelet op enkele aardbevingen met $M = 7.0$ in het vergelijkbare Gazliveld in Oezbekistan (ca. 700 mrdm³ aardgas). Het panel rapporteerde tevens dat $M_{\max}$ nog slechts weinig productie-afhankelijk kon zijn omdat immers al meer dan driekwart van het Groningse gas uit de grond is gehaald. Bij deze paneluitspraken constateert de NAM zelf (2016b, Toelichting p. 3) dat de 'gemiddeld verwachte' $M_{\max}$ rond de 5.0 ligt (wél met een kans van 40% dat $M_{\max}$ hoger is dan 5.0; ChV).

3.6. Seizoensverschillen in aardbevingsactiviteit

Het afgelopen jaar zijn ook seizoensverschillen in seismiciteit sterker in de aandacht gekomen; tot nog toe kwamen er in het voorjaar meer aardbevingen voor dan in het najaar. TNO (2015) schrijft hierover:

"Similar to the [gas] production, the seismic events of the Groningen field exhibit clear seasonality with a lag of some two months between production changes and a change in seismic events" (p. 36).

Een en ander kan vrij nauwkeurig per kwartaal worden nagegaan. Uit de KNMI-lijst (2016) van geïnduceerde aardbevingen in 1992-2015 laten zich per drie maanden de aantallen bevingen met $M \geq 1.5$ bijtellen voor de acht driejaarperiodes: 1992-'94, 1997-2000, 2001-'03, enzovoort. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Tabel 4. Hierin wordt duidelijk dat – met

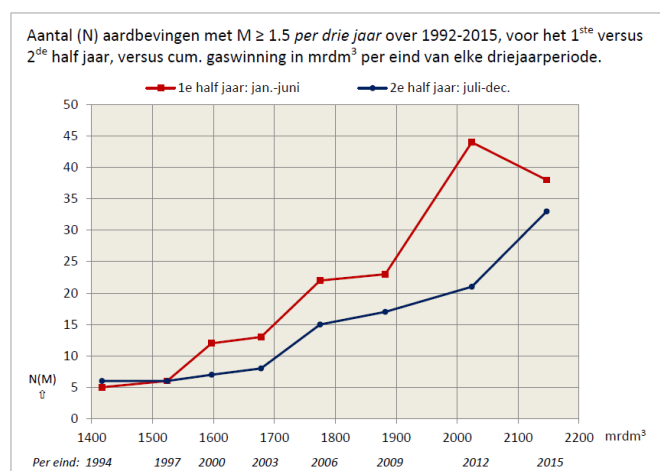
¹⁰ Ook Van Thienen-Visser en Breunese (2015, p. 664) stellen: "Because of the nonstationarity of the induced seismicity, maximum magnitude cannot be defined from statistical data analysis only." Maar gezien het regelmatige, goed-extrapoleerbare patroon in Fig. 7b, 10 en 11a lijkt dit een uitspraak die voor discussie vatbaar is (met als implicatie dat ook het expertpanel met zijn $M_{\max}$ -schatting aan de hoge kant uitkomt).

één uitzondering (2013-2015) – er meer aardbevingen waren in het eerste en tweede kwartaal dan in het derde en vierde kwartaal.

tabel 4. Aantal aardbevingen met $M \geq 1.5$ in de vier jaarkwartalen, opgeteld per drie jaar tussen 1991 en 2015.

Per eind $\Rightarrow$	1994	1997	2000	2003	2006	2009	2012	2015
1 ^{ste} kwart.	2	3	5	7	13	11	19	31
2 ^{de} kwart.	3	3	7	6	9	12	25	7
3 ^{de} kwart.	4	2	3	4	9	8	14	20
4 ^{de} kwart.	2	4	4	4	6	9	7	13

Figuur 12 geeft dit halfjaareffect weer: per drie jaar, vanaf de periode 1998-2000 tot en met 2013-'15 waren er van januari t/m juni gemiddeld meer aardbevingen dan van juli t/m december.¹¹ Dit lijkt samen te hangen met het verschil in (hoge) winter- versus (lage) zomerproductie van aardgas: in oktober-maart versus april-september, met als grote uitzondering de periode april-juni 2013-2015 (met slechts 7 bevingen in drie 2^{de} kwartalen).¹²



figuur 12

Uit Figuur 12 valt te concluderen dat de seismiciteit niet alleen, zoals eerder bleek, toeneemt met de cumulatieve gaswinning, maar ook met de (vooralsnog) seizoensgebonden *tijdelijke versnelling* in de gaswinning ('s winters meer, 's zomers minder) waarbij een vertraging van circa drie maanden lijkt op te treden. Tijdelijk meer gas winnen in oktober-december geeft meer aardbevingen in januari-maart. Tevens meer gas winnen in januari-maart werkt door in bevingsaantallen in april-juni. Bovendien laat Figuur 12 duidelijk zien dat dit 'versnellingseffect' t/m 2012 is toegenomen met de cumulatieve gaswinning. Tijdelijk (d.w.z. enkele maanden) meer gas winnen heeft dus 'schokkender' bodemeffecten wanneer er in totaal al veel gas uit de grond is gehaald.

4. Hoofdconclusies over toekomstige aardbevingsactiviteit

Tabel 5 geeft een overzicht van de resultaten uit alle bovenstaande analyses.

Tabel 5. Tweede t/m vijfde rij: bij cumulatieve gaswinning van **2280 mrdm³** tegen **2020** per vijf jaar te verwachten aantallen aardbevingen met $M \geq 1.5$ tot 4.5, volgens verschillende trend-extrapolaties en de NAM-prognoses (Winningsplan-2016) bij 27 en 21 mrdm³/jaar. Het rond 2020 gemiddeld per jaar te verwachten aantal bevingen is tussen haakjes onder elk vijfjaaraantal aangegeven. De eerste rij geeft verwachtingen per jaar op basis van *driejaarlijkse* aantallen (zie par. 2.2). De zesde rij weerspiegelt de verwachtingen van het SodM (2016); zie par. 6.

¹¹ De relatief talrijke, maar grillige bevingen over heel 2013 (met 54mrdm³ een gaswin-recordjaar) traden vooral op in het eerste en (verrassend) het derde kwartaal.

¹² Zie de maandstatistieken voor vele jaren op www.namplatform.nl/feiten-en-cijfers/feiten-en-cijfers-gaswinning.

Aardbevingskracht $M \Rightarrow$	$M \geq 1.5$	$M \geq 2.0$	$M \geq 2.5$	$M \geq 3.0$	$M \geq 3.5$	$M \geq 4.0$	$M \geq 4.5$
Lineaire 3-jaartrend (Fig. 6), per jaar	(27)	(9)	(4)	(1)	(2/3jr)	--	--
Kwadratische trend-extrapolatie 1991-2015 (25 jaar; zie Fig. 7a,b)	156 (31)	51 (10)	21 (4)	8 (1,6)	3 (0,6)	1 (0,2)	-- --
Lineaire trend-extrapolatie 2001-2015 (15 jaar) ^a	150 (30)	50 (10)	20 (4)	7 (1,4)	2 (0,4)	1 (0,2)	--
Afgeleid uit $N(M \geq 1.5)$ van NAM-prognose 2016, bij 27 mrdm ³ /jaar ^b	111 (22)	39 (8)	14 (3)	5 (1)	1,8 $1/2\frac{2}{3}jr$	0,62 $(1/8 jr)$	0,22 $(1/25jr)$
Afgeleid uit $N(M \geq 1.5)$ van NAM-prognose 2016, bij 21 mrdm ³ /jaar ^b	92 (18)	33 (7)	12 (2,4)	4 $(1/1\frac{1}{4}jr)$	1,5 $(1/3jr)$	0,5 $(1/10jr)$	0,2 $(1/25jr)$
Afgeleid uit SodM (2016): "niet meer dan in 2015" (bij 24 mrdm ³ /jaar) ^c	110 (22)	40 (8)	10 (2)	5 (1)	0 (0)	-- --	-- --

^a Zie in Figuur 7a de gegevens per eind 2005, 2010 en 2015; zie ook de $N(M \geq 1.5)$ -lijn in het linkerdeel van Figuur 9b.

^b Volgens de Gutenberg-Richtervergelijking (zie kader in par. 3.1), met een geschatte b-waarde van 0,90 voor alle $M \geq 1.5$ over 2001-2015 in Tabel 2. Zie Figuur 10 voor de (afgeleide) NAM-prognoses bij een gasproductie van 33 mrdm³ per jaar.

^c De jaar-aantallen tussen haakjes komen overeen met de feitelijk geregistreerde aantallen in 2015.

Hierin blijken de (afgeleide) NAM-schattingen voor 2016-2020 (vierde en vijfde rij) niet alleen lager uit te vallen dan de lineaire trend-extrapolatie 2001-2015 (derde rij), maar ook lager dan de *feitelijke* aantallen bevingen in 2011-2015 (resp. 120, 39, 16, 6 en 1 voor $M \geq 1.5$ tot 3.5; zie Tabel 2). Dat is natuurlijk ook de bedoeling van het (veiligheids-) beleid om minder gas te winnen. Maar men kan zich afvragen of de beoogde effecten hiervan niet slechts tijdelijk (enkele jaren) van aard zijn. In anticipatie op de SodM-par. 6 zijn in Tabel 5 ook de vooruitzichten van het SodM tot oktober 2021 gespecificeerd.

Uit Tabel 5 en de voorafgaande paragrafen zijn de volgende hoofdconclusies te trekken.

1. Statistische analyse van aantallen feitelijk geregistreerde aardbevingen per vijf jaar tussen 1991 en 2015 leidt tot overduidelijke verbanden tussen cumulatieve gaswinning en seismische activiteit, met reservoircompactie als primair verklarende factor. Via trend-extrapolatie zijn plausibele voorspellingen te doen over het aantal en de kracht van aardbevingen die Groningen nog te wachten staan.

Kanttekening. Bij statistische extrapolatie van aantallen aardbevingen gaat men ervan uit dat 'het systeem' zich min of meer onveranderd blijft gedragen. Voor het Groningenveld zou men kunnen veronderstellen dat het versneld minder gas winnen, vanaf begin 2014, de gashoudende zandsteenlaag minder geweld aandoet en meer tijd laat om minder schoksgewijs in te klinken. Dat zou een 'systeem-verandering' zijn waardoor statistische extrapolaties worden verzwakt. Dat zo'n verandering ook op langere termijn minder seismiciteit met zich meebrengt zal echter (ook statistisch) moeten blijken.

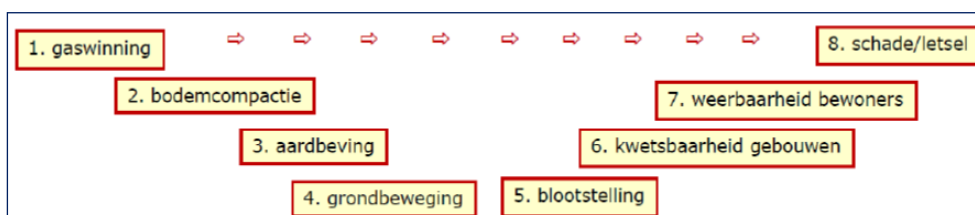
2. Wanneer de Groningse gaswinning doorgaat met meer dan 20 mrdm³ per jaar zal de seismische activiteit voorlopig nog toenemen en enkele decennia voortduren, totdat vrijwel alle 2800 miljard m³ aardgas (of meer?) uit de grond is gehaald.¹³

¹³ Het aantal van circa 30 rond 2020 per jaar te verwachten aardbevingen met $M \geq 1.5$ (zie derde rij van Tabel 5) komt overeen met de vijfjaarprognose van Dost et al. (2013, p. 18) die voor 2018 uitkwamen op een $N(M \geq 1.5)$ van circa 30.

3. De maximale aardbevingskracht zal de komende tijd liggen rond $M = 4.0$ ("eens per vijf jaar"). $M \approx 4.5$ lijkt eens per veertien jaar mogelijk. Op langere termijn kan ooit $M \approx 5$ voorkomen ("eens per 40 jaar"). Nog sterkere aardbevingen zijn zeer onwaarschijnlijk.
4. De aardbevingsprognoses van de NAM bij circa 27 mrdm³ gaswinning per jaar voor de komende vijf jaar zijn lager dan men zou verwachten op grond van statistische extrapolaties van feitelijke aantallen aardbevingen over 1991-2015 (25 jaar) en 2001-2015 (15 jaar).
5. Voor de periode waarin bijna al het Groningse gas is gewonnen (rond 2045) voorziet de NAM (2016a, Supplement) per vijf jaar wel wat meer *zwakke* seismiciteit maar niet meer aardbevingen met $M \geq 2.5$, dan men reeds voor 2016-2020 zou verwachten op grond van een lineaire trend-extrapolatie op basis van geregistreerde aardbevingen over de afgelopen vijftien jaar.
6. Voor de seismische activiteit op wat langere termijn maakt het jaarvolume van de gaswinning (33, 27 of 21 mrdm³) niet veel uit. Wel lijkt het er op dat bodemdaling en seismische activiteit bij een lager winningstempo worden vertraagd en uitgesmeerd in de tijd. Dit effect manifesteert zich reeds in de zomer-winterverschillen in gaswinning en de daarop volgende seismiciteit.

5. 'Seismisch risico': bevingskans, grondversnelling en kwetsbaarheid

De tot dusver beschouwde seismische *dreiging* betreft kansen op aardbevingen met verschillende magnitudes. De waarschijnlijkheid en ernst van schadelijke gevolgen: het seismisch *risico*, hangt af van de veroorzaakte (boven-)grondbeweging en de kwetsbaarheid daarvoor van gebouwen en andere infrastructuur met hun bewoners/gebruikers. Figuur 13 geeft een beeld van de stapsgewijze 'risicogenese' in Groningen: de mogelijke wording van uiteindelijke schade en/of letsel als gevolg van de gaswinning. Om de eventuele schadeveroorzaking goed te begrijpen moet men dus niet alleen kijken naar het mogelijke aantal en de zwaarte van aardbevingen.



figuur 13. Opeenvolgende stadia van 'risicogenese' en mogelijke risicobeheersing.

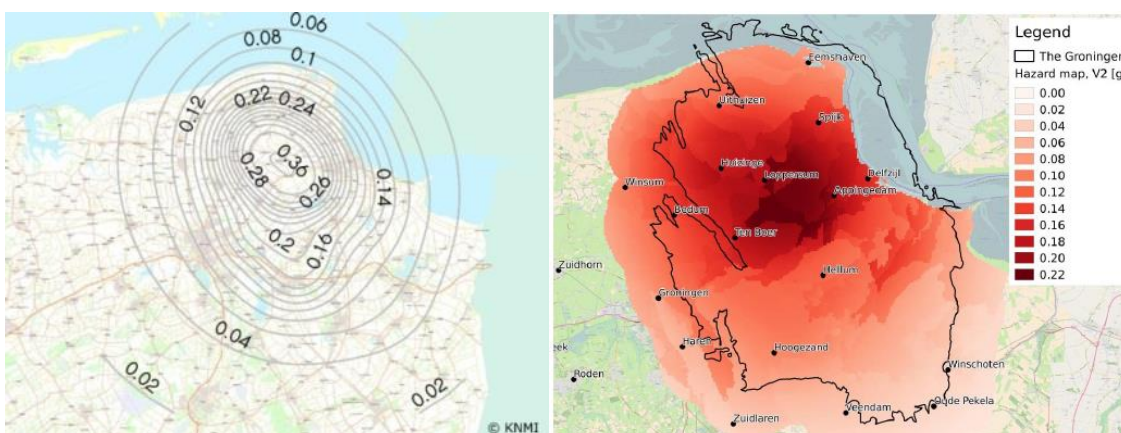
Behalve het verband tussen gaswinning en aardbevingen zitten er in dit procesmodel nog twee lastige relaties, resp. tussen aardbeving en grondbeweging (-versnelling) en tussen grondbeweging en gebouwschade. Dit maakt schattingen van plaatsgebonden kansen op bepaalde schade en/of letsel tot een uitdagende onderneming, mede afhankelijk van diverse uitgangspunten en veronderstellingen.

De schokbestendigheid van gebouwen, structureel falen en ontsnappingskansen voor bewoners / gebruikers zijn ingewikkeld genoeg voor een aparte beschouwing, zeker als die moet uitmonden in schattingen van collectief risico voor een omvangrijk bestand aan meer en minder kwetsbare gebouwen. Dit onderwerp verdient nadere evaluatie maar blijft hier verder onaangeroerd.

5.1. Inschatting van piekgrondversnelling (PGA)

Het onderzoek over bodembewegingen is bij uitstek gericht op de maximale grondversnelling, de 'peak ground acceleration' of PGA, waartegen gebouwen, infrastructuur en bewoners/gebruikers zouden moeten worden beschermd. De PGA wordt ingeschat met behulp van een model voor het voorspellen van grondbewegingen: de 'ground motion prediction equation' of GMPE. Dit gebeurt vanuit feitelijke aardbevingsgegevens en mede op basis van mogelijke waarden voor $M_{\max}$, de maximale bevingskracht, waaraan men verschillende kansgewichten kan toekennen. Volgens Europese regels zou een hogere (dan de 'maximale') PGA zich slechts mogen voordoen met een overschrijdingskans van hooguit 0,2% per jaar ofwel 10% per 50 jaar, ofwel "eens per 475 jaar", derhalve een zeldzame gebeurtenis.

Figuur 14 (links) geeft de oktober 2015-versie van de PGA-kaart van het KNMI (Dost & Spetzler, 2015) met rechts de meer flexibele PGA-‘vlekkenkaart’ van het seismisch gevaar (*hazard*) volgens de nieuwste KNMI-update (Spetzler & Dost, 2016), uitgaande van de (niet geringe) aardbevingsactiviteit in de periode 2011-2016, met $N(M \geq 1.5) \approx 24$ per jaar.



figuur 14. Links: PGA-contourenkaart van KNMI-2015. Rechts: ‘lagere’ PGA-vlekkenkaart van KNMI-2016.

Met een verbeterde GMPE, een lager *verwacht* jaaraantal aardbevingen met $M \geq 1.5$ (geschat op 23 in 2016 tegen 40 in 2015) en een gewijzigde kansweging van drie mogelijke $M_{\max}$ -waarden: 5.0, 5.75 en 6.5, komen Spetzler en Dost (2016) tot de conclusie dat de berekende PGA in het centrale gaswingsgebied rondom Loppersum is gedaald van 0,42g in 2014 via 0,36g in 2015 naar 0,22g in 2016. Hierbij wordt de PGA uitgedrukt als percentage van de normale valversnelling: 9,81 m/s². Een PGA van 0,22g staat dan voor een (kortstondige, maar flinke) ‘grondversnelling’ van 2,16 meter per seconde-kwadraat (m/s²).

Het probabilistische onderzoek over de PGA is vakspecialistisch en deels modeltheoretisch van aard. De resultaten ervan dienen als uitgangspunt voor technische berekeningen van de kans op gebouwschade en/of dodelijk letsel bij woninginstorting als gevolg van een aardbeving. Het verband tussen PGA en mate van gebouwschade is nog onvoldoende in kaart gebracht. In een recente notitie van TNO (2016b) “wordt een eerste aanzet gedaan voor een beoordeling met een kans op een bepaald schadeniveau.”¹⁴

5.2. Enkele kanttekeningen bij de PGA-rapportage

Vanuit niet-seismologisch perspectief zijn voorlopig de volgende opmerkingen te maken, speciaal bij de meest recente ‘*probabilistic seismic hazard analysis*’ van Spetzler en Dost (2016).

- De PGA-waarden uit Spetzler & Dost (2016) zijn o.m. gebaseerd op 22,8 aardbevingen met $M \geq 1.5$ per jaar, terwijl bij lineaire extrapolatie vanuit 2001-2015 zo’n 30 bevingen worden verwacht (zie Tabel 5 in par. 4). Wanneer nu de gaswinning verder afneemt van 42 mrdm³ in 2014 via 28 in 2015 tot jaarlijks 24 mrdm³ in 2016-2021, zou dan binnenkort niettemin een nog verdere PGA-verlaging kunnen worden verwacht?
- In de SodM-visie hierna wordt gewezen op het verband tussen minder en gelijkmatiger gas winnen enerzijds en (verwachte) aardbevingen anderzijds. Zou in toekomstige PGA-berekeningen een soortgelijk verband kunnen worden gelegd tussen basiskenmerken van de gaswinning (jaar-volume, periodieke fluctuaties, ruimtelijke verdeling) enerzijds en PGA-waarden anderzijds?
- Voor zover de PGA-schattingen vanaf 2014 gestaag lager uitvallen zou ook de Nationale Praktijk Richtlijn (NPR, 2015) voor aardbevingsbestendig bouwen aanzienlijk moeten worden bijgesteld, met grote gevolgen voor het Meerjarenprogramma van de Nationaal Coördinator Groningen.¹⁵

¹⁴ SodM (2016) meldt op p. 80: “TNO [2016b] concludeert dat bij 10% kans op DS1 [lichte] schade er ongeveer 2% kans op DS2 [matige] schade en 0,5% kans op DS3 [vrijwel onherstelbare] schade is.”

¹⁵ De NPR (2015) is afgestemd op de ‘hogere’ PGA-kaart van Dost & Spetzler (2015) en betreft slechts het instortingsgevaar, niet de kans op minder ernstige schade. Uitbreiding en herziening van de NPR lijkt derhalve gewenst.

- d. Een kans van 0,2% per jaar op de PGA bij een bepaalde locatie lijkt minder begrijpelijk en ook minder betrouwbaar in een niet-stationaire situatie van gestaag toenemende reservoircompactie met incidentele *fault*-stressontlading door voortgaande gaswinning. En “eens in de 475 jaar” sluit natuurlijk niet uit dat zo’n grondbeweging ook ‘morgen’ kan plaatsvinden.
- e. De PGA-schattingen van het KNMI en de NAM gaan niet over *lager*-dan-maximale grondversnellingen, waarvan de schadelijkheid kan berusten in hun herhaaldelijk voorkomen (‘risicocumulatie’) bij opeenvolgende, niét-maximale aardbevingen. Kan het verband tussen bevingskracht en grondversnelling niet – per deelgebied – rechtstreeks worden beschreven?
- f. De overeenkomsten in PGA-schattingen tussen het KNMI (Spetzler & Dost, 2016) en de NAM (2016) zijn niet verrassend wanneer men bedenkt dat de GMPE (Versie 2), de keuze van mogelijke $M_{\max}$ -waarden en de $M_{\max}$ -gewichten gemeenschappelijk zijn overeengekomen.
- g. De KNMI-rapporten over het seismisch gevaar (Dost & Spetzler, 2015; Spetzler & Dost, 2016) zijn kennelijk geschreven voor seismologische vakbroeders in een specialistisch Engels dat door buitenstaanders moeilijk te volgen is. Voor goed overleg tussen experts, politici, burgers en bestuurders zou een meer didactische, Nederlandstalige uiteenzetting onontbeerlijk zijn.¹⁶
- h. Ook voor wetenschappelijk getrainde buitenstaanders zijn de PGA-rapporten onvoldoende informatief om de resultaten te kunnen verifiëren en de PGA-berekeningen desgewenst te kunnen repliceren (m.b.v. dezelfde invoergegevens, bronmodellen en berekeningsmethoden).¹⁷

6. De visie van het Staatstoezicht op de Mijnen

Als onafhankelijk toezichthouder en als adviseur van de minister van Economische Zaken is het Staatstoezicht op de Mijnen verantwoordelijk voor de ‘eindvisie’ op de aardbevingsproblematiek in relatie tot de gaswinning. Na de recordbeving bij Huizinge ($M = 3.6$) in augustus 2012 heeft het SodM de Groningse aardbevingen en de seismische dreiging intensief bestudeerd en ook door anderen laten onderzoeken. Grondige studie door de NAM zelf, maar ook door het KNMI, TNO, de TU Delft en het CBS heeft de inzichten vergroot en op zijn beurt geleid tot nieuwe hypothesen over een optimale beheersing van de gaswinning en het seismisch risico voor bewoners, gebouwen en infrastructuur. Hieronder wordt eerst de SodM-visie samengevat. Daarna volgt een aantal kritische kanttekeningen.

6.1. Het advies-2016 van het SodM

De Groningse aardbevingen zijn het gevolg van plotselinge verschuivingen langs talrijke, soms ‘kritische’ breukvlakken in de diepe ondergrond. Verschuivingen treden op bij compactie van het poreuze, gashoudende reservoirgesteente. Hoe meer gas er inmiddels is en nog wordt gewonnen, des te meer aardbevingen er (vanaf 1991) kwamen en nog zullen voorkomen. Zolang de gaswinning doorgaat zijn aardbevingen dus onvermijdelijk, maar hun aantal en kracht zullen lager uitvallen wanneer het jaarlijkse niveau van de gaswinning wordt verlaagd. Daardoor daalt de reservoirdruk minder snel (dan de afgelopen tien jaar) en krijgt de ondergrond meer gelegenheid om geleidelijk, minder schoksgewijs in te klinken.¹⁸ Van belang hierbij is ook dat het winningstempo gedurende het jaar zo constant mogelijk wordt gehouden. Ook ruimtelijke verschillen in gasdrukverlaging en plaatselijke bodemcompactie moeten zoveel mogelijk worden vermeden.

Het SodM stelt vast dat de maximale piekgrondversnelling (PGA, “eens in de 475 jaar”) bij een beving met $M = 5.0$ rondom Loppersum is herzien van 0,42g in 2013 via 0,36g in 2015 naar 0,22g in 2016 (zie par. 5), terwijl deze elders in Groningen flink lager zou zijn (Spetzler & Dost, 2016; NAM, 2016a).

¹⁶ In het beperkt-inzichtelijke rapport van Spetzler en Dost (2016) wordt verwezen naar een vakseismologisch rapport van ruim 500 bladzijden door Bommer e.a. (2015). Zou de GMPE niet voor leken in hoofdfactoren uiteengezet kunnen worden?

¹⁷ Opmerkelijk in Spetzler en Dost (2016) is b.v. de te ruim getelde aardbevingscatalogus, met in totaal 324 i.p.v. 277 aardbevingen met $M \geq 1.5$ in Groningen.

¹⁸ Elders wordt vanuit het SodM toegelicht: “To sustain a reduced seismicity level over longer periods of time, field-wide production measures will need to be taken as pressure decline in the centre of the field will re-start within a few years given the continued production from production clusters outside of the centre of the field. It is still unclear if production reductions will only smear the risk out over time (film-rate effect) or if real reductions in the total number of earthquakes can be expected” (De Waal, Muntendam-Bos & Roest, 2015, p. 138).

Vervolgens interpoleert het SodM de twee NAM-scenario's voor een gaswinning van 27 en 21 mrdm³ per jaar (zie Figuur 8b,c in par. 3.3) en komt uit op een 'veilig' niveau van 24 mrdm³ per jaar tot najaar 2021. Daarbij zouden er jaarlijks niet méér aardbevingen met $M \geq 1.5$ voorkomen dan de 22 in 2015. Bovendien, zo meent het SodM, is de NAM-prognose voor de komende jaren waarschijnlijk te pessimistisch. Want, stelt het SodM (2016, p. 11): "Aangetoond is nu dat fluctuaties een rol spelen in het ontstaan van bevingen." Wanneer ook seizoensfluctuaties in gaswinning worden vermeden zal de seismische activiteit waarschijnlijk nog verder afnemen.

De seismiciteit die het SodM voor de komende vijf jaar voorziet is aangegeven in de zesde rij van Tabel 5 in par. 4 hierboven. Deze aantallen wijken slechts weinig af van de uitgewerkte NAM-prognose in de vierde en vijfde rij van Tabel 5. Volgens SodM betekent dit een systematische verandering in de gaswinning, waardoor ook de aardbevingen sterk zouden verminderen. Statistische extrapolaties vanuit het verleden (zoals door de NAM en in par. 2 en 3 hierboven) zouden daardoor aan betekenis inboeten.

Per saldo adviseert het SodM de minister van Economische Zaken in mei 2016 als volgt.

- Laat de komende vijf jaar hooguit 24 mrdm³ gas per jaar winnen (na 54 mrdm³ in 2013, 42 in 2014 en 28 in 2015).
- Laat zo 'vlak' mogelijk gas winnen waarbij verschillen in tijd (seizoenen) en ruimte (deelgebieden) zoveel mogelijk worden vermeden.
- Laat voorlopig niet of nauwelijks gas winnen in het centrale gebied rondom Loppersum (waar sinds de zeer sterke daling in gaswinning vanaf begin 2014 zeer weinig aardbevingen zijn voorgekomen terwijl de reservoirdruk ook ter plaatse inmiddels weer is gaan dalen).

Dit beleid zou toelaten dat de gaswinning 'veilig genoeg' (zoals in 2015, maar ook 2012 en 2014; zie Fig. 4) en met voldoende leveringszekerheid kan doorgaan. Later zou misschien weer 27 mrdm³/jaar kunnen worden gewonnen, een maximaal niveau waarbij seizoensfluctuaties nog kunnen worden vermeden.

Het SodM (2016) zegt er sterker dan voorheen op te vertrouwen dat het systeem van gaswinning-met-aardbevingen regelbaar is. De toezichthouder verwacht dat de NAM met spoed een 'risicobeheers-systeem' uitwerkt met betrekking tot het niveau, de gestaagheid en de ruimtelijke verdeling van de gaswinning ("een op risico geoptimaliseerde verdeling van de productie over het veld"; p. 14).¹⁹

De seismologische analyses van de NAM (2016a) hebben het SodM (2016, p. 12) niet tevreden gesteld:

"De huidige voorspellingen van NAM van het aantal bevingen – gegeven aangenomen productieplafonds en in afwezigheid van fluctuaties – worden door SodM als een *worst case* scenario gezien. (...) SodM concludeert dat de resultaten van de risicoberekeningen van NAM geen solide basis vormen voor het vaststellen van een verantwoord winningsniveau en voor het eventueel verhogen van het niveau naar 33 miljard Nm³/jaar. (...)

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

Mét de NAM erkent ook het SodM dat er nog altijd grote onzekerheden bestaan, vooral over het seismisch risico van schade of verlies als uitwerking van grondbewegingen op gebouwen en hun bewoners/gebruikers. De technische berekeningen door de NAM van het individueel overlijdensrisico en het 'maatschappelijk veiligheidsrisico' ($\approx$ groepsrisico) worden 'beperkt bruikbaar' genoemd.

6.2. Kanttekeningen bij de SodM-visie

Gegeven de nog grote onzekerheden ontkomt ook het SodM (2016) niet aan hypothetische conclusies en tentatieve beleidsaanbevelingen. Daarbij worden keuzes gemaakt en verwachtingen uitgesproken waarvan de validiteit nog zal moeten blijken. De volgende punten staan in ieder geval ter discussie.

¹⁹ Dat dit niet eenvoudig zal zijn moge blijken uit het NAM-voornemen om enerzijds (uiteraard) de toegestane hoeveelheid gas te winnen en anderzijds daarbij de kwetsbare deelgebieden 'Zuidwest' bij Groningen-stad en 'Noordwest' tussen Loppersum en Uithuizen te ontzien. De komende tijd zou het meeste gas worden gewonnen in 'Noord', 'Oost' en 'Zuid', resp. nabij Eemshaven, Delfzijl en Veendam. Zie NAM (2016a), Technical Addendum, hfst. 1-5.

- a. Prominent in het SodM-advies (2016) is de kritiek op het seismologisch model van de NAM (Bourne & Oates, 2015). Daarin wordt de prognoses van toekomstige aardbevingsactiviteit primair afhankelijk gesteld van de cumulatieve gaswinning en de al maar sterkere compactie van het poreuze reservoirgesteente; zie Figuur 8a,b,c. Het SodM constateert echter dat de recente vermindering van de gaswinning vooral in het Loppersumgebied maar ook elders in Groningen vooralsnog minder seismiciteit met zich meebrengt. "SodM twijfelt daarom aan de validiteit van het seismologisch [compactie-] model en de uitkomsten van de risicoberekeningen" (SodM-2016, p. 40).
- b. De meer geruststellende visie van het SodM (2016) contrasteert met hun eerdere scepsis over de NAM-modellering van (nogal lage) piekgrondversnellingen (PGA's) bij een aardbeving met $M = 5.0$. "Vanwege de uitgangspunten van het v2 GMPE [*'ground motion prediction equation'*] model voor de extrapolatie naar zwaardere, niet waargenomen bevingen zou de door de NAM gepresenteerde seismische dreiging en daarmee het risico mogelijk een onderschatting kunnen zijn van de daadwerkelijke seismische dreiging en risico" (SodM, 2015, p. 29). Ook in mei 2016 stelt het SodM (p. 70): "Al met al moet met betrekking tot het model van de GMPE vastgesteld worden dat er nog flinke onzekerheden bestaan."²⁰
- c. De door het SodM geopperde vermindering in aardbevingsactiviteit als gevolg van verlaagde gaswinning weerspiegelt de hypothese dat voortschrijdende bodemcompactie van minder belang is, mits deze maar geleidelijk genoeg kan verlopen.²¹ De plausibiliteit van deze hypothese hangt sterk af van de reactie van bestaande, min of meer 'kritische' ondergrondse breukvlakken (*faults*) op de compactie van het reservoirgesteente. In dit verband concludeert TNO (2016a, p. 39):
".. in 2016 we have learned that seismicity is not primarily caused by compaction. Faults play a major role." En: "seismicity rates are expected to be correlated primarily to rates of [reservoir] pressure change."
Dit klinkt nogal logisch (en was ook al aangegeven door Dost *et al.*, 2013), want zonder breukvlakken kan er geen schoksgewijze spanningsontlading zijn. En het gaat dus niet alleen om de mate, maar ook om het tempo van drukverandering en compactie. Tegelijkertijd kan deze TNO-conclusie worden betwijfeld als men bedenkt dat '*the rate of pressure change*' in de 1970-er jaren en ook in 1996-2000 zeer hoog moet zijn geweest (zie Fig. 1), zónder dat er sprake was van sterk toenemende seismiciteit.
- d. Een mogelijk stabiele vermindering in seismiciteit kán voortvloeien uit de snelle verlaging van de jaarlijkse gaswinning van 54 naar 28 mrdm³ tussen 2013 en 2015. Wanneer de gaswinning echter in 2016-'21 op eenzelfde niveau (plm. 24 mrdm³/jaar) blijft zou de seismiciteit weer gaan toenemen. Of neemt deze *sowieso* af omdat – zoals het internationale expertpanel over $M_{\max}$ (NAM, 2016b) onlangs opperde – na 2200 van de 2800 mrdm³ gaswinning de meeste compactie al achter de rug is?
- e. Onduidelijk is in hoeverre de voorziene daling van seismiciteit inhoudt dat ook $M_{\max}$, de maximaal mogelijke bevingskracht, lager uitvalt. De Gutenberg-Richterprojectie van $M = 4.5$ à 5.0 uit par. 3.5 zou wat langer 'onwaarschijnlijk' kunnen blijven maar toch ooit werkelijkheid kunnen worden, d.w.z. vóór of kort na het einde van de gaswinning. SodM (2016) zegt niets over aardbevingen met $M \geq 3.0$.
- f. In SodM (2016) kon nog niet worden ingegaan op het rapport van het internationale expertpanel over $M_{\max}$ (NAM, 2016b); zie ook par. 3.5.²² Het panel concludeert tot $4.0 \leq M_{\max} \leq 7.0$, een nogal hoog extreem dat niet voorkomt in het PGA-rapport van Dost en Spetzler (2016); zie par. 5. In hoeverre geeft het panelrapport reden tot bijstelling van SodM-conclusies over verminderde seismiciteit, lagere PGA-waarden en de blijvende noodzaak tot gebouwenversterking?

²⁰ Sintubin (2016) merkt op dat het KNMI (Spetzler & Dost, 2016) de *derde* PGA-kaart sinds 2013 levert en deze slechts baseert op de seismiciteit van de afgelopen vijf jaar. Wat betekent "eens in de 475 jaar" wanneer de systeemcondities voortdurend veranderen? Kan het schaderisico niet op voorhand *per jaar* worden ingeschat?

²¹ Daarmee *blijven* de problemen van 'schokvrije' bodemdaling. Door ongelijkmatige oppervlakte-effecten daarvan kan zgn. zettingschade optreden, weliswaar te beschouwen als mijnbouwschade maar niet gerekend tot 'aardbevingschade'.

²² Dit nagekomen rapport maakt formeel geen deel uit van het door SodM te beoordelen Winningsplan-2016 van de NAM.

- g. Gestaag minder aardbevingsactiviteit en lagere grondversnellingen zou impliceren dat er minder kwetsbare gebouwen zijn en dat bij woningversterking kan worden uitgegaan van minder hoge eisen voor aardbevingsbestendigheid. Maar het SodM (2016):
 “.. benadrukt in dit advies [i.t.t. de NAM; ChV] de preventieve maatregelen. Dit laat onverlet dat het versterkingsprogramma met urgentie moet worden uitgevoerd”(p. 10).
 “Naar de mening van SodM is het echter niet zeker dat de beoogde mate van versterking (...) haalbaar is..” (p. 41).
 Hier rijst toch de vraag in hoeverre het eind 2015 vastgestelde meerjarenprogramma van de Nationaal Coördinator Groningen (NCG, 2015) niet een zekere herziening behoeft; zie ook par. 5.
- h. Het is plausibel dat tijdelijke verhoging van gaswinning (m.n. in de winter) enkele maanden later zal leiden tot meer aardbevingen (zie Figuur 12). Het staat echter nog te bezien in hoeverre het vermijden van seizoensfluctuaties in gaswinning (feitelijk pas sinds maart 2015) ook op *jaarbasis* minder aardbevingen met zich meebrengt. Want bij een meer ‘vlakke’ gaswinning zou de aardbevingsactiviteit slechts meer gelijkmatig over het jaar gespreid kunnen worden.
- i. Het in de tijd ‘vlak’ en ruimtelijk-adaptief regelen van de gaswinning (met uitwerkingstermijnen van enkele maanden) lijkt voor de NAM een lastige zaak te worden; zie NAM (2016c). Deze SodM-aanbeveling leunt sterk op statistische analyses van het CBS (o.m. Pijpers, 2016), met als beleids-suggestie dat variaties in gaswinning en (dus) bodemcompactie moeten worden vermeden op locaties waar kritische breukvlakken tot abrupte verschuivingen zouden kunnen worden gebracht.²³
- j. Het SodM verlangt van de NAM dat een risicobeheerssysteem wordt uitgewerkt waarbij de verdeling van de gaswinning over de vijf deelgebieden wordt ingericht op basis van het seismisch risico (van schade of verlies door plotselinge grondversnellingen). Gezien de forse kritiek van het SodM op de technische risicoberekeningen (plaatsgebonden individuele en collectieve overlijdenskansen) lijkt dit vooralsnog een zeer veeleisende opgave te zijn.
- k. Er zijn blijkbaar flinke verschillen tussen het SodM en de NAM over de voorspelbaarheid en voorspelling van aardbevingsactiviteit als functie van de mate, snelheid en (on)gelijkheid van gaswinning en reservoircompactie, alsmede de aanwezigheid van stressgevoelige breukvlakken en de ondergrondse spanningsontlading bij een aardbeving. Belangrijke verschillen in seismologisch model-denken kunnen in verder onderzoek en debat worden overbrugd.

7. Ter afronding: aanvaardbaar omgevingsrisico?

Er is, vooral in Noord-Nederland, een levendig debat gaande over nut en noodzaak van aardgas, de onvermijdelijkheid van aardbevingen, de aanvaardbaarheid van omgevingsrisico's en een optimale risicobeheersing rondom de gaswinning: “Veiligheid voorop”. Daarin komen nog altijd nieuwe inzichten en beleidssuggesties naar voren. Het laatste nieuws vanuit NAM, TNO, KNMI en SodM is dat minder en gelijkmatiger gas winnen meer veiligheid zou brengen. De NAM meldt in Tweede Kamer (2016, p. 11) dat het aantal schademeldingen is opgelopen tot bijna 70.000. Uit veldonderzoek van Postmes en collega's (2016) blijkt dat veel Groningers zich onvoldoende veilig voelen en meer gezondheids-klachten rapporteren. De analyses in par. 2 en 3 hierboven wijzen uit dat de aardbevingsactiviteit verder kan toenemen en nog lang zal duren. Experts taxeren de maximale bevingskracht op $4.0 \leq M_{\max} \leq 7.0$.

Eén problematische kant van het gaswinbeleid is het feit dat het merendeel van het veelzijdige onderzoek wordt uitgevoerd door of vanwege de NAM en/of het ministerie van Economische Zaken dat via Energiebeheer Nederland voor 50% deelneemt in de gaswinnende ‘Maatschap Groningen’ (zie ook OvV, 2015, over het belangenverstrengelde ‘Gasgebouw’). In het seismische-dreigingsonderzoek wordt intensief samengewerkt tussen het KNMI en de NAM. Veel onderzoek is fysisch-/technisch-wetenschappelijk van karakter en raakt nauwelijks aan maatschappelijke percepties, gevolgen en implicaties. Begin 2016 is een Kamermotie aangenomen waarin wordt aangedrongen op de instelling van een onafhankelijk kenniscentrum over gaswinning en aardbevingen.²⁴ Het lijkt zinvol om daarbij

²³ Pijpers (2016) zelf spreekt van een ‘fenomenologisch verband’, te interpreteren als: ‘het lijkt er op dat...’.

²⁴ Motie Van Veldhoven-Vos, nr. 33529-220 d.d. 26-1-2016: “..verzoekt de regering om het onafhankelijk onderzoeks-programma naar de ondergrond zodanig op te zetten dat ook het onderzoek op basis waarvan het Winningsbesluit wordt gemaakt, daar onafhankelijk belegd kan worden..”

ook gedrags- en maatschappijwetenschappers te betrekken.

Het lastige en controversiële onderzoek over individueel en maatschappelijk 'seismisch risico' (van overlijden) kon in dit artikel niet ook aan de orde komen. Tevens moest worden voorbijgegaan aan de manier waarop 'aanvaardbaar risico' zou kunnen worden vastgesteld, zowel inhoudelijk ('welke kans op en ernst van schade of verlies zijn toelaatbaar?') als procedureel ('hoe kunnen we met elkaar tot voldoende begrip en consensus komen?'). Een aantal van deze kwesties is eerder in dit tijdschrift (*RV&R*) aan de orde geweest (Ale, 2015; Damveld, 2015; Geerts 2016; Vlek, 2015).

Voor het moment kan worden geconcludeerd:

- a) dat risicobeheersing in het aardbevingsgebied vooral procesmatig zou moeten worden benaderd via diverse maatregelen ter verkleining van de waarschijnlijkheid en/of ernst van mogelijke schade;
- b) dat de schattingen van het lijfelijk veiligheidsrisico door NAM, TNO en TU Delft te beperkt, voorlopig en onnavolgbaar zijn als basis voor het 'cruciale' meerjarenprogramma-gebouwversterking.

De risicobenadering rondom de gaswinning is lastig genoeg om verder – multidisciplinair – door-dacht en geconcretiseerd te worden, volgens een 'modellentrein' langs de risicostadia van Figuur 13.

De Groninger Bodem Beweging en geestverwanten (GBB, 2016) laken het feit dat nog altijd geen "breed geaccepteerde methodiek voor de berekening en weging van risico's" is vastgesteld, zoals in januari 2015 werd aangekondigd in het Instemmingsbesluit-gaswinning voor dat jaar (EZ, 2015). Volgens de GBB staat niet de Groningse veiligheid maar de (inter-)nationale leveringszekerheid voorop. Tevens hekelt de GBB het feit dat het kabinet de (verminderde) aardbevingsactiviteit van 2015 kennelijk acceptabel vindt.

De Provincie Groningen (2016) wraakt het nog gebrekkige risicodenken over persoonlijke veiligheid, woningschade, infrastructuur en externe bedrijfsveiligheid. Gezien het onzekere karakter van diverse conclusies en adviezen verlangt de Provincie uit voorzorg een "doorgaand dalend productieniveau" in de gaswinning. Maar pas op: ook bij voorzorg is afweging geboden, om evenwicht te vinden tussen fout-positieve (overdreven) en fout-negatieve (nalatige) veiligheidskeuzen. Zonder strategisch alternatief zou drastisch minder gas winnen het *nationale* risico van leveringstekorten verhogen. Dit afwegingsvraagstuk gaat niet alleen over redelijke risico-acceptatie maar ook over een sociaal billijke kosten-batenverdeling.²⁵

De statistische analyses en extrapolaties in dit artikel hebben hun natuurlijke beperkingen, maar zij berusten wel op een aanzienlijk gegevensbestand vanaf 1991 en eigenlijk al (impliciet) van daarvóór, toen er al wel gaswinning was maar nog geen aardbevingen werden geregistreerd. Indien er anno 2015-2016 sprake zou zijn van een stabiele vermindering in aardbevingsdreiging als gevolg van minder en evenwichtiger gas winnen: zoveel te beter voor Groningen. Maar gezien de algemeen erkende onzekerheden en het tentatieve, soms hypothetische karakter van diverse adviezen knaagt toch de vraag in hoeverre de Groningse gaswinning niet een gewaagd veldexperiment blijft waarvan de gevolgen nog altijd onoverzichtelijk zijn.

8. Verwijzingen

Ale, B.J.M. (2015). Er komt geen redelijk aardgasbeleid. *Ruimtelijke Veiligheid en Risicobeleid* Jrg 6, Nr 20 – 21, 5-7.

Bommer, J.J., Dost, B., Edwards, B., Rodriguez-Marek, A., Kruiver, P.P., Meijers, P., Ntinalexis, M., & Stafford, P.J. (2015). *Development of Version 2 GMPEs for Response Spectral Accelerations and Significant Durations from Induced Earthquakes in the Groningen Field*. <http://feitenencijfers.namplatform.nl/download/rapport/cbef666c-607b-4be2-a6e6-3d0dd0271b52?open=true>.

Bourne, S., & Oates, S. (2015). *An activity rate model of induced seismicity within the Groningen field* (Part 1, February; Part 2, July). Editors J. van Elk & D. Doornhof. Assen: NAM.

²⁵ Ook Shell (in Tweede Kamer, 2016, p. 8) pleit "voor een integrale analyse van de maatschappelijke kosten en baten van de gaswinning in Groningen, voor de provincie zelf en voor Nederland als geheel" en waarschuwt daarbij alvast (p. 10) dat snel minder gas winnen zou leiden tot fors minder gasbaten en een verslechterde betalingsbalans.

- Damveld, H. (2015). Jaaroverzicht 2015 aardgas en aardbevingen: veiligheid staat niet voorop. *Ruimtelijke Veiligheid en Risicobeleid* Jrg 6, no. 20/21, 52-58.
- De Crook, Th., Dost, B., Haak, H.W. (1995). *Analyse van het seismisch risico in Noord-Nederland*. KNMI Technisch Rapport TR-168.
- De Waal, J.A., Muntendam-Bos, A.G., & Roest, J.P.A. (2015). Production induced subsidence and seismicity in the Groningen gas field – can it be managed? *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences IAHS*, 372, 129-139 (Copernicus Publications).
- Dost, B., Caccavale, M., Van Eck, T., & Kraaijpoel, D. (2013). *Report on the expected PGV and PGA values for induced earthquakes in the Groningen area*. De Bilt: KNMI, December.
- Dost, B., Goutbeek, F., van Eck, T., Kraaijpoel, D. (2012). *Monitoring induced seismicity in the North of the Netherlands: status report 2010*. Utrecht: KNMI scientific report; WR 2012-03.
- Dost, B., & Spetzler, J. (2015). *Probabilistic seismic hazard analysis for induced earthquakes in Groningen; Update 2015*. De Bilt: KNMI, October.
- EZ (2015). *Instemming gewijzigd winningsplan Groningenveld*. Besluit van de Minister van Economische Zaken, 30 jan. 2015; ref. ETM/EM/13208000.
- GBB (2016). *Zienswijze Ontwerp-Instemmingsbesluit*. Door P.M.J. De Goede te Winsum namens Groninger Bodem Beweging, Vereniging Milieudefensie, Milieufederatie Groningen, Waddenvereniging en div. particulieren.
- Geerts, R. (2016). Hoe het 'maatschappelijk risico' van de Groninger gasproductie de politieke discussie vertroebelt. *Ruimtelijke Veiligheid en Risicobeleid* Jrg 7, 22/23, 22-35.
- Gutenberg, B., & Richter, C. F. (1941). Seismicity of the Earth. *Geological Society of America Special Paper* 34, 1-131.
- Hagoort, J. (2015). Aardbevingen in Groningen. Statistiek en risicoanalyse. *Ruimtelijke Veiligheid en Risicobeleid*, Jrg 6, 19, 11-21.
- KNMI (1993). *Samenvatting Eindrapport multidisciplinair onderzoek naar de relatie tussen gaswinning en aardbevingen in Noord-Nederland*. De Bilt: KNMI.
- KNMI (2016). *Lijst van geïnduceerde aardbevingen in Nederland*. (t/m 3-6-2016). De Bilt: KNMI. http://cdn.knmi.nl/knmi/map/page/seismologie/all_induced.pdf.
- Muntendam-Bos, A.G., & De Waal, J.A. (2013). *Reassessment of the probability of higher magnitude earthquakes in the Groningen gas field Including a position statement by KNMI*. The Hague, State Supervision of Mines, 16 January.
- NAM (2016a). *Winningsplan Groningen Gasveld 2016* (met *Technical Addenda* en *Supplement*: bodemdaling, seismische dreiging en maatschappelijk veiligheidsrisico). Assen: NAM. <http://www.namplatform.nl/mediatheek/winningsplan-2016.html>.
- NAM (2016b). *Report from the Expert Panel on Maximum Magnitude Estimates for Probabilistic Seismic Hazard and Risk Modelling in Groningen Gas Field*. 25 April 2016. <http://www.namplatform.nl/feiten-en-cijfers/feiten-en-cijfers-onderzoeksrapporten.html#iframe-2VtYmVkJ2NvbXBvbmVudC8/aWQ9b25kZXJ6b2Vrc3JhcHBvcnRlbG==>
- NAM (2016c). *Zienswijze Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V. op ontwerp-instemmingsbesluit Groningenveld*.
- NCG, Nationaal Coördinator Groningen (2015). *Meerjarenprogramma Aardbevingsbestendig en Kansrijk Groningen 2016-2020*. www.nationaalcoordinatorgroningen.nl.
- NPR 9998 (2015). *Beoordeling van de constructieve veiligheid van een gebouw bij nieuwbouw, verbouw en afkeuren - Grondslagen voor aardbevingsbelastingen: geïnduceerde aardbevingen*. Ned. praktijkrichtlijn. December.
- OvV (2015). *Aardbevingsrisico's in Groningen. Onderzoek naar de rol van veiligheid van burgers in de besluitvorming over de gaswinning (1959-2014)*. Den Haag: Onderzoeksraad voor Veiligheid, www.onderzoeksraad.nl.
- Pijpers, F.P. (2016). *A phenomenological relationship between reservoir pressure and tremor rates in Groningen*. The Hague (NL): CBS, Statistics Netherlands, Discussion Paper 2016/05 (May, 16 pp).

- Postmes, T., Stroebe, K., Richardson, J., LeKander, B., & Oldersma, F. (2016). *Veiligheidsbeleving, gezondheid en toekomstperspectief van Groningers*. Rijksuniversiteit Groningen, Wetenschappelijk rapport #1 (69 pp.) uit project 'Gronings Perspectief'.
- Provincie Groningen (2016). *Zienswijze ontwerp-instemmingsbesluit winningsplan Groningenveld d.d. 30 juni 2016*.
- Sintubin, M. (2016). *Seismische dreiging in Groningen: van update naar update*. Weblog, 9 juli. earthlymattersblog.wordpress.com/2016/07/09/seismische-dreiging-in-groningen-van-update-naar-update/.
- SodM, Staatstoezicht op de Mijnen (2015). *Seismisch risico Groningenveld. Beoordeling rapportages & advies*. Den Haag: SodM, Min. EZ (december).
- SodM, Staatstoezicht op de Mijnen (2016). *Advies Winningsplan Groningen 2016*. Den Haag: SodM, Min. EZ (mei). <http://www.sodm.nl/documenten/publicaties/2016/06/21/advies-sodm-winningsplan-groningen-2016>.
- Spetzler, J., & Dost, B. (2016). *Probabilistic seismic hazard analysis for induced earthquakes in Groningen*, Update June 2016. De Bilt: KNMI.
- TNO (2015). *Recent developments in the seismicity of the Groningen field in 2015*. TNO Report R10755 by K. van Thienen-Visser, P. Fokker, M. Nepveu, D. Sijacic, J. Hettelaar & B. van Kempen. Utrecht: TNO (May).
- TNO (2016a). *Groningen field 2013 to present. Gas production and induced seismicity*. Report TNO 2016 R10425 by K. van Thienen-Visser, D. Sijacic, J.-D. van Wees, D. Kraaijpoel, & J. Roholl. Utrecht: TNO (April).
- TNO (2016b). *Relatie tussen PGA waarden en kans op schade voor geïnduceerde aardbevingen in Groningen*. Notitie M0100296951, door C.P.W. Geurts & R.D.J.M. Steenbergen. Delft: TNO, Technical Sciences (juni).
- Tweede Kamer (2016). *E-reader t.b.v. rondetafelgesprek ontwerpbesluit gaswinning Groningen*. TK-commissie EZ, 8 sept.
- Utsu, T. (1999). Representation and analysis of the earthquake size distribution: A historical review and some new approaches. *Pure and Applied Geophysics*, 155, 509–535.
- Van Eck, T., Goutbeek, F.H., Haak, H.W. & Dost, B. (2006). Seismic hazard due to small-magnitude, shallow-source, induced earthquakes in the Netherlands. *Engineering Geology*, 87, 105–121.
- Van Thienen-Visser, K., & Breunese, J.N. (2015). Induced seismicity of the Groningen gas field: History and recent developments. *The Leading Edge*, special section: Injection-induced seismicity. June, 664–671.
- Vlek, C.A.J. (2015). 'Aanvaardbaar omgevingsrisico': ongemakkelijke beleidsinnovaties en een dozijn redelijke richtlijnen voor uitdagende veiligheidskwesties – zoals gaswinning in Groningen. *Ruimtelijke Veiligheid en Risicobeleid* Jrg 6, Nr. 19, 22–33.



Het risico van de gaswinning: Effecten van de Groningse gaswinning op Veiligheidsbeleving, risicoperceptie en gezondheid

K. Stroebe¹, T. Postmes¹, B. LeKander¹, J. Richardson¹,
F. Oldersma², J. Broer³

onderzoek

Inleiding

Sinds 1960 wordt er in Noord-Oost Groningen gas gewonnen door de Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM). Deze gaswinning veroorzaakt aardbevingen. De NAM ontkende lange tijd dat er sprake zou zijn van aardbevingen ten gevolge van de gaswinning (Onderzoeksraad voor Veiligheid, 2015). De regering, die een deel van de inkomsten van de gaswinning op haar rekening schreef, leek toe te kijken. In 2012 vond een grotere aardbeving plaats in Huizinge en kwam er meer (media)aandacht voor de problematiek rondom de gaswinning. Eind 2013 waarschuwde het Staatstoezicht op de Mijnen dat gaswinning een bedreiging vormt voor de veiligheid. In 2015 verscheen, mede naar aanleiding van de commotie die dit veroorzaakte, een Onderzoeksrapport van de Onderzoeksraad van de Veiligheid (OVV) waarin werd gesteld dat de veiligheid van de Groninger veronachtzaamd is en dat economisch belang zwaarder heeft gewogen dan het waarborgen van veiligheid. De Raad stelde dat inwoners van Groningen veilig moeten zijn en dat zij zich veilig moeten voelen in hun dagelijkse leefomgeving (Onderzoeksraad voor Veiligheid, 2015).

Alhoewel de veiligheid van Groningers sinds de beving in Huizinge steeds meer centraal staat in besluitvorming, is tot op heden vrijwel uitsluitend aandacht geweest voor de fysieke veiligheid. Maar de Noord-Nederlandse gaswinning leidt niet alleen tot fysieke schade. Er waren signalen, voorafgaand aan ons onderzoek, dat een deel van de bevolking van het gaswinningsgebied in de knel raakte. Dat werd gesuggereerd in vele krantenartikelen en rapportages in de media. Dat vertrouwen en leefbaarheid onder druk staan werd onder meer bevestigd door onderzoek naar vertrouwen en draagvlak voor gaswinning (Hoekstra, Perlaviciute, & Steg, 2015) en naar ontwikkelingen op de woningmarkt (Boelhouwer et al., 2016). Desondanks bleef veel onduidelijk en onzeker. Wat is de exacte omvang van de effecten op de ervaren veiligheid, risicoperceptie en gezondheid? Het huidige onderzoek gaat hierop in en geeft inzicht in de gevolgen van de gaswinning op de ervaren veiligheid, risicoperceptie en de gezondheid van de Groningers.⁴

1. Veiligheid en risicoperceptie in Groningen

In 2015 drong de OVV erop aan om het veiligheidsbelang van bewoners zwaarder te laten meewegen. Daarbij benadrukte de OVV het belang van het hanteren van een breed veiligheidsbegrip:

Met 'veiligheid' doelt [de OvV] enerzijds op het objectieve begrip oftewel het uitblijven van lichamelijk letsel ten gevolge van geïnduceerde aardbevingen. Anderzijds verstaat de Raad onder 'veiligheid' ook de subjectieve uitleg van het begrip oftewel de gemoedsrust van de bewoners van het gaswinningsgebied bij een werkelijke of dreigende verstoring van hun woongenot. Het gaat er dus om dat de inwoners van Groningen veilig zijn en zich veilig voelen in hun dagelijkse leefomgeving. (OvV, 2015, p. 15).

Ons onderzoek leunt sterk op deze brede definitie van veiligheid, waarbij we ons concentreren

¹ Deze auteurs zijn werkzaam bij de Universiteit Groningen, k.e.stroebe@rug.nl

² Onderzoek & Statistiek, gemeente Groningen

³ GGD Groningen

⁴ De resultaten die in dit paper zijn gerapporteerd zijn onderdeel van een grootschaliger onafhankelijk onderzoek, Gronings Perspectief, dat in opdracht van Nationaal Coördinator Groningen wordt uitgevoerd

op het subjectieve deel: we bekijken hoe (on)veilig bewoners van het gaswinningsgebied zich voelen in vergelijking met bewoners die minder direct met de gevolgen van de gaswinning te maken hebben. We verwachtten dat gevoelens van onveiligheid een aanzienlijke impact kunnen hebben op de gemoedrust en (psychische) gezondheid van bewoners. Daarnaast zijn we geïnteresseerd in de risico's die mensen omtrent de gaswinning waarnemen.

In het wetenschappelijk onderzoek naar rampen is van oudsher veel aandacht voor de perceptie van risico. Vertaald naar de huidige problematiek betreft dit vragen als: nemen mensen waar dat er risico's aan de gaswinning verbonden zijn, en hoe groot achten zij deze risico's? Het waarnemen van risico kan ook samenhangen met de bereidheid van bewoners om veiligheidsmaatregelen te treffen (Wachinger, Renn, Begg, & Kuhlicke, 2013) – zoals bijvoorbeeld het vastzetten van boekenkasten of andere maatregelen ter preventie van fatale ongelukken. Bovendien zijn we geïnteresseerd in een verband dat in de risicoperceptie literatuur minder aan de orde komt: het verband tussen risicoperceptie en gezondheid. Binnen de literatuur naar rampen vonden we enige indicatie voor een dergelijk verband: correlationeel onderzoek naar de ramp van Tsjernobyl liet een verband zien tussen het waarnemen van eigen risico van contaminatie door de ramp en mentale gezondheid (Havenaar, De Wilde, Van Den Bout, Drottz-Sjöberg, & Van Den Brink, 2003). Hierbij valt overigens niet uit te sluiten dat deelnemers die meer in aanraking zijn gekomen met radioactieve stoffen (hogere contaminatie) zich daarvan bewust zijn en ten gevolge van contaminatie een slechtere gezondheid hebben. In het huidige onderzoek verwachtten wij dat de perceptie van een verhoogd risico ten gevolge van de gaswinning geassocieerd is met verminderde gezondheid.

2. Veiligheid en gezondheid

In de wetenschappelijke literatuur over rampen wordt veel aandacht besteed aan de gevolgen van rampen voor gezondheid en psychisch welzijn (zie o.m. Ahern, Kovats, Wilkinson, Few, & Matthies, 2005; Baum, Israel, & O'Keeffe, 1992). In vergelijking met de catastrofale rampen waar men normaal gesproken aan denkt bij het woord "natuurramp" (tektonische aardbevingen, overstromingen, etc.) is het te verwachten dat reacties op de situatie in Groningen om twee redenen verschillen: de eerste reden is dat deze aardbevingen het gevolg zijn van gaswinning en dus door menselijk ingrijpen veroorzaakt zijn. De mate waarin een ramp "man-made" is, kan een risicofactor zijn voor gezondheid (o.m. Baum et al., 1992). Hierbij spelen verwijtbaarheid en gevoelens van onrecht een belangrijke rol.

De tweede reden is dat we in feite te maken hebben met een groot aantal kleinere gebeurtenissen die beetje bij beetje optellen tot een ramp, in plaats van een acute (eenmalige) ramp waarbij de catastrofe zich ineens voltrekt. Met andere woorden, er is nog geen grote aardbeving geweest met fatale gevolgen. Bovendien is er geen sprake van een gebeurtenis die direct de gezondheid van bewoners aantast, zoals bijvoorbeeld nucleaire rampen. Veel bestaand onderzoek richt zich juist op dit type catastrofale ramp.

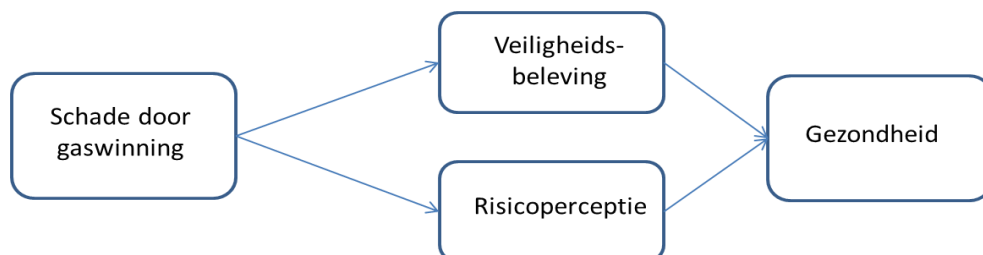
Het chronische karakter van de gaswinning in Groningen brengt echter wel met zich mee dat mensen een verlies van controle kunnen ervaren. Het is immers onzeker of er een grote klap zal komen en wat toekomstige maatregelen met betrekking tot gaswinning zullen zijn. Wanneer we nagaan of bewoners van het gaswinningsgebied gezondheidsklachten hebben is het daarom belangrijk om na te gaan hoe zij de gaswinning waarnemen – zijn er grote gevoelens van onveiligheid en neemt men risico's op een catastrofe serieus?

In ons onderzoek bestuderen wij veiligheidsbeleving en risicoperceptie los van elkaar, alhoewel deze twee concepten uiteraard veel gemeen hebben. Risico is concreet toegespitst op probabiliteiten (kansen) op materiële schade en lichamelijk letsel door bevingen. Veiligheid is de subjectieve impact daarvan op het veiligheidsgevoel binnenshuis. Het lijkt ons nuttig om deze twee van elkaar te scheiden. Waargenomen risico betreft immers een concrete toekomstverwachting aangaande mogelijk gevaar. Veiligheid is een diffusere subjectieve uitkomst waarin naast risico ook andere zaken een rol kunnen spelen: vertrouwen in instanties, (sociaal) kapitaal, weerbaarheid, etc. (zie bijvoorbeeld Mileti & Darlington, 1995). Risico gaat over kansen op een uitkomst.

Veiligheidservaring gaat over de mate waarin het individu een probleem ervaart.⁵

De ervaren veiligheid en risicoperceptie zijn niet alleen belangrijke uitkomsten op zich, ze kunnen ook nadelige 'gevolgen' hebben voor de gezondheid. Om deze reden bestuderen we in het huidige onderzoek de relaties tussen het meemaken van de gaswinning, gevoelens van veiligheid, perceptie van risico en gezondheid. We operationaliseren het 'meemaken van' gaswinning als de mate waarin mensen schade hebben aan hun eigen huis. Vervolgens bestuderen we in hoeverre schade via veiligheidsbeleving en risicoperceptie nadelige gevolgen heeft voor gezondheid.

We geven dit in onderstaand model weer.



Dit houdt in dat ons onderzoek ingaat op de volgende vragen:

1. In hoeverre heeft de gaswinning een impact op de ervaren veiligheid van bewoners van het gaswinningsgebied in de provincie Groningen?
2. Welke gevolgen heeft de gaswinning voor de risicopercepties van bewoners van het gaswinningsgebied in de provincie Groningen?
3. Zijn er gevolgen van de gaswinning voor de (psychische) gezondheid van bewoners van de provincie Groningen?
4. Zijn de gevolgen van de gaswinning op gezondheid te verklaren door verminderde gevoelens van veiligheid en verhoogde risicopercepties?

3. Opzet van het onderzoek

De studie die we in dit paper beschrijven is deel van een langlopend onderzoek in samenwerking met de GGD Groningen en Onderzoek en Statistiek van de gemeente Groningen rondom de onderwerpen toekomstperspectief, gezondheid, veiligheidsbeleving en risicoperceptie (zie www.groningsperspectief.nl). Het onderzoek vindt plaats in opdracht van de Nationaal Coördinator Groningen. Het is een onafhankelijk onderzoek dat wordt begeleid door een breed samengestelde commissie bestaand uit instanties die in het gebied 'werkzaam' zijn, zoals de Nationaal Coördinator Groningen, de Groningse gemeenten, de provincie Groningen, de Veiligheidsregio, de GGD Groningen en vertegenwoordigers van maatschappelijke organisaties (de Vereniging Groninger Dorpen, de Groninger Bodem Beweging), alsmede wetenschappelijk experts. Daarnaast hebben we een klankbordgroep samengesteld van bewoners die zeer actief meedenkt over de opzet van het onderzoek. Een belangrijk doel van ons onderzoek is kennisdeling, zowel met wetenschappers, als met bewoners en beleidsmakers.

In dit onderzoek vragen we bewoners uit de hele provincie Groningen naar onder andere veiligheidsbeleving, risicoperceptie en gezondheid. Dit betekent dat we zowel een groep bewoners kunnen onderscheiden die te maken heeft met gevolgen van de gaswinning, alsmede een vergelijkbare controlegroep die hier niet mee te maken heeft. In veel onderzoek naar rampen (en in eerder onderzoek naar de effecten van gaswinning in Groningen) ontbreekt een dergelijke controlegroep (e.g., Baum & Fleming, 1993).

3.1 Methode

Deelnemers en procedure

Voor dit onderzoek is een bewonerspanel samengesteld door middel van een gestratificeerde *random* steekproef uit de Basisregistratie Personen van alle 23 gemeenten van de provincie Groningen onder inwoners van 16 jaar en ouder. Bij het selecteren van bewoners is er rekening mee gehouden dat

⁵ In het huidig onderzoek bevestigt de correlatie tussen risico en veiligheidsbeleving inderdaad dat het om gerelateerde maar niet-identieke concepten gaat: $r=.55$

het onderzoek een goede afspiegeling wil geven van de verschillen tussen gebieden in de hele provincie. Daarom zijn er relatief meer uitnodigingen verstuurd naar bewoners in dunbevolkte post-codegebieden. Mensen die niet beschikten over (voldoende snel) internet ontvingen een schriftelijke vragenlijst. In totaal deden 3927 deelnemers (1944 mannen, 1834 vrouwen, 149 missing; gemiddelde leeftijd= 56,5 jaar, *range* = 16-93 jaar) aan het onderzoek mee. Dat is een response rate van 16% - vergelijkbaar met soortgelijke onderzoeken.

Variabelen

Blootstelling aan schade door aardbevingen is gemeten door te vragen naar de hoeveelheid *aardbevingsschade*: “heeft u aardbevingsschade gehad?”. De antwoordmogelijkheden waren “nee”, “ja, 1 keer”, “ja, meerdere keren” of “weet niet”. Om te zien of deze zelfrapportage overeenkomt met de hoeveelheid door Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM) en het Centrum voor Veilig Wonen (CVW; hier wordt tegenwoordig schade gemeld) geregistreerde schade hebben we de correlatie tussen de hoeveelheid geregistreerde schade in het postcodegebied en de gerapporteerde schade door respondenten berekend. We vonden een correlatie van $r=.79$. Dit geeft aan dat er een sterk verband is tussen de “objectieve” indicatoren van schade zoals die door het CVW worden bijgehouden en de zelfgerapporteerde schade in deze steekproef.

Veiligheid werd met de volgende vraag gemeten: “Hoe veilig heeft u zich de afgelopen vier weken gevoeld op de plek waar u woont - in verband met de gaswinning?”. Antwoordcategorieën varieerden van 1 (zeer onveilig) tot 5 (zeer veilig).

Risicoperceptie werd via drie items gemeten die afgeleid zijn uit onderzoek van Terpstra (2011), namelijk: “In het geval van toekomstige aardbevingen: hoe groot schat u de kans dat...” gevolgd door de items: “...u deze aardbevingen zelf meemaakt”, “...uw eigendommen worden beschadigd als gevolg van de gaswinning?” en “...u verwond zult raken als gevolg van een aardbeving?” (1=zeer kleine kans, 5=kans is zeer groot). Omdat de items hoog met elkaar correleerden, zijn ze samengevoegd tot één maat ($\alpha=.85$).

Gezondheid is gemeten door te vragen naar ervaren gezondheid (“Hoe is over het algemeen uw gezondheid?” met antwoordmogelijkheden 1 = zeer slecht tot 5 = zeer goed). Bovendien stelden we vragen over psychosomatische gezondheid, met name een maat van psychisch welbevinden, de Mental Health Inventory5 item schaal (MHI-5; bijv. “voelde u zich neerslachtig en somber?” en “voelde u zich gelukkig?” (gehercodeerd); scores tussen de 0-100 waarbij een score lager dan 60 aangeeft dat iemand psychisch ongezond is) en stress-gerelateerde gezondheidsklachten (bijv. hartkloppingen, slaapproblemen, hoofdpijn; met antwoordmogelijkheden van 1 = nooit tot 6 = voortdurend hadden in de afgelopen 4 weken). In aanvulling op deze stress-gerelateerde klachten voegden we een niet-stress-gerelateerde klacht als controlevraag toe. Op deze controlevraag verwachtten we geen toename in klachten.

4. Resultaten

Aardbevingsschade

Het overzicht van de verschillende schade categorieën laat zien dat deze groot genoeg zijn om onderlinge vergelijkingen te kunnen maken (zie Tabel 1).

tabel 1: Overzicht van aantallen respondenten zonder schade, met één keer schade, met meerdere keren schade en respondenten die niet weten of ze schade hebben.

N respondenten	
Nee	1456
Ja, 1 keer	904
Ja, meerdere keren	1044
Weet ik niet	345
Totaal	3749

Invloed van schade op ervaren veiligheid

In deze analyses onderzochten we in hoeverre het hebben van aardbevingsschade geassocieerd is met een vermindering van ervaren veiligheid. Om deze relatie te toetsen voerden we een logistische regressie uit met schade (geen, enkelvoudig, meervoudig) op veiligheid. Wanneer we kijken naar de gemiddelde scores op ervaren veiligheid, dan zien we dat zowel mensen met enkelvoudige en, in nog sterkere mate, met meervoudige schade zich minder veilig voelen (zie Tabel 2). Uit deze resultaten kunnen we afleiden dat het hebben van één keer schade, ten opzichte van geen schade, gepaard gaat met een aanzienlijk lager veiligheidsgevoel. Het hebben van meervoudige schade ten opzichte van geen of één keer schade, gaat gepaard met een zeer sterke aantasting van de veiligheidsbeleving. Schade verklaart 15% variantie van ervaren veiligheid.

tabel 2. De relatie tussen schade en risicoperceptie

	<i>Ervaren veiligheid (gemiddelden)</i>	<i>Standaard Error</i>	<i>T-waarde: Verschil ten opzichte van geen schade</i>
Geen schade	4.10	.02	
Enkelvoudige schade	3.66	.04	-11.84***
Meervoudige schade	3.21	.04	-27.74***

*** $p < .001$;

Andere factoren die ervaren veiligheid beïnvloeden

Naast schade door bevingen kan de ervaren veiligheid negatief worden beïnvloed door andere factoren. Zo kan de ervaren veiligheid van bepaalde bevolkingsgroepen lager zijn (ouderen, vrouwen, lager opgeleiden, etc.). Ook kan het gevoel van veiligheid worden verminderd doordat men veel last ondervindt van de schadeafhandeling, door slechte verhoudingen in de buurt, doordat de aardbevingsproblematiek als onrechtvaardig wordt ervaren, of doordat men bijzonder gehecht is aan de woonomgeving. Wij hebben onderzocht wat de invloed van 17 verschillende persoonskenmerken op de ervaren veiligheid is (bv. leeftijd, geslacht, opleidingsniveau, gevoelens van onrechtvaardigheid, moeizaamheid schadeafhandeling). Van de onderzochte kenmerken heeft de moeizaamheid van de schadeafhandeling ($R^2 = 0.092$) ook enige invloed op ervaren veiligheid. We concluderen echter dat het hebben van schade veruit de belangrijkste factor is in het aantasten van veiligheid.

Aardbevingsschade en risicoperceptie

In deze analyses onderzochten we in hoeverre het hebben van aardbevingsschade gepaard gaat met een verhoogde risicoperceptie en een grotere waargenomen kans in de toekomst schade aan bezittingen op te lopen of zelf letsel te ondervinden als gevolg van aardbevingen door gaswinning. Om dit te toetsen voerden we een logistische regressie uit met schade (geen, enkelvoudig, meervoudig) op risicoperceptie (voor de gemiddelden zie Tabel 3). Opvallend is dat schade bijzonder veel variantie in risicoperceptie verklaart, namelijk 36% variantie. Wanneer we kijken naar de gemiddelde scores op de samengestelde variabele risicoperceptie (meemaken aardbevingen, beschadiging eigendommen, verwond raken), dan zien we dat zowel mensen met enkelvoudige en, in nog sterkere mate, met meervoudige schade een groter risico waarnemen, oftewel de kans op bovenstaande gebeurtenissen hoger schatten dan mensen die geen schade meemaken ($M_{\text{geen}}=2.02$; $M_{\text{enkel}}=2.96$; $M_{\text{meer}}=3.45$).

Tabel 3. De relatie tussen schade en risicoperceptie

	Risicoperceptie (gemiddelden)	Standaard Error	T-waarde: Verschil ten opzichte van geen schade
Geen schade	2.02	.02	
Enkelvoudige schade	2.96	.04	25.93***
Meervoudige schade	3.45	.04	41.00***

*** $p < .001$;

Ook in deze analyses hebben we gekeken naar mogelijke andere determinanten van risicoperceptie. Hieruit blijkt dat het hebben van schade veruit het meest invloed heeft op risicoperceptie.

Gezondheid

In eerste instantie hebben we bekeken hoe onze resultaten voor gezondheid zich verhouden tot het landelijke gemiddelde en tot eerdere gezondheidsonderzoeken in de provincie Groningen. Om die vergelijking zo goed mogelijk te kunnen maken zijn alle onderstaande resultaten in deze alinea gewogen voor leeftijd, geslacht en gemeente volgens een methodiek die ook bij GGD en andere landelijke onderzoeken gebruikt worden. Hierdoor zijn onze resultaten beter vergelijkbaar met cijfers van GGD en landelijke cijfers.

Wanneer we kijken naar ervaren gezondheid zien we dat 77,4% van de respondenten aangeeft zich gezond of zeer gezond te voelen. Dat is nagenoeg hetzelfde als het landelijk gemiddelde en het Gronings gemiddelde van 2012. Met betrekking tot psychische gezondheid (de MHI-5) zien we dat gemiddeld 10,6% van de respondenten psychisch ongezond is (met een foutenmarge van 1%). Dit is ongeveer hetzelfde als het landelijk gemiddelde van 2014 (gezondheidsenquête CBS). Het is iets hoger dan het Gronings gemiddelde in de periode 2008-11, dat op 8,6% lag (een statistisch significant verschil).

tabel 4: Psychische gezondheid, gesplitst naar opleidingsniveau: scores op MHI-5. De resultaten zijn gewogen voor leeftijd, geslacht en gemeente volgens de GGD methodiek. Ongewogen resultaten zijn nagenoeg identiek.

	Laag	Middel	Hoog	Totaal
Percentage psychisch gezond	0.87	0.87	0.93	0.89
Percentage psychisch ongezond	0.13	0.13	0.07	0.11
Aantal respondenten	783	1305	1502	3590

De vragenlijst bevatte ook vragen over 11 specifieke gezondheidsklachten. Omdat deze schaal specifiek voor dit onderzoek werd samengesteld, kunnen we de antwoorden niet goed vergelijken met andere vragenlijsten.

De relatie tussen schade en gezondheid

De meting van ervaren gezondheid wordt op dezelfde manier behandeld als CBS/RIVM dat doen – dit geeft ons de mogelijkheid resultaten uit ons onderzoek met landelijke cijfers te vergelijken. De gebruikelijke methode is dat mensen die aangeven dat hun gezondheid “goed” of “zeer goed” worden gezien als gezond. Gezondheidsklachten zijn behandeld zoals dat in andere checklists gebruikelijk is (zie o.m. de Haes et al., 1996; Van Sonsbeek, 1996). Antwoorden op de 10 items zijn getransformeerd tot een schaal van 0-100, waarbij 100 volkomen gezond is. Vervolgens werd bepaald dat 65 een redelijke “cutoff” score zou zijn, aan de hand van de verdeling van antwoorden en vergelijking met andere instrumenten zoals de Vragenlijst Onderzoek Ervaren Gezondheid (VOEG) en de Symptoms CheckList (SCL-90). Dit correspondeert met het “vaak” last hebben van 6 van de 10 klachten, het “meestal” hebben van 5 klachten, of het voortdurend last hebben van 4 van de 10. Op basis van deze criteria zijn 3154 van de 3670 personen die deze vragen volledig invulden gezond (84%).

We voerden een logistische regressie uit met schade (geen, enkelvoudig, meervoudig) als voorspeller van het al dan niet gezond zijn. In deze analyses wordt gecontroleerd voor andere factoren die de gezondheid mede kunnen beïnvloeden: geslacht, leeftijd, opleidingsniveau, de mate van stedelijkheid (aantal woonadressen in de onmiddellijke omgeving) en woonsituatie (huur/koop).

De bovenste helft van Tabel 5 geeft inzicht in de verschillen tussen mensen met één keer schade en mensen zonder schade. Voor de meeste variabelen is sprake van een lichte verhoging van de indicatoren van slechte gezondheid. De effecten zijn geen van allen statistisch significant. De onderste helft

van Tabel 5 laat de effecten zien van meervoudige schade en daarin zijn alle effecten significant. Er is een toename van het relatief risico geconstateerd tussen 31% en 85%. De verschillen tussen mensen met en zonder schade zijn grafisch weergegeven in Figuur 1. Deze figuur laat goed zien dat vrijwel alle indicatoren van gezondheid hetzelfde patroon vertonen.

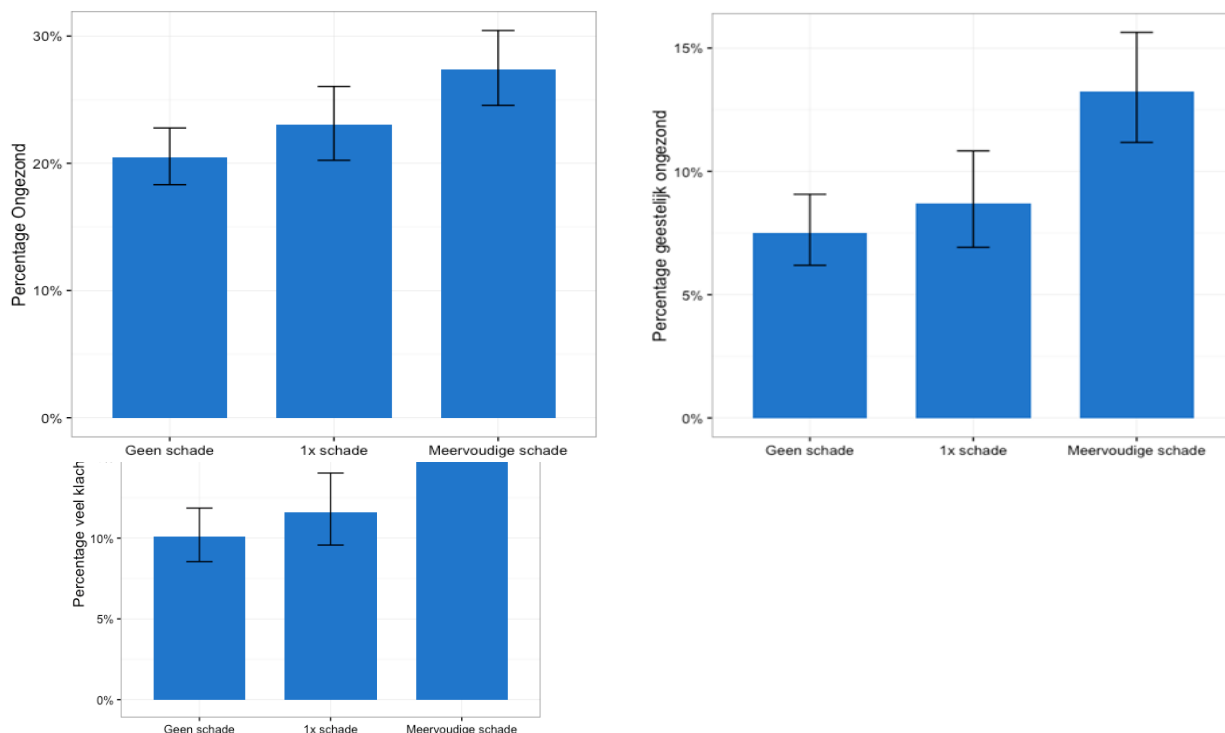
tabel 5: De invloed van 1x schade hebben (t.o.v. geen schade) op de zelfgerapporteerde gezondheid, gecorrigeerd voor invloed van geslacht, leeftijd, opleidingsniveau, stedelijkheid en woonsituatie (huur/koop)

De invloed van 1x schade (in vergelijking met geen schade)				
Gezondheidsindicator	Odds ratio		95% betr. interval	Toename relatief risico¹
<i>Ervaren gezondheid</i>	1.16		0.94; 1.44	12%
<i>Gezondheidsklachten</i>	1.17		0.88; 1.55	14%
<i>Geestelijke gezondheid</i>	1.17		0.85; 1.61	15%
De invloed van meervoudige schade (in vergelijking met geen schade)				
<i>Ervaren gezondheid</i>	1.47	***	1.20; 1.80	31%
<i>Gezondheidsklachten</i>	2.11	***	1.65; 2.72	85%
<i>Geestelijke gezondheid</i>	1.88	***	1.41; 2.51	74%

+ p < .10, * p < .05, ** p < .01, *** p < .001

¹ Het relatief risico is de geschatte verhoging van het risico voor mensen met meervoudige schade aan hun woning, ten opzichte van mensen die geen schade hebben.

Figuur 1: De invloed van schade op de zelfgerapporteerde gezondheid, gecorrigeerd voor invloed van geslacht, leeftijd, opleidingsniveau, stedelijkheid, woonsituatie (huur/koop) en de hoeveelheid schade in de omgeving.



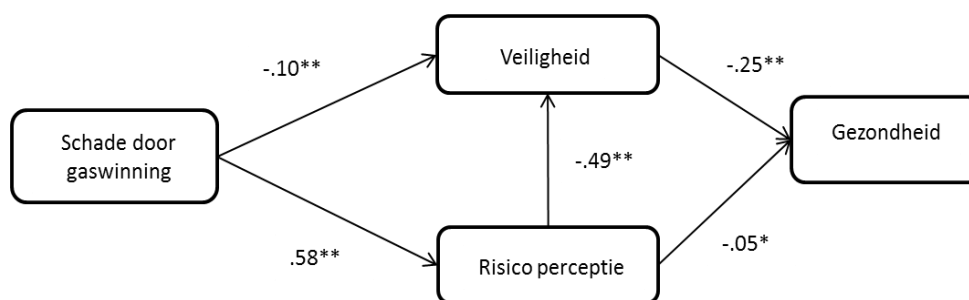
Deze resultaten laten duidelijk zien dat (schade als gevolg van) gaswinning grote gevolgen heeft voor zowel ervaren als psychosomatische gezondheid, met name voor mensen die te maken hebben met meervoudige schade aan hun eigen huis.

De relatie tussen schade, veiligheid, risico, en gezondheid

Tenslotte hebben we ons volledig model getest via Structural Equation Modelling in Lavaan (zie fig. 2). Om een uitspraak te kunnen doen over de model fit hebben we gekeken naar de chi square toets (χ^2), de comparative fit index (CFI), de root mean square of approximation (RMSEA) en de standardized root mean square residual (SRMR). Goede fit tekent zich af wanneer er een niet significante χ^2 is, de χ^2/df ratio ≤ 3 is, een $\text{CFI} \geq .95$, $\text{RMSEA} \leq .08$, $\text{SRMR} \leq .08$ (e.g., Hu & Bentler, 1999). Het model heeft een goede fit, $\chi^2(1) = 3.77$, $p = .052$, $\chi^2/\text{df} = 3.77$, $\text{CFI} = .99$, $\text{RMSEA} = .03$, $\text{SRMR} = .01$.

Het model laat zien dat schade door gaswinning positief gerelateerd is aan risicoperceptie en negatief aan gevoelens van veiligheid. Deze twee processen verlopen niet onafhankelijk van elkaar: schade verhoogt risicopercepties en dat heeft eveneens een negatieve impact op gevoelens van veiligheid. Met name gevoelens van veiligheid, maar ook risico perceptie, zijn geassocieerd met verminderde gezondheid.

figuur 2. Resultaten Structural Equation Model



5. Discussie

Ons onderzoek toont aan dat de gaswinning gepaard gaat met aantasting van zaken die van fundamenteel belang zijn voor het menselijk functioneren: schade gaat ten koste van gevoelens van veiligheid en zelf gerapporteerde gezondheid. Mensen voelen zich onveilig als hun woning aardbevingsschade heeft opgelopen. Wanneer we dit vertalen naar percentages, dan zien we dat, in het geval van bewoners die meervoudige schade aan hun huis hebben ten gevolge van de gaswinning, maar 38% zich veilig voelt (in vergelijking met 80% bij geen schade en 60% bij enkelvoudige schade). Hierbij is belangrijk om op te merken dat het hebben van schade aan het eigen huis veruit de sterkste invloed heeft op gevoelens van (on)veiligheid – ook als we statistisch rekening houden met de mate waarin schadeprocedures stroef lopen (bijv. omdat er een meningsverschil ontstaat met inspecteurs of omdat het herstel van schade moeizaam verloopt). De effecten van schade op de ervaren veiligheid blijven fors, ongeacht voor welke bijkomende factor we corrigeerden. Dit geeft aan dat het herstel van de ervaren veiligheid een omvangrijke taak is. Ook zijn bewoners bijzonder kwetsbaar wat betreft gezondheid: naarmate mensen meer schade hebben zien we meer gezondheidsklachten en een minder goede geestelijke gezondheid. Bovendien constateren we dat deze effecten fors zijn, ook in vergelijking met andere vormen van omgevingsrisico's (bijv. Schiphol, zie Franssen, van Wiechen, Nagelkerke, & Lebrecht, 2004).

Op basis van de resultaten concluderen wij dat het zeer waarschijnlijk is dat er een oorzakelijk verband is tussen schade en de beschreven gevolgen voor gezondheid. De negatieve effecten van schade treden met name op bij mensen die meervoudige schade hebben. Dit biedt een duidelijke indicatie welke personen het hoogste risico lopen. Ook zien we dat de effecten van schade op gezondheid sterk samenhangen met gevoelens van onveiligheid: bewoners die meer schade hebben voelen zich minder veilig. Die verminderde veiligheid is gerelateerd aan een slechte gezondheid: bewoners met meervoudige schade hebben een grotere kans om ongezond te zijn

dan bewoners van de provincie die geen schade aan hun huis hebben. Een gebrek aan veiligheidsgevoel speelt hierin een belangrijke rol.

Hiermee geeft ons onderzoek duidelijk aan dat er reden is tot zorg omtrent de maatschappelijke gevolgen van de gaswinning in Groningen. Maar de resultaten bieden ook aanknopingspunten voor mogelijke oplossingen. Er zijn op dit moment veel partijen die zich in de provincie Groningen in meer of mindere mate met de gevolgen van de gaswinning bezighouden, zoals de lokale en landelijke overheid, lokale instanties (Veiligheidsregio, GGD, Nationaal Coördinator Groningen). Ook bewoners kunnen actie ondernemen als het gaat om het verbeteren van hun leefomgeving en omgaan met gevoelens van onveiligheid. In het volgende stuk omschrijven we deze aanknopingspunten.

Ervaren veiligheid

Als we de resultaten van het onderzoek vertalen naar de mogelijke oplossingen voor bewoners dan kun je die zoeken in de preventie van schade of in maatregelen die de negatieve gevolgen van schade verzachten. Gezien het feit dat schade een direct en sterk effect op veiligheidsbeleving heeft, denken wij op basis van onze resultaten dat reparatie achteraf en verzachtende maatregelen het geschonden gevoel van veiligheid wellicht niet afdoende kunnen herstellen. De meest directe maatregel die effectief zou zijn is om *schade te voorkomen*. Dat houdt in dat een verbetering van de ervaren veiligheid optreedt als het aantal schadegevallen in de toekomst afneemt. Dit betekent immers dat mensen minder worden aangetast in de ervaren veiligheid doordat ze minder (en minder direct) worden geconfronteerd met schade aan hun huis of in hun woonomgeving. Daarnaast kan het belangrijk zijn om maatregelen te ontwikkelen die, met het oog op de situatie zoals nu gegeven (er wordt gas gewonnen en het is onzeker wanneer en of de gaswinning daalt), ingaan op punten die bewoners kwetsbaar maken of waarin bewoners kwetsbaar blijken: veiligheidsbeleving en stress-gerelateerde gezondheid. Deze lichten we hieronder toe.

De resultaten van het eerste onderzoek bieden nog geen solide inzichten hoe de ervaren veiligheid verbeterd kan worden. We kunnen op dit punt wel enkele suggesties aandragen wat mogelijk effectief zou kunnen zijn, deels op basis van onze onderzoeksresultaten, deels op basis van de relevante onderzoeksliteratuur. Hierbij maken we onderscheid tussen aanpak door instanties, overheden en bewoners.

Het lijkt ons verstandig als verantwoordelijke instanties de *procedures rondom schademelding* goed tegen het licht houden: wellicht zijn verbeteringen mogelijk die de gevoelens van veiligheid van bewoners kunnen vergroten. Naast aandacht voor de technische kant van de schadeprocedure (bijv. rond de taxatie en financiële compensatie voor schade), is het belangrijk dat er aandacht besteed wordt aan de bewoner zelf: voelt iemand zich onveilig in zijn huis, zijn er redenen om te denken dat deze bewoner kwetsbaar is? Gezien het wankel vertrouwen in instanties is het verstandig de onafhankelijkheid van de partijen die in de procedures een rol hebben, te waarborgen.

Meer algemeen geldt dat, afgaand op de onderzoeksliteratuur over dit onderwerp, de ervaren veiligheid hoger is naarmate overheden zichtbaar en tastbaar zorg dragen voor veiligheid (Wein, Willems, & Rouwette, 2016). Uit ons eigen onderzoek blijkt dat de onveiligheid die mensen ervaren sterk samenhangt met een verminderd gevoel van controle over het eigen leven en met onzekerheid over de toekomst. Op basis van de onderzoeksliteratuur suggereren wij dat die onzekerheid afneemt als betrouwbare bronnen duidelijkheid verschaffen over de risico's van de gaswinning (waarbij een probleem is dat vertrouwen diep is geschonden en dat onafhankelijke kennis schaars is). Open communiceren over risico's, gevaren en onzekerheden zal geen "paniek" veroorzaken. Het preventief voorbereiden op een catastrofale ramp evenmin. In tegendeel: onderzoek suggereert dat het nalaten van noodzakelijke voorbereiding en het verbloemen van risico's en gevaren aanjagers kunnen zijn voor maatschappelijke onrust, geruchten en wantrouwen (Drury, 2012; Glass & Schoch-Spana, 2002; Mawson, 2015; Seeger, 2006).

Bij het verbeteren van ervaren veiligheid kunnen ook bewoners zelf een rol spelen, bijvoorbeeld door het nemen van *preventieve maatregelen* om hun eigen veiligheid te vergroten. Te denken valt aan het vastzetten van losstaande grote objecten in huis zoals kasten, of het vergroten van kennis over hoe te handelen bij een grotere beving. Medewerkers van bedrijven en bewoners zouden dus moeten worden gestimuleerd om weerbaar en zelfredzaam te zijn. De Veiligheids-

regio beschikt over een Risicowijzer waarin staat hoe te handelen bij een beving. Deze kan beter onder de aandacht gebracht worden. Betrokkenheid van bewoners en bedrijven bij oefeningen kan een nuttig instrument zijn om bewustzijn en zelfredzaamheid te verhogen. Immers, uit de risicoperceptie literatuur blijkt dat het helder en duidelijk voorlichten over risico's leidt tot grotere weerbaarheid en voorbereidheid, en niet, zoals vaak gevreesd, tot grotere zorg over de risico's (bijv. Wachinger et al., 2013). Bij deze zaken kunnen instanties en diensten als Veiligheidsregio, bewonersbegeleiders en "schade-experts" een belangrijke rol spelen. Om het draagvlak voor dit soort maatregelen te vergroten is het goed om op zoek te gaan naar manieren om preventie met bewoners samen te organiseren⁶.

Gezondheid

Ons onderzoek laat zien dat slechtere gezondheid verband houdt met gevoelens van onveiligheid van bewoners. Het herstel van ervaren veiligheid kan de gezondheid dan ook ten goede komen. De mogelijkheden om de ervaren veiligheid te herstellen zijn hierboven besproken. Daarnaast zijn er een aantal verzachtende maatregelen die genomen kunnen worden om degenen die kwetsbaar zijn, of zouden kunnen zijn, te ondersteunen. Hierbij maken we wederom onderscheid tussen wat bewoners zelf kunnen doen, wat instanties kunnen doen en wat (landelijke) overheden kunnen doen. Op basis van de onderzoeksresultaten kunnen wij niet concluderen welke maatregelen effectief zullen zijn, maar op basis van inzichten uit ons eigen onderzoek en de literatuur kunnen we wel een aantal aanbevelingen ter overweging meegeven.

Bewoners zelf kunnen alert zijn op het welzijn van anderen in hun omgeving en *klachten signaleren*. Voor bewoners die klachten hebben kan het moeilijk zijn om toe te geven dat men hulp nodig heeft – het gaat immers niet om klachten zoals een gebroken been of een longontsteking, waarbij duidelijk hulp nodig is. Bewoners kampen bijvoorbeeld met depressieve klachten, spanningen en slapeloosheid. Daarom kan het belangrijk zijn om in de communicatie erop te wijzen dat het normaal en wenselijk is om ook bij dit type klachten een vorm van hulp te zoeken.

Lokale instanties kunnen onder andere *voorlichting geven* over hoe om te gaan met gezondheidsklachten en waar hulp te zoeken. Zo heeft de GGD Groningen bijvoorbeeld een campagne opgezet die voorlichting geeft over hoe goed om te gaan met spanningen ten gevolge van de gaswinning en is voor huisartsen/hulpverleners en burgers een praktische folder ontwikkeld (<https://ggd.groningen.nl/ghor/kop-d-r-veur/view>). Hiernaast is het belangrijk om een goed *signaleringssysteem* te ontwikkelen: het huidige onderzoek geeft immers aan wie er in het bijzonder kwetsbaar zijn voor gezondheidsklachten (mensen met meervoudige schade). Hierbij zou men tevens kunnen inventariseren of de gang naar hulpverleners (huisarts, maatschappelijk werker, psycholoog) voldoende laagdrempelig is, ook financieel gezien. Instanties in het "middenveld" (kerkelijke groepen, sportclubs, scholen, jeugdwerkers, financieel adviseurs of seniorenbegeleiders) kunnen een belangrijke rol spelen bij het signaleren van klachten en het zoeken naar mogelijke oplossingen. Datzelfde geldt uiteraard voor professionele instanties die zich met aardbevingskwesaties bezighouden, zoals NCG bewonersbegeleiders.

Er zijn tevens preventieve maatregelen die overwogen kunnen worden om stress te reduceren. Respondenten geven aan dat de schadeprocedure (om uiteenlopende redenen waaronder onenigheid over schadetaxaties en de hoeveelheid "gedoe" bij het doorlopen van een schadeprocedure) stressvol kan zijn. Ook de bouwwerkzaamheden, waardoor het soms nodig is om de eigen woning (al is het maar voor korte tijd) te verlaten, kan spanning veroorzaken. Goede begeleiding in dergelijke situaties kan mogelijk klachten helpen te voorkomen.

De landelijke overheid kan bijdragen door te garanderen dat zorg voldoende en laagdrempelig is. We kunnen met dit onderzoek niet vaststellen in hoeverre er daadwerkelijk problemen zijn met toegankelijkheid van zorg, maar het lijkt ons verstandig om te onderzoeken of hier sprake van is en, zo ja, of dit verholpen kan worden.

⁶ Het initiatief van de veiligheidsregio om op scholen en met scholen te werken aan aardbevingsbestendigheid is hier een mooi voorbeeld van.

Tot slot

Zoals een bewoner schetste, geeft ons onderzoek duidelijk aan waar de pijn zit. Op het gebied van veiligheid en gezondheid kan er in het gaswinningsgebied nog veel verbeterd worden. Onmiskenbaar bevat dit onderzoek enkele zeer zorgelijke signalen: schade door gaswinning gaat gepaard met een sterke afname van veiligheidsbeleving en een toename van gezondheidsklachten. Toch blijkt uit andere delen van het onderzoek, hier niet gerapporteerd, dat er ook positieve punten zijn. Zo wonen mensen graag in de provincie Groningen; ze zijn zeer tevreden over hun woonomgeving. Deze tevredenheid is hoog, ongeacht of men in het gaswinningsgebied woont. Ook waarderen de bewoners de saamhorigheid in het gebied (sociale cohesie genoemd), en zien we dat mensen die meer sociale cohesie ervaren iets minder kwetsbaar zijn qua gezondheid. Dit zijn belangrijke fundamenten om op te bouwen – samen met bewoners. Wij als onderzoekers hopen dat onze resultaten en aanbevelingen ook vruchtbaar zullen blijken voor bewoners, instanties, lokale en landelijke overheden.

Verwijzingen

- Ahern, M., Kovats, R. S., Wilkinson, P., Few, R., & Matthies, F. (2005). Global health impacts of floods: Epidemiologic evidence. *Epidemiologic Reviews*, 27, 36-46.
- Baum, A., Israel, A., & O'Keeffe, M. K. (1992). Symptoms of chronic stress following a natural disaster and discovery of a human-made hazard. *Environment and Behavior*, 24(3), 347-365.
- Baum, A., & Fleming, I. (1993). Implications of psychological research on stress and technological accidents. *American Psychologist*, 48(6), 665-672.
- Boelhouwer, P., Boumeester, H., Groetelaers, D., Hoekstra, J., van der Heijden, H., Jansen, S., . . . Ringersma, R. (2016). Woningmarkt en leefbaarheidsonderzoek in het aardbevingsgebied groningen (housing market and liveability in the groningen earthquake region). Retrieved from https://www.slochteren.nl/data/nieuws-website/_XA310142015263987DEAAE301A392597/1.%20Woningmarkt-%20en%20leefbaarheidsonderzoek%20aardbevingsgebied%20Groningen.pdf?dc=1453374070250
- Commissie Duurzame Toekomst Noord-Oost Groningen (2013). Vertrouwen in een duurzame toekomst. Retrieved from: http://www.provinciegroningen.nl/actueel/nieuws/nieuwsbericht/_nieuws/toon/Item/commissie-meijer-aardbevingsgebied-recht-op-extra-maatregelen/
- De Haes, J. C. J. M., Olschewski, M., Fayers, P., Visser, M. R. M., Cull, A., Hopwood, P., & Sanderma, R. (1996). *Measuring the quality of life of cancer patients with the Rotterdam Symptom Check List (RSCL): A manual*. Northern Centre for Health Care Research (NCH). The Netherlands: University of Groningen.
- Drury, J. (2012). Collective resilience in mass emergencies and disasters. In: S.A. Haslam, J. Jetten, & C. Haslam (Eds.). *The social cure: Identity, health and well-being* (pp. 195-210). Psychology Press.
- Drury, J., Cocking, C., & Reicher, S. (2009). Everyone for themselves? A comparative study of crowd solidarity among emergency survivors. *British Journal of Social Psychology*, 48(3), 487-506.
- Franssen, E. A. M., Van Wiechen, C. M. A. G., Nagelkerke, N. J. D., & Lebrecht, E. (2004). Aircraft noise around a large international airport and its impact on general health and medication use. *Occupational and environmental medicine*, 61(5), 405-413.
- Glass, T. A. & Schoch-Spana, M. (2002). Bioterrorism and the people: How to vaccinate a city against panic. *Clinical Infectious Diseases*, 34, 217-223.
- Havenaar, J. M., De Wilde, E. J., Van Den Bout, J., Drottz-Sjöberg, B. M., & Van Den Brink, W. (2003). Perception of risk and subjective health among victims of the Chernobyl disaster. *Social science & medicine*, 56(3), 569-572.
- Hoekstra, E., Perlaviciute, G., & Steg, E. (2015). Uw mening over gaswinning uit het groningen-gasveld: Onderzoeksresultaten fase 1, 2, en 3.. Retrieved from:

[http://www.rug.nl/research/portal/publications/uw-mening-over-gaswinning-uit-het-groningengasveld\(87d45f79-9469-41e0-a1a2-c05976146840\).html](http://www.rug.nl/research/portal/publications/uw-mening-over-gaswinning-uit-het-groningengasveld(87d45f79-9469-41e0-a1a2-c05976146840).html)

- Houthuijs, D. J., & Van Wiechen, C. M. A. G. (2006). Monitoring van gezondheid en beleving rondom de luchthaven Schiphol. RIVM Rapport 630100003.
- Hu, L. T., & Bentler, P. M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Structural equation modeling: a multidisciplinary journal*, 6(1), 1-55.
- Kawachi, I., Subramanian, S. V., & Kim, D. (2008). Social capital and health. In *Social capital and health* (pp. 1-26). Springer New York.
- Mawson, A. R. (2005). Understanding mass panic and other collective responses to threat and disaster. *Psychiatry*, 68, 95-113.
- Mileti, D.S., & Darlington, J. DeRouen (1995). Societal response to revised earthquake probabilities in the San Francisco Bay Area. *International Journal of Mass Emergencies and Disasters*, 13, 119-145.
- Onderzoeksraad voor Veiligheid (2015). Aardbevingsrisico's in groningen. onderzoek naar de rol van veiligheid van burgers in de besluitvorming over de gaswinning (1959-2014). doi: <http://www.onderzoeksraad.nl/en/onderzoek/1998/earthquake-risks-in-groningen>
- Terpstra, T. (2011). Emotions, trust, and perceived risk: Affective and cognitive routes to flood preparedness behavior. *Risk Analysis*, 31(10), 1658-1675.
- Seeger, M. W. (2006). Best practices in crisis communication: An expert panel process. *Journal of Applied Communication Research*, 34(3), 232-244.
- Van Sonsbeek, J.L.A. (1996). *Vertel me wat er aan scheelt: betekenis en methodische aspecten van enquêtevragen naar de gezondheid*. Den Haag: CBS, 1996.
- Wachinger, G., Renn, O., Begg, C., & Kuhlicke, C. (2013). The risk perception paradox—implications for governance and communication of natural hazards. *Risk Analysis*, 33(6), 1049-1065.
- Wein, B., Willems, R., & Rouwette, E. (2016). Sociaalpsychologische impactfactoren bij rampen, crises & aanslagen: Een literatuurstudie naar impactverhogende en -verlagende factoren. Den Haag: Wetenschappelijk Onderzoeks- en Documentatie Centrum.



Juridisch actueel

E. (Esther) M. Broeren ¹

J.H.K.C. (Christiaan) Soer ²

rubriek

Nogmaals flexibiliteit in bestemmingsplannen

De zaak over het bestemmingsplan Lage Weide (AbRvS 29 juni 2016, ECLI:NL:RVS:2016:1814) past in de lijn van de jurisprudentie die wij al eerder in Ruimtelijke Veiligheid bespraken (Externe veiligheid en flexibiliteitsbepalingen: bekende materie, in: Ruimtelijke Veiligheid, 2013, 10). Met deze recente uitspraak blijkt maar weer dat de vraag nog steeds actueel is op welk moment aan de regels voor externe veiligheid moet worden getoetst: bij het vaststellen van het moederplan of het vaststellen van het uitwerkings-, wijzigings- of ontheffingsbesluit (omgevingsvergunning)? Wij wezen toen op de uitspraak van de Afdeling van 28 mei 2008 (ECLI:NL:RVS:BD2641), waarin werd geoordeeld dat het voldoende was wanneer in het moederplan (globaal) wordt aangetoond dat er reële uitwerkingen mogelijk zijn binnen de externe veiligheidsnormen. Daarnaast is van belang dat de Afdeling over wijzigingsbevoegdheden in een zaak uit 2012 (ECLI:NL:RVS:BW1596) vaststelde dat *“met het bestaan van de wijzigingsbevoegdheid in het bestemmingsplan de aanvaardbaarheid van de nieuwe bestemming binnen het gebied waarop de wijzigingsbevoegdheid betrekking heeft in beginsel als een gegeven mag worden beschouwd, indien is voldaan aan de bij het bestemmingsplan gestelde wijzigingsvoorwaarden. Dit betekent dat het niet in overeenstemming is met een goede ruimtelijke ordening om in een bestemmingsplan een wijzigingsbevoegdheid op te nemen waarvan reeds bij de vaststelling van het plan aannemelijk is dat deze niet uitvoerbaar is.”*

Het bestemmingsplan bevatte een binnenplanse ontheffingsmogelijkheid voor Bevi-inrichtingen, mits deze de 10⁻⁶-contour voor het plaatsgebonden risico (of de daarmee corresponderende vaste afstand) binnen het bouwperceel van de Bevi-inrichting is gelegen of daarbuiten uitsluitend op gronden met de bestemming Groen, Verkeer, Verkeer-Verblijfsgebied of Water (binnen de gemeente Utrecht). Daarnaast moet het groepsrisico kunnen worden verantwoord en als aanvaardbaar beschouwd kunnen worden.

De Afdeling overweegt nu dat indien de raad in een nieuw plan ontwikkelingen mogelijk wil maken met toepassing van een afwijkingsbevoegdheid, de raad bij de vaststelling daarvan deze afwijkingsbevoegdheid zal moeten beoordelen. Bij algemene afwijkingsbevoegdheden die geen betrekking hebben op specifieke locaties, zoals hier het geval is, kan de raad volstaan met een afweging of deze in het algemeen op een ruimtelijk aanvaardbare wijze kunnen worden toegepast. Hierbij neemt de Afdeling in aanmerking dat belanghebbenden tegen de toepassing van deze afwijkings- en wijzigingsbevoegdheden rechtsmiddelen kunnen aanwenden.

In het onderzoek naar de externe veiligheid, dat op 18 april 2014 is opgesteld en aan het plan ten grondslag is gelegd, is onder meer vermeld dat er op dit moment twee bedrijven in het plangebied aanwezig zijn die onder het Bevi vallen. Voor deze twee bedrijven is het plaatsgebonden risico berekend en is het groepsrisico verantwoord. In het onderzoek is evenwel niet ingegaan op de mogelijkheid om na afwijking van het plan nieuwe Bevi-inrichtingen toe te staan. De Afdeling is gelet hierop van oordeel dat de raad bij het opnemen van de afwijkingsbevoegdheid niet heeft afgewogen of deze in het algemeen op een ruimtelijk aanvaardbare wijze kan worden toegepast. De Afdeling oordeelt dat het plan in zoverre is vastgesteld in strijd met artikel 3:2 van de Awb.

¹ ELEMENT Advocaten e.broeren@element-advocaten.nl

² Royal HaskoningDHV christiaan.soer@rhdhv.com

LPG-Tankstation: doorzet, personendichtheid en alternatieven

LPG tankstations blijven voor een constante stroom van interessante jurisprudentie zorgen. Zo ook de zaak over het bestemmingsplan Benzineservicestation Lorentzstraat/A7 (AbRvS 8 juni 2016, ECLI:NL:RVS:2016:1588).

In de eerste plaats ligt de maximale doorzet van het tankstation nergens vast, noch in planregels, noch in omgevingsvergunning (nog niet verleend), maar wordt daar in de planregels wel van uitgegaan. De Afdeling overweegt dat het plan niet overeenkomt met de bedoeling van de raad, waardoor het in zoverre in strijd is met artikel 3:2 Awb. De Afdeling treft vervolgens zelf een voorziening en legt de maximale doorzet van 999 m³ per jaar in de planregels vast.

Voor wat betreft de personendichtheid in verband met de groepsrisicoverantwoording was het volgende aan de orde. Ten tijde van de vaststelling van het plan was (inmiddels) van rechtswege een omgevingsvergunning verleend voor het gebruiken van een pand voor horeca in de vorm van een restaurant met nevenfuncties. Deze gebruiksfunctie was niet meegenomen in het externe veiligheidsonderzoek, dat voor het moment waarop die vergunning van rechtswege werd verleend, was afgerond. De Afdeling overweegt dat gelet daarop de raad bij de berekening van het groepsrisico is uitgegaan van een te lage personendichtheid en niet alle relevante feiten en gegevens met betrekking tot het groepsrisico bij het plan heeft betrokken. Het bestreden besluit is ook op dit punt niet met de vereiste zorgvuldigheid voorbereid. Omdat succesvol rechtsmiddelen tegen de vergunning zijn aangewend en deze na vaststelling van het plan van de baan is, laat de Afdeling wat dit betreft de rechtsgevolgen in stand.

Ten slotte wordt door appellanten aangevoerd dat de raad alternatieve locaties voor het tankstation had moeten onderzoeken. De Afdeling toetst dit terughoudend, en overweegt dat zij in hetgeen appellanten hebben aangevoerd geen aanleiding ziet voor het oordeel dat de raad bij afweging van de betrokken belangen niet in redelijkheid voor onderhavige locatie voor het beoogde benzineservicestation heeft kunnen kiezen.

Groepsrisico: personendichtheid en borging maatregelen

In de zaak over het bestemmingsplan 'Manege aan de Dorpsstraat Bronneger' staat het groepsrisico centraal, in het bijzonder de gehanteerde personendichtheid en de borging van maatregelen (AbRvS 18 mei 2016, ECLI:NL:RVS:2016:1359). Hiervoor bleek al dat tussen de ter inzagelegging van het ontwerp en de vaststelling veranderingen kunnen optreden, die maken dat niet zomaar van het externe veiligheidsonderzoek kan worden uitgegaan dat bij het ontwerpplan ter inzage lag. In deze zaak wordt de verandering door het plan zelf veroorzaakt. Blijkens het EV-onderzoek is voor de berekening (personendichtheid) van het groepsrisico vanwege de aardgasleidingen, uitgegaan van het voorontwerp-bestemmingsplan.

De Afdeling stelt vast dat het vastgestelde plan is gewijzigd ten opzichte van het voorontwerpplan. Het parkeerterrein en evenemententerrein waar overnachten in een mobiel kampeermiddel is toegestaan gedurende de dagen dat een concours hippique en een menwedstrijd plaatsvinden, zijn niet meegenomen bij het bepalen van de personendichtheid. De raad heeft gelet hierop niet alle relevante feiten en gegevens met betrekking tot het groepsrisico bij het plan betrokken, waardoor het bestreden op dit punt onzorgvuldig voorbereid.

Daarnaast voeren appellanten aan dat de gemeente de overeenkomst met WMD voor het gebruik van ondergrondse brandkranen heeft opgezegd. Nu zij deze stelling niet nader hebben onderbouwd (waarover verderop in de bijdrage meer), is daarmee niet aannemelijk gemaakt dat niet kan worden voldaan aan het advies van de brandweer ten aanzien van primair bluswater en dat het brandveiligheidsaspect in zoverre in de weg staat aan het plan.

Infrastructuur: mist, buisleidingen en snelheidsverhoging

Dat het voorkomen van mist ook tot discussie over externe veiligheid kan leiden, blijkt uit de zaak over het provinciaal inpassingsplan (PIP) 'Nieuwe Verbinding Grenscorridor N69' (AbRvS 20 april 2016, ECLI:NL:RVS:2016:1072). Een appellant stelt ter zitting dat in het onderzoek geen rekening is gehouden met de specifieke omstandigheid dat nabij de Braambos soms onverwachts mist ontstaat, hetgeen het zicht van het verkeer op de Nieuwe Verbinding kan belemmeren. De Afdeling ziet in deze voor het eerst ter zitting aangevoerde stelling, die niet nader is onderbouwd, geen aanknopingspunten voor het oordeel dat zich nabij de Braambos zodanig specifieke weersomstandigheden voordoen dat moet worden getwijfeld aan de juistheid van de onderzoeksresultaten.

Daarnaast oordeelt de Afdeling dat provinciale staten bij de voorbereiding van het plan (wel) nader onderzoek naar de gevolgen voor de externe veiligheid in verband met de buisleiding voor het vervoer van vloeibare koolwaterstoffen hadden moeten verrichten. Door de dubbelbestemming maakt het PIP immers een leiding 'mogelijk'. Daarbij is van belang dat appellanten in dit verband vooral hebben gewezen op de gevolgen van trillingen van zwaar vrachtverkeer op de weg en op de mogelijke veranderingen in de waterhuishouding en de bodem door de verdiepte ligging van de Nieuwe Verbinding bij de kruising met de Broekhovenseweg, waar ook een geologische breuk aanwezig is. Het leidingtracé ligt op korte afstand van die kruising en ligt op die plaats gedeeltelijk in het plangebied. De Afdeling acht het niet op voorhand uitgesloten dat de door appellanten genoemde zaken risicoverhogend kunnen zijn voor de buisleiding. Zonder nader onderzoek konden provinciale staten er dan ook niet van uitgaan dat de aanleg en het gebruik van de Nieuwe Verbinding niet van invloed zijn op de veiligheid van de buisleiding. Daarbij komt dat voor werken en werkzaamheden ten behoeve van de aanleg van de nieuwe weg als zodanig bij de uitvoering van het plan - anders dan provinciale staten hebben gesteld - geen beoordeling plaatsvindt van de gevolgen voor de veiligheid en werking van de buisleiding. Het zijn echter juist deze werken en werkzaamheden die volgens appellanten de nadelige gevolgen voor de buisleiding kunnen veroorzaken.

De rechtbank Midden-Nederland deed een uitspraak over een verkeersbesluit, waarbij het werd toegestaan op (een gedeelte van) de A2 130 km/h te rijden (Rb. Midden-Nederland 22 december 2015, ECLI:NL:RBMNE:2015:9162). Appellant stelt dat onvoldoende onderzoek is gedaan naar de externe veiligheid en dat het verkeersbesluit op dat punt onvoldoende is gemotiveerd. Bovendien is het programma RBM II niet ingericht voor het berekenen van risico's op wegvlakken met een maximumsnelheid van 130 km/h. Dit heeft consequenties voor een uit te voeren berekening op het gebied van externe veiligheid, aldus appellant. De minister stelt zich op het standpunt dat het wegtraject is ontworpen voor een snelheid van 120 km/h voor personenauto's. Autosnelwegen die zijn ontworpen voor een snelheid van 120 km/h zijn veilig te berijden met een snelheid van 130 km/h. Een snelheidsverhoging heeft slechts effect op de externe veiligheid als de ongevalskans ofwel de verkeersveiligheid significant verslechtert. Andere factoren, zoals het aantal transporten van gevaarlijke stoffen, blijven voor berekening van de externe veiligheid gelijk. Op dit traject zijn geen knelpunten of ongevalsconcentraties ten aanzien van de verkeersveiligheid geconstateerd. Er is geen indicatie te veronderstellen dat er met de invoer van de dynamische snelheidsverhoging wijzigingen plaatsvinden die noodzaken tot een andere weging van belangen in voorliggend verkeersbesluit, aldus de minister. De rechtbank volgt de Minister en ziet geen aanknopingspunten om te concluderen dat deze uitgangspunten niet juist zijn en ziet geen aanleiding om te concluderen dat de Minister het aspect veiligheid onvoldoende bij de afweging heeft betrokken.

Parkeerterrein geen kwetsbaar object en berekening groepsrisico

Bij besluit van 26 mei 2015 heeft de raad van de gemeente Midden-Delfland het bestemmingsplan "Harnaschpolder-Noord 2014" vastgesteld. Het plan ziet op het noordelijke deel van de Harnaschpolder, een gebied in Den Hoorn tussen de A4 en Delft. Dit gebied is een voormalig agrarisch (glas)tuinbouwgebied dat wordt ontwikkeld tot een stedelijk woon- en werkgebied. Voor deze ontwikkeling zijn eerder bestemmingsplannen vastgesteld. Het nu voorliggende plan voorziet in een actuele juridisch-planologische regeling van al eerder voorziene mogelijkheden en in enkele nieuwe ontwikkelingen, waaronder de vestiging van een bouwmarkt en tuincentrum inclusief drive-in en

een tankstation. De beroepen die zijn ingediend tegen het besluit tot vaststelling van het bestemmingsplan hebben geleid tot de tussenuitspraak van 24 augustus 2016, ECLI:NL:RVS:2016:2316.

Onderdeel van de tussenuitspraak is het oordeel van de Afdeling ten aanzien van het tankstation. Appellanten betogen dat het tankstation dat door middel van de aanduiding "specifieke vorm van bedrijf - verkooppunt voor multifuel brandstoffen" leidt tot onaanvaardbare veiligheids-risico's in het plangebied. Gebiedsontwikkeling Harnaschpolder stelt dat het parkeerterrein van de bouwmarkt binnen de plaatsgebonden risicocontour ligt. Volgens haar is het parkeerterrein een beperkt kwetsbaar object. Van Neerbos en anderen voeren aan dat de beoordeling van het groepsrisico uitgaat van een te laag maximaal aantal bezoekers van de bouwmarkt. Dat zijn er volgens Van Neerbos en anderen niet 300 maar 1.000. Ook is volgens Van Neerbos en anderen niet gewaarborgd dat het verwachte aantal bezoekers niet wordt overschreden. Zij wijzen verder op het brandveiligheidsadvies dat in het kader van de omgevingsvergunning voor de bouw van de bouwmarkt is gegeven. Dat gaat volgens hen uit van 1.420 aanwezige personen.

De raad stelt zich op het standpunt dat het tankstation aan de Peuldreef geen onaanvaardbare externe veiligheidsrisico's met zich brengt. De raad wijst erop dat het tankstation onder het voorheen geldende plan als zodanig bestemd was. Inmiddels is een omgevingsvergunning verleend, die in rechte onaantastbaar is. De raad stelt dat binnen de risicocontour voor het plaatsgebonden risico geen kwetsbare of beperkt kwetsbare objecten aanwezig zijn en op grond van artikel 29, lid 29.4.1, van de regels ook niet gerealiseerd mogen worden. Dat het parkeerterrein van de bouwmarkt geen beperkt kwetsbaar object is, volgt volgens de raad uit artikel 1, eerste lid, aanhef en onder b, van het Besluit externe veiligheid inrichtingen (hierna: Bevi), waar parkeerplaatsen niet genoemd zijn. Ook kan het niet met een beperkt kwetsbaar object gelijkgesteld worden, omdat personen er alleen kort verblijven. Verder stelt de raad dat het groepsrisico onder de oriëntatiewaarde blijft. Door het opnemen van de veiligheidszone op de verbeelding is het aantal aanwezige personen in het invloedsgebied volgens de raad geborgd.

De Afdeling is van mening dat de raad zich in redelijkheid op het standpunt heeft kunnen stellen dat het tankstation niet leidt tot onaanvaardbare externe veiligheidsrisico's en overweegt daartoe het volgende:

"In de plantoelichting staat dat de externe veiligheidsrisico's van het multifuel tankstation aan de hand van de systematiek van het Bevi zijn beoordeeld. De bouwmarkt, tegenover het tankstation, is volgens de toelichting een kwetsbaar object, maar ligt buiten de plaatsgebonden risicocontour (10^{-6} per jaar). Deze risicocontour ligt voor een gering deel over de parkeerplaats van de bouwmarkt, maar die is geen (beperkt) kwetsbaar object. Verder staat in de plantoelichting dat het groepsrisico toeneemt, maar dat de oriëntatiewaarde niet wordt overschreden. Er zijn twee scenario's beschouwd. Het eerste scenario is een bevoorradiging 50 procent overdag, 50 procent 's nachts. Het tweede scenario is een bevoorradiging van het tankstation in de nachtperiode. Bij het scenario waarbij overdag wordt bevoorradigd blijkt dat bij 250 slachtoffers het groepsrisico 0,81 maal de frequentie bedraagt die hoort bij de oriëntatiewaarde. Het maximum aantal slachtoffers is dan 300. Het scenario waarbij alleen 's nachts bevoorradigd wordt is ook berekend. Daaruit blijkt dat bij 250 slachtoffers het groepsrisico 0,69 maal de frequentie bedraagt die hoort bij de oriëntatiewaarde. Het maximum aantal slachtoffers is dan 300. Omdat het groepsrisico toeneemt, is daarover een verantwoording opgenomen in de plantoelichting.

Niet in geschil is dat de contour van het plaatsgebonden risico (10^{-6} per jaar) ligt over een gedeelte van het parkeerterrein van de voorziene bouwmarkt. Een parkeerterrein is niet genoemd in de opsomming van beperkt kwetsbare objecten in artikel 1, eerste lid, aanhef en onder b, van het Bevi. Gelet op de korte tijd waarin personen op het parkeerterrein aanwezig zullen zijn, kan het ook niet met een beperkt kwetsbaar object gelijkgesteld worden (zie de Nota van toelichting van het Bevi, Staatsblad 2004, nr. 250, p. 28-29). Reeds hierom faalt het betoog van Gebiedsontwikkeling Harnaschpolder in zoverre.

De beschrijving van de externe veiligheidsrisico's in de plantoelichting is gebaseerd op het rapport "Risicoanalyse LNG-tankstation Harnaschpolder Midden-Delfland" van Adviesgroep AVIV van 19 december 2014. Gelet op tabel 15 van dit rapport is uitgegaan van maximaal 350 personen die tegelijkertijd in de bouwmarkt (inclusief de drive-in) aanwezig zullen zijn. Dit is overdag op zaterdag.

De raad heeft ter zitting toegelicht dat het door Van Neerbos en anderen genoemde getal van 1.420 betrekking heeft op het totaal aantal personen per dag dat de bouwmarkt maximaal zal bezoeken. De Afdeling ziet geen aanleiding te twijfelen aan deze toelichting. Van Neerbos en anderen hebben verder niet onderbouwd waarom de in het rapport gehanteerde aanwezigheidscijfers te laag zouden zijn. Daarom bestaat geen aanleiding voor het oordeel dat het plan wat betreft de berekening van het groepsrisico niet met de vereiste zorgvuldigheid is voorbereid.”

Het oordeel van de Afdeling ten aanzien van het parkeerterrein is geen verrassing. Zo overwoog de Afdeling al in 2007 dat een parkeer- en opslagterrein geen beperkt kwetsbaar object is (28 februari 2007, ECLI:NL:RVS:2007:AZ9492): *“Niet in geschil is dat de inrichting valt onder het BEVI en dat het onbebouwde terrein van appellanten als parkeer- en opslagterrein is ingericht. De Afdeling deelt het standpunt van appellanten dat dit terrein één geheel met het kantoorgebouw vormt en op die grond een beperkt kwetsbaar object in de zin van artikel 1, eerste lid, aanhef en onder a, sub b, van het BEVI is, niet. Evenmin is aannemelijk geworden dat het aantal en de gemiddelde verblijfsduur van de op het parkeer- en opslagterrein aanwezige mensen zodanig is dat het terrein een beperkt kwetsbaar object in de zin van artikel 1, eerste lid, aanhef en onder a, sub h, is. Deze beroepsgrond slaagt derhalve niet.”*

De overwegingen omtrent de berekening van het groepsrisico illustreren het belang van het deugdelijk onderbouwen van de gronden van het beroep, waar wij ook in andere bijdragen op hebben gewezen. Het poneren van niet onderbouwde stellingen - in dit geval de stelling dat de in het rapport gehanteerde aanwezigheidscijfers te laag zijn - blijft zonder succes.

Omgevingsvergunning inrichting voor gasflessen

Bij besluit van 12 mei 2015 hebben burgemeester en wethouder van de gemeente Gemert-Bakel een vergunning als bedoeld in artikel 8.4 van de Wet milieubeheer verleend voor een inrichting voor het opslaan van propaan in ondergrondse tanks, opslaan van propaan en andere gassen in gasflessen, vullen van gasflessen vanuit tanks en grotere gasflessen, stallen van vervoerseenheden met gassen en vrachtwagens geladen met gasflessen en faciliterende werkzaamheden gerelateerd aan de hiervoor genoemde activiteiten. De tussenuitspraak van 14 september 2016, ECLI:NL:RVS:2016:2457, met betrekking tot deze omgevingsvergunning bevat een groot aantal overwegingen aangaande (externe) veiligheid.

De gronden van het beroep richten zich onder meer tegen de inhoud van de QRA en de verantwoording van het groepsrisico. De betogen van appellanten falen met uitzondering van het betoog dat de risico's vanwege het in werking zijn van de inrichting zijn onderschat nu er geen scenario is doorgerekend waarbij -op nabijgelegen terreinen- sprake is van een evenement met 1.000 bezoekers in de dagperiode. Daarnaast is er wat betreft de aanwezige dichtheid van personen ten onrechte geen rekening gehouden met in de omgeving van de inrichting plaatsvindende evenementen. Voorts is in het bestreden besluit alleen vastgesteld wat het groepsrisico is van de inrichting waarvoor vergunning is gevraagd. De bijdrage van de verandering van de inrichting aan het totale groepsrisico van de inrichting als bedoeld in onderdeel b, van het eerste lid, van artikel 12 van het Bevi is niet vermeld. Tot slot heeft het college ter zitting opgemerkt dat het ten onrechte niet heeft voorgeschreven dat vergunninghouder ook ten aanzien van andere onderdelen van de inrichting moet beoordelen of het noodzakelijk is deze te voorzien van een bliksembeveiliging.

Deze uitspraak is een voorbeeld van een zaak waarin gronden die deugdelijk onderbouwd zijn, hoe talrijk ook, inhoudelijk worden behandeld. Voor deze behandeling leunt de Afdeling in dit geval sterk op de inhoud van het deskundigenbericht, vanwege het technische karakter van een groot aantal van de beroepsgronden. Helaas wordt de inhoud van het deskundigenbericht niet integraal opgenomen in uitspraken. Daardoor is niet altijd duidelijk welke feiten ten grondslag hebben gelegen aan het oordeel van de deskundige. Het laatste geldt overigens ook voor overwegingen van de Afdeling die niet zijn gebaseerd op een deskundigenbericht. Een voorbeeld is het betoog van appellant dat de Veiligheidsregio Brabant-Zuidoost (hierna: de Veiligheidsregio) ten onrechte niet in de gelegenheid is gesteld opnieuw advies uit te brengen nadat op 3 februari 2015 wat betreft de risico's vanwege de inrichting aanvullende berekeningen zijn uitgevoerd. De Afdeling volstaat met de overweging dat er geen aanleiding is voor het oordeel dat de Veiligheidsregio geen deugdelijk advies heeft kunnen uitbrengen over de in artikel 12, derde lid, van het Bevi genoemde aspecten,

zonder dat zij over de aanvullende berekeningen van 3 februari 2015 beschikte. Waarom er in dit specifieke geval geen noodzaak is om een aanvullend advies te vragen, blijft onbesproken.



Risicobeoordeling van stoom transportleidingen door industriële gebieden

R. (Robert) Geerts en J. (Jan) Heitink¹

kennis & praktijk

Samenvatting

De auteurs schetsen een kader voor het beoordelen van de omgevingsveiligheid van stoom transportleidingen. Alhoewel water niet als zodanig is gekwalificeerd kan het een gevaarlijke stof zijn. De gebruikelijke kwantitatieve risicoanalyse-aanpak gebeurt op basis van de scenariobeschrijving (-definitie) waarvan de effecten, gevolgen en risico worden berekend. Deze aanpak kan ook voor stoom transportleidingen, door industriegebieden worden gevolgd. De effecten en schade door warmte-overdracht zijn bij stoom het gevolg van convector, niet van straling. Hierbij moet een passende effect-schade modellering worden toegepast. Bij het ontwerp van een stoom transportleiding tracé door een gebied komt de beoordeling aan de orde of extra veiligheidsmaatregelen nodig zijn. Een risicomatrix aanpak kan behulpzaam zijn. Enkele voorbeelden illustreren de aanpak.

1. Introductie

In industriële gebieden, zoals de haven van Rotterdam en van Amsterdam, zijn chemische bedrijven op zoek naar mogelijkheden om hun materiaal- en energiebalans te integreren. Een surplus aan warmte-energie, bijvoorbeeld door de verbranding van industrieel en huishoudelijk afval, wordt niet meer nutteloos weg gegooid, maar wordt getransporteerd naar en gebruikt door afnemers, bijvoorbeeld een naburige onderneming of centrale wijkverwarming. Hogedruk stoom is een traditioneel veel gebruikt medium om energie te transporteren. Meer en meer stoom netwerken tussen grote installaties met surplus aan 'afvalenergie' en installaties met een energiebehoefte ontwikkelen zich. De transportleidingen worden deels ondergronds deels bovengronds, onsite en offsite in openbare ruimten gelegd. De toepassing van stoom voor 'remote' verwarmingsdoeleinden als hiervoor aangegeven is al oud. New York heeft een stoom netwerk dat aan het begin van de 20^{ste} eeuw is aangelegd.

Water als gevaarlijke stof

Hoewel vaak over het hoofd gezien en niet aangemerkt als een gevaarlijke substantie, is het technisch gebruik van water gevaarlijk onder bepaalde omstandigheden. Gevaar kan aanwezig zijn omdat gevaarlijke stoffen zich hebben opgelost in het water (bijv. methaan, CO₂, of H₂S uit rotsformaties), door temperatuur (heet water systemen voor verwarmingsdoeleinden), en door druk (bijv. exploderen van stoomketels). Figuur 1 toont een spectaculair ongeval. Door een explosie van een hogedruk ondergrondse stoomleiding ontstond een krater in de weg van ca 10 bij 10 meter en 5 meter diep waar een complete takelwagen in verdween. De schade was enorm en liep in de miljoenen dollars. 40 personen werden gewond en 1 persoon overleed door een hartaanval van de schrik. De oorzaak van het barsten van de leiding was het waterslag fenomeen², hier veroorzaakt door de vorming van gecondenseerd water in de leiding; een berucht

¹ Auteurs werkzaam bij Aviv b.v. Kennisinstituut voor omgevingsveiligheid, risicoanalyses en doelgroepgerichte risico-informatie J.Heitink@aviv.nl, r.geerts@aviv.nl

² Waterslag is een verschijnsel dat een plotselinge zeer hoge druk veroorzaakt in de leiding tot boven zijn sterkte tegen barsten. Het verschijnsel ontstaat wanneer stoom opgesloten raakt in reeds gecondenseerde stoom die zich al enige tijd tot een behoorlijke watermassa heeft kunnen vormen. Stoom, die door een plotselinge verandering in het stromingspatroon opgesloten raakt, kan door het warmte opnemende vermogen van de

risico bij lange stoom transportleidingen die hoogteverschillen moeten overbruggen. Uit ervaring is daarom duidelijk dat ook stoomleidingen een risico kunnen vormen voor hun directe omgeving.



figuur 1. Explosie ondergrondse stoomleiding in New York (2008) waarbij een krater ontstond van ruwweg 10x10x5 meter

Risicomanagement

Hogedruk cross country stoomleidingen behoren tot groep I pijpleidingen (NEN 3650-standards-series). Voor deze pijpleidingen is een Pipeline Integrity Management System (PIMS) vereist. De risico-identificatie en -beoordeling maken integraal deel uit van het PIMS. De eigenaar, de gebruiker van de pijpleiding, de stoomproducent en de afnemer hebben behoefte aan inzicht in de bedreigingen voor de integriteit en bedrijfszekerheid van hun stoomleidingen voor hun ondernemingsactiviteit. Daarnaast is het van belang te weten hoeveel schade aan derden kan ontstaan (zowel materiële- als gezondheidsschade) door een leidingbreuk. Alleen al vanuit het oogpunt van aansprakelijkheid is het belang aanwezig. Andere belangengroepen die betrokken kunnen zijn, zijn het publiek, het bevoegd gezag voor de vergunningverlening en ruimtelijk ordening en voor de rampbestrijding. De vraag die gesteld moet worden is: Het risico van schade in ogenschouw nemend, is het dan nodig beperkingen voor te schrijven in het ruimtelijk gebruik langs de leiding, zoals gebruikelijk is bij gastransport leidingen? Kan men portocabines voor werknemers direct naast de stoomleiding plaatsen? Moet andere infrastructuur (weg, spoor) overlangs of onderdoor worden gepasseerd? Het antwoord op dit soort vragen vereist inzicht in de mogelijke omvang van de schade die een barstende stoomleiding kan veroorzaken. In dit artikel worden een vereenvoudigd model gepresenteerd. Gecombineerd met scenariokansen zijn deze gegevens te gebruiken als invoer voor een risico-evaluatie bijv. in de vorm van een risicomatrix.

2. Oorzaken van stoomleidingbreuken

Tabel 1 toont enkele oorzaakcategorieën zien voor breuk van leidingen. Leidingoperators moeten veiligheid barrières (lines of defence: LOD) hebben ingebouwd om te zorgen dat de inhoud niet vrij kan komen of zo beperkt mogelijk vrijkomt door een van de oorzaken genoemd in tabel 1. Door condensatie van stoom opgewekte waterslag is veruit het meest schadeveroorzakende ongeluk met een stoom leiding (Kirsner 2010). Om de kans op dit fenomeen zo klein mogelijk te

watermassa snel condenseren. De condensatie in de dampruimte brengt de omringende watermassa in versnelling die plotseling tot staan komt als de dampruimte is opgelost. Dit veroorzaakt een hoge piekdruk, die zich door de watermassa voortplant en het staal van de buis onder extra spanning brengt. Die spanning kan zo hoog zijn dat de leiding barst of stukgaat op zijn zwakste plek (daar waar de watermassa zich in de leiding bevindt waarin de drukgolf zich kan voortplanten).

houden –in deze betekenis te ‘voorkomen’- is het essentieel de hoeveelheid gecondenseerde stoom en de temperatuur in het systeem te beheersen.

Het overzicht in tabel 1 is niet alles omvattend. De risico-identificatie is omgeving specifiek en maak deel uit van het PIMS en vult in principe de lijst aan.

tabel 2. Enkele oorzaken van leidingbreuk

Oorzaak categorie	omschrijving
Erosie/corrosie intern	Waterkwaliteit off spec
Corrosie extern	deeltjes in medium
Operatie	Natte isolatie
	Negatieve drukken (shutdown)
	Waterslag, verschillende soorten (startup)
	Overdruk (process control fout)
External impact	aanrijding (wagen, treinwagon)
	Wind turbine
	Gasleiding breuk + jet fire
	Base destabilization door graafwerkzaamheden
	Base destabilization door overbelasting (ijs, wind, sneeuw)

3. Gevolgen van stoomleidingbreuken

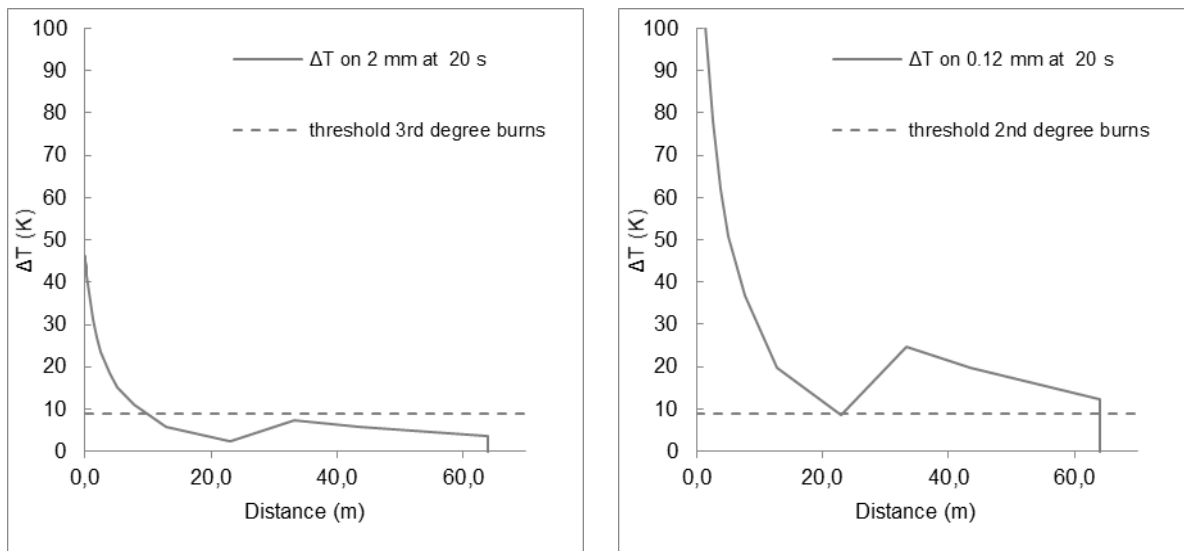
Breuk (barsten) van een stoomleiding kan gezondheidsschade en materiële schade veroorzaken die op zich weer tot vervolgschade kan leiden. Dit laatste als het beschadigde object bijv. een centrale infrastructurele functie heeft. Ter illustratie gebruiken we een karakteristieke stoomleiding met een diameter van 20 inches (48,2 cm), temperatuur van 330 °C en werkdruk van 40 bar. Tabel 2 toont een overzicht van de fysische effecten en mogelijke schade.

tabel 3 Fysische effecten en types schade

EFFECT	TYPE SCHADE	INDICATIE VAN AFSTAND (M)
Schokgolf	gevelschade, glasbreuk, scheuren trommelvlies	gevelschade: 5 glasbreuk: 50
Zuurstof depletie	bewusteloosheid	5
Hete stoomstraal	Brandwonden huid, glasbreuk	3 ^{de} gr. brandwonden 10-30 2 ^{de} gr. brandwonden 20-60 glasbreuk 20
lawaai	gehoorschade	< 5
Impuls v/d straal	Belasting aangestraalde muren, omver drukken van persoon	15
Fragmenten	Schade door raken van objecten en personen	30->100
Explosie krater	(ondergrondse leidingen) verandering van de bovenlaag bij zandbodems; beïnvloeding hierdoor van de draagcapaciteit van lasten	5
Erosie krater	(ondergrondse leidingen) Weggeblazen grond zou direct nabijgelegen funderingen kunnen destabiliseren en de hete straal zou parallelle of dwars kruisende infrastructuur kunnen beïnvloeden	15

Bij bijna alle effecten treedt de genoemde schade op binnen de eerste 5 tot 15 meter. Weggeworpen fragmenten kunnen meer dan 100 meter ver terecht komen. Dit hangt af van de initiële snelheid, de hoek van weg katapulteren en de massa van het brokstuk. Een dergelijk brokstuk kan plaatselijk schade veroorzaken, waarbij de kans dat iemand geraakt wordt door het brokstuk sterk afneemt met de afstand waarop de persoon zich bevindt. Het omgevingsrisico (externe veiligheid) wordt gedomineerd door het risico van brandwonden. Dit risico is niet te berekenen met de bekende modellen voor warmtestraling door vlammen, die in de meeste risicoanalyse-programmatuur is

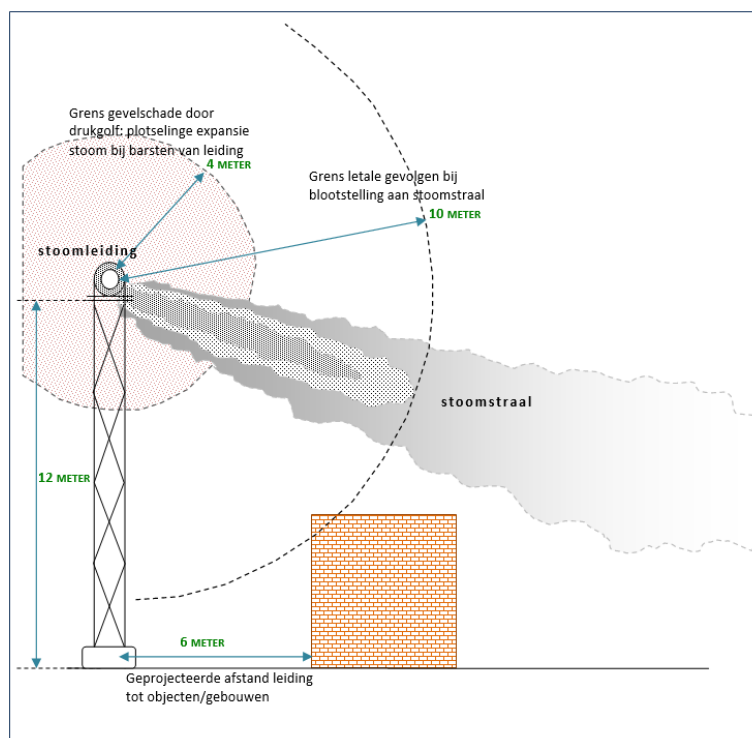
ingebouwd. Het belangrijkste warmteoverdracht mechanisme is hier niet de straling maar de convectieve warmteoverdracht. In de appendix van dit artikel wordt een eenvoudig model beschreven dat geschikt is voor deze risico-evaluatie. Een kenmerkend resultaat is getoond in figuur 2 voor tweede graad brandwonden en derde graad brandwonden.



figuur 2. Voorspelde afstanden voor derde graad brandwonden (links) en tweede graad brandwonden (rechts)

De grafiek laat een afgeplatte amplitude zien van de temperatuur van de blootgestelde huid op circa 30 meter afstand van het uitstroompunt. Dit is het gevolg van de condensatie van de stoom in de stoomstraal. De verticale eindwaarde is het gevolg van de drempelwaarde voor brandwonden van 45 °C.

Figuur 3 visualiseert voor een bepaalde denkbeeldige maar realistisch mogelijke situatie enkele effectafstanden van een stoomleidingbreuk.



figuur 3. Enkele karakteristieke schadeafstanden stoomleidingbreuk (40 bar, 20 inch en ca 350 °C.

4. Evaluatie van het stoom transportleiding risico

De breukkans van bovengrondse leidingen die in QRA's wordt gebruikt voor de ruimtelijke ordening ligt in de orde grootte van $10^{-7}/\text{m.jr}$ (RIVM 2015). Voor stoom transportleidingen door open gebieden of op bedrijfsterreinen zijn geen specifieke faalkans databestanden publiekelijk beschikbaar. Als de afstand voor derde graad brandwonden globaal wordt aangehouden als richting gevend voor de kans op dodelijke verwonding dan leidt dat tot een individueel risico (plaatsgebonden risico) van 10^{-6} of hoger tot een afstand van 10 - 20 meter.

Ter vergelijking: een ondergrondse aardgasleidingen hebben lagere kansen op breuk (kenmerkend voor een 20 inch aardgas transportleiding wordt een kans gebruikt van $2,9 \cdot 10^{-9} / \text{m.jr}$ (Gielisse et.al., 2008), maar daarentegen grotere effectafstanden (voor een 20 inch leiding bedraagt die circa 270 meter) die resulteert in een plaatsgebonden risico dat kleiner is dan de norm 10^{-6} .

De vraag is of een stoom transportleiding significant risico toevoegt aan het risico dat mogelijk door andere bronnen al aanwezig is en of extra veiligheidsmaatregelen nodig zijn?

Kantoorgebouwen, mobiele kantoor- en werkunits en andere bouwwerken in industriële omgevingen worden blootgesteld aan diverse risicobronnen, zoals bijv. transport van gevaarlijke stoffen, opslag van chemische stoffen en chemische installaties en fabrieken. Om het risico van een stoomleiding te kunnen afwegen is het zinvol na te gaan of de objecten die aan het risico van een leidingbreuk worden blootgesteld ook door andere risicobronnen kunnen worden getroffen die overeenkomstige effecten of uitwerking hebben als de stoomleiding. Om een eerlijke vergelijking te maken is het nuttig een risicomatrix te gebruiken zoals in figuur 4 is weergegeven.

STOOMLEIDINGBREUK	KANS IN VERGELIJKING MET OVERIGE RISICOBRONNEN IS - - -		
	Significant kleiner	Ongeveer gelijk	Significant groter
IMPACT KLEINER	I	I	II
IMPACT GELIJK	I	II	III
IMPACT GROTER	II	III	III

figuur 4. Risicomatrix voor een relatieve beoordeling van de risico's voor kantoor-/verblijfobjecten en andere relevante objecten langs de stoomleiding.

De risicomatrix laat zich als volgt gebruiken en lezen.

Verticaal zijn drie niveaus onderscheiden voor de grootte van schade door de stoomleiding *in vergelijking met* die van de overige risicobronnen van transport en/of installaties. Omdat de matrix vergelijkenderwijs wordt gebruikt (!) zal het duidelijk zijn dat de overige risicobronnen alleen relevant zijn in zoverre die voor dezelfde objecten in de omgeving een risico inhouden als waarvoor de stoomleiding een risico inhoudt.

Horizontaal zijn drie categorieën onderscheiden voor de kans op getroffen worden door een stoomstraal in vergelijking met het optreden van een schadelijke uitwerking op een object door de overige risicobronnen van transport en of installaties. De 9 matrixcellen zijn eveneens voor het doel van relatieve vergelijking in drie categorieën ingedeeld. Dit is aangegeven met kleuren en Romeinse cijfers.

Deze betekenen het volgende:

- Categorie I houdt in dat het treffen van extra maatregelen aan de leiding of de te beschermen objecten rationeel gezien niet zinvol is.
- Categorie II houdt in dat extra maatregelen zinvol zijn als deze tegen niet al te grote kosten zijn te nemen en voldoende effectief zijn (de schade en/of kans worden een orde van grootte kleiner)

- Categorie III houdt in dat extra maatregelen zinvol en wenselijk zijn als men het bestaande risiconiveau niet onevenredig sterk wil laten toenemen.

Door deze aanpak is het mogelijk toch tot een risicobeoordeling te komen van de aanvaardbaarheid van de risico's die een hogedruk stoom transportleiding kan inhouden voor de omgeving waarin de leiding is geprojecteerd. De beoordeling vindt niet plaats op basis van wettelijke risiconormen, want die zijn niet voor hogedruk stoom transportleidingen vast gelegd. Maar indirect is dat toch mogelijk door de gepresenteerde aanpak, omdat voor andere typen van risicobronnen wel wettelijke normen bestaan.

De aanpak die hier is beschreven laat zien welke toepassingen onder meer mogelijk zijn:

- Moeten we extra veiligheidsmaatregelen treffen voor bepaalde objecten of locaties om de ligging van de leiding nabij bijv. een transformatorhuis acceptabel te maken? Is de schade-uitwerking gelijk of kleiner (spanningsuitval voor tenminste enkele uren, in geval van uitval door een gasexplosie kan dat langer zijn). Waarschijnlijkheid is al min of meer op het bestaande niveau (leiding ligt naast een leidingenstraat bijv.), hetgeen resulteert in score I. Waaruit de rationele conclusie volgt dat dat extra veiligheidsmaatregelen niet nodig zijn. Dit is juist in zoverre er geen eenvoudige en weinig kostbare maatregelen zijn te treffen die het risico in feite elimineren. Waarom deze voorwaardelijke kanttekening? Het gaat allemaal om globale schattingen dus orde van grootte cijfers! We zijn niet bezig met het bedrijven van exacte wetenschap. De praktijk is dat onzekerheden zo goed als mogelijk naar voren gebracht moeten worden en handen en voeten gegeven worden voor de maatschappelijke en/of private besluitvorming. Als er voldoende ruimte is, is het onweerlegbaar verstandig die te gebruiken om enige afstand aan te houden tussen de risicobron en het hiervoor genoemde kwetsbare object.
- Is er extra veiligheid nodig om een stoomleiding dicht langs een kantoorgebouw te leiden? Een gasexplosie van een enkele honderden meters weg gelegen opslagtank kan veel verwoestender zijn, maar heeft een kleinere kans van optreden. Dus met de stoomleiding wordt een significant hogere kans geïntroduceerd (alhoewel absoluut gezien nog steeds klein; maar het gaat in deze aanpak om de vergelijking). Daar staat tegenover dat de schade veel kleiner zal zijn, maar niet verwaarloosbaar (gevelschade, ruitbreuk, mensen die ernstige brandwonden oplopen). Dat resulteert in score II. Extra veiligheid bij de stoomleiding langs het kantoorgebouw of een stoomstraal afbuig-voorziening zou in overweging genomen kunnen worden als de kosten overzienbaar zijn.
- Zouden we de voorkeur moeten geven aan een ondergrondse passage of bovengrondse passage van een druk gebruikt spoor? Dit hangt af van de schade die mogelijk aan het traject kan ontstaan door ondermijning vanwege snelle erosie die de stoomstraal op de ondergrond kan veroorzaken. De uitval door de tijd voor herstel van de schade kan veel langer zijn dan de schade veroorzaakt door een bovengrondse passage van het spoor door de stoomleiding. De opvang van condensaat van een laag liggende passage kan een punt van aandacht zijn. Laten we aannemen dat een ondergrondse passage iets toevoegt aan de uitwerking van schade die al bestaat door de aanwezige risicobronnen. De risicomatrix laat zien dat als men kiest voor deze optie, het nodig is extra veiligheid te realiseren om de kans kleiner te maken van een leidingbreuk, bijv. door een hogere sterkte van de leiding of een of andere omkastingconstructie. Een robuuste omkasting voorkomt eveneens erosie.

5. Conclusie

De gebruikelijke QRA benadering (scenariodefinitie gevolgd door effect-, schade- en risicoberekening) is evenzeer te gebruiken om het risico te evalueren van stoom transportleidingen. Het zal nodig zijn enkele modificaties aan te brengen aan de effectmodellering.

Verwijzingen

Gielisse M, Dröge M.T., Kuik G.R., Risicoanalyse aardgasleidingen, 2008. Rapport DEI.2008.R.0939, Groningen.

Kirsner Consulting Engineering, 2010. Water in steam lines, BP manual.

Ministerie VROM, 2005, Effecten van brand op personen. Publicatiereeks gevaarlijke stoffen deel 1A, Den Haag.

RIVM, 2015, Handleiding risicoberekeningen Bevi, versie 3.3.

State of New York, Department of Public Service, Safety section, Office of Electric, Gas and Water, 2008, Report on steam pipeline rupture, 41th street and Lexington avenue, Consolidated Edison Company of New York. Inc. , July 18, 2007, case 07-S-0984, New York, USA.

TNO, 2005, Methods for the calculation of physical effects due to release of hazardous materials (liquids and gases), Ministerie BIZA, Den Haag.

Appendix: Eenvoudig model voor de inschatting van afstanden voor brandwonden.

Het warmteoverdrachtmodel wordt beschreven als een add-on voor een conventioneel turbulent jet model. Dit kan worden gebruikt van een software pakket zoals Phast (DNV GL), Effects (TNO) of Hegadas (Shell). Een overzicht van jet-modellen wordt gegeven in TNO 2005. De uitstroming na een leidingbreuk is sterk veranderlijk. Enige middeling is op verstandige wijze nodig. Het model bevat de volgende variabelen als functie van de afstand.

- Hoogte van de as van de jet
- Concentratie op de as van de jet
- Damptemperatuur op de as van de jet.
- Vloeistoffractie in de jet
- Snelheid op de as van de stoomjet
- Dichtheid van de jet

Voor de eenvoud en om een behoudend resultaat te krijgen nemen we aan dat de as van de stoomstraal (jet) representatief is voor de fysische eigenschappen van de gehele straal.

Additionele berekeningen:

$$Re = \frac{\rho v d}{\eta} \quad (1)$$

$$Pr = \frac{\eta C_p}{\lambda} \quad (2)$$

r	dichtheid stoomjet	Kg/m ³
V	snelheid	m/s
d	Diameter lichaam	m
η	Dynamische viscositeit stoom	Pas
C_p	Warmte capaciteit stoom jet	J/kgK
λ	Warmte geleiding stoom jet	W/mK

Om de warmte-overdracht coëfficiënt α_u aan de stoomzijde te berekenen in W/m²K wordt een dimensieloze Nusselt vergelijking gebruikt:

$$Nu = \frac{\alpha_u d}{\lambda} = 0.027 Re^{0.805} Pr^{\frac{1}{3}} \quad (3)$$

(voor de afstanden die hier worden beschouwd is de stroming turbulent $Re \sim 10^6$)
 De warmte indringing in het lichaam voor korte blootstellingstijd wordt beschreven door de warmte-indringing theorie in half oneindige media. De gemiddelde warmteoverdrachtcoëfficiënt op het lichaam bedraagt:

$$\alpha_i = 2 \sqrt{\frac{\lambda \rho C_p}{\pi t}} \quad (4)$$

α_i	Warmteoverdrachtcoëfficiënt aan huid	W/m ² K
ρ	Dichtheid van lichaamshuidweefsel	Kg/m ³
t	Contacttijd (warmteoverdracht-tijd)	S
C_p	Warmtecapaciteit huidweefsel	J/kgK
λ	Warmtegeleiding huidweefsel	W/mK

Het product $\lambda \rho C_p$ voor een lichaam van de mens is $2.47 \cdot 10^6 \text{ J}^2\text{s/m}^4\text{K}^2$ (Ministerie van VROM 2005)

De totale warmte overdrachtscoëfficiënt U is:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_u}} \text{ W/m}^2\text{K}$$

Wanneer er condensatie plaatsvindt (vloeistoffractie in de jet fraction in jet >0), wordt de warmteoverdracht eenvoudig beschreven met een constante temperatuur van het huidoppervlak die gelijk is aan de stoomtemperatuur (geen warmteweerstand aan de stoomzijde). De warmte-overdrachtscoëfficiënt is α_i .

De warmte-energie naar de huid bedraagt

$$q = U(T_s - T_B) \text{ W/m}^2$$

Hierbij is:

T_s	Gemiddelde stoomtemperatuur	K
T_B	Lichaamstemperatuur	K

De temperatuurstijging in de huid als functie van de tijd t en indringdiepte x als het lichaam wordt blootgesteld aan de warmtestroom q bedraagt (ministerie van VROM 2005):

$$\Delta T(t, x) = \frac{2q\sqrt{t}}{\sqrt{\lambda \rho C}} \text{ierfc}\left(\frac{x}{\sqrt{4at}}\right)$$

Hierbij is:

$$\text{ierfc}(y) = \int_y^\infty \left(\frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_p^\infty e^{-t^2} dt \right) dp$$

De relatie van de indringdiepte, temperatuurstijging en graad van verbranding bedraagt (ministerie van VROM 2005):

Graad verbranding huid	Diepte voor $\Delta T=9\text{ K}$
Eerste	<0.12 mm
tweede	< 2 mm
derde	> 2 mm

Een huidoppervlak temperatuur van tenminste 45°C is bij benadering de grens waarbij ernstige brandwonden ontstaan (Ministerie van VROM 2005).

Het schadecriterium dat adequaat is voor kwantitatieve risicoanalyses kan dus als volgt luiden: leidt de berekende warmteflux tot een temperatuurstijging van 9 °C op een diepte van 2 mm? Tot aan die indringdiepte zijn derde graad brandwonden mogelijk. Analooq aan gebruikelijke risicoberekeningen voor de externe veiligheid wordt uitgegaan van een blootstellingstijd van maximaal 20 seconden aan de onbeschermdde huid. Er zijn goede overwegingen om van een kortere blootstellingstijd uit te gaan aangezien direct contact met de stoom vereist is. Dientengevolge zijn kortere aftanden in het spel dan bij straling van warmte.



Colofon

Contact en informatie over aanbieden van artikelen: abacus.nl@gmail.com

Reacties op artikelen: LinkedIn Ruimtelijke Veiligheid en Risicobeleid of
<http://abacus.gvbmedia.nl>

Het vakblad Ruimtelijke Veiligheid en Risicobeleid wordt uitgegeven door ABACUS.

Versijning: minimaal vier nummers per jaar

Regelmatig terugkerende rubrieken:

- Column – *Ben Ale*
- Juridisch actueel – *Esther Broeren & Christiaan Soer*
- Veiligheid en risico's anders bekeken – *Robert Geerts*
- In reactie op . . . – *thema Discussies - diverse auteurs*
- Bespreking vakliteratuur en publicaties – *diverse auteurs*
- Het afstudeeronderzoek – *young professionals / diverse auteurs*

Redactieleden:

B.J.M. (Ben) Ale	<i>Ben Ale Risk Management Advice</i>
E.M. (Esther) Broeren	<i>ELEMENT Advocaten</i>
R. (Robert) Geerts (eindredactie)	<i>AVIV</i>
G. (Geert) Geujen	<i>COMsigne Risicocommunicatie</i>
J (Jan) Gutteling	<i>Universiteit Twente</i>
P. (Peter) Hermens	<i>MMG Advies</i>
R.B. (Ruben) Jongejan	<i>Jongejan Risk Management Consulting</i>
J.C. (Johan) de Knijff	<i>Zelfstandig risicoanalist</i>
E.S. (Eelke) Kooi	<i>RIVM / centrum voor veiligheid</i>
A. (Anne) Michiels van Kessenich	<i>beleidsmedewerkster gem. Haarlem</i>
J.M.M. (Jeroen) Neuvel	<i>Academie Bestuur & Recht, Saxion</i>
R.J.M. (Reinoud) Scheres	<i>AVIV</i>
J.K.H.C. (Christiaan) Soer	<i>Royal HaskoningDHV</i>
S.I. (Shahid) Suddle	<i>SSCM</i>
T. (Teun) Terpstra	<i>HKV Lijn in Water</i>

Secretariaat:

P.W.M.J. (Paul) Harings	<i>ABACUS</i>
-------------------------	---------------

Abonnementen:

Digitale versie	€ 75,00
Hard Copy	€ 132,50

W: <http://abacus.gvbmedia.nl> **E:** abacus.nl@gmail.com
ABACUS – Auf den Heggen 8 - 52134 Herzogenrath-Duitsland
© ABACUS – ISBN 2210-6979 – ISSN 2210-6960

