

Toekomstperspectief gaswinning met aardbevingen:

Wat staat Groningen nog te wachten? Hoe valt dit te beheersen? Wat vinden we acceptabel?¹

Charles Vlek – Rijksuniversiteit Groningen²

Samenvatting

Gaswinning met aardbevingen in Groningen blijft allerlei vragen oproepen. Dit verhaal gaat over de ontwikkeling van de aardbevingsdreiging en over de beheersbaarheid en aanvaardbaarheid van het seismisch risico. Het gaat níet over (piek-)grondversnellingen, bodemsoorten of uitdemp- en opslingereffecten van aardbevingen.

Sinds 1991 zijn de aardbevingen in aantal en kracht toegenomen. De 'seismiciteit' zal nog toenemen totdat het gasveld rond 2045 goeddeels is leeggehaald. Uitgaande van bestaande aardbevingsstatistieken kan worden ingeschat dat zich vanaf 2016 gemiddeld per jaar 30 à 35 bevingen zullen voordoen met een magnitude $M \geq 1.5$ op de schaal van Richter. Daarvan zijn er 10 à 12 met $M \geq 2.0$ en 3 à 4 bevingen met $M \geq 2.5$. Zeer schadelijke en zelfs lijfelijk-riskante bevingen met $M \geq 3.5$ of zelfs 4.0 zijn gemiddeld eens per 5 jaar te verwachten. Omstreeks 2030 zullen deze aantallen nog flink hoger zijn wanneer zo'n 90% van alle (geschatte) 2800 mrdm³ gas is gewonnen. De toekomstprojecties van de NAM tot aan 2035 (Winningsplan-2016) komen een stuk lager uit.

Om aardbevingsrisico's te beperken kunnen zeven strategieën worden benut. De rijksoverheid stuurt aan op matiging van de gaswinning en de NAM maakt werk van omvangrijke schadevergoeding en het verstevigen van talrijke oudere gebouwen en infrastructuur in het gaswingsgebied. Meer radicale maatregelen zijn: (a) veel minder – en langer – gas winnen, (b) grootschalige stikstofinjectie om verdere bodemcompactie tegen te gaan, en (c) vermindering van de blootstelling aan aardbevingsrisico's.

De politiek-ethische vraag is: 'Kan of mag dit alles nu zo maar doorgaan?' Welke schade en risico's zijn 'aanvaardbaar'? En wat mag er worden verlangd als de risico's ónaanvaardbaar worden gevonden? Zulke vragen kunnen worden beantwoord aan de hand van numerieke risiconormen (maar welke?), een maatschappelijke kosten-batenanalyse (maar is die dan billijk?) en zelfs het voorzorgsbeginsel (of zou dat te veel kosten?).

1. Ruim 50 jaar gaswinning, steeds meer aardbevingen

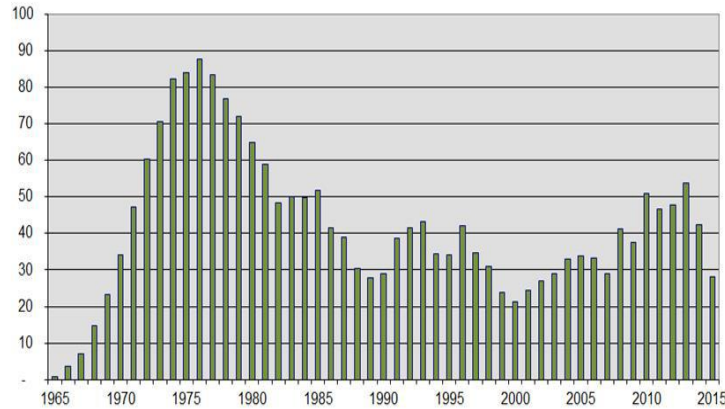
Ofschoon er al sinds 1963 veel gas uit Groningse grond wordt gehaald doen zich pas vanaf 1991 goed-merkbaar aardbevingen voor. **Figuur 1** toont het verloop van de gaswinning tussen 1963 en 2015. Duidelijk te zien is dat in de 1970-er en 1980-er jaren veel meer gas uit de grond is gehaald (zónder aardbevingen)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

Het 'Groningenveld' is voor Nederland en zijn buurlanden zeer belangrijk. 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 53 jaar moet de NAM ruim € 30 miljard hebben geïncasseerd.

¹ Dit is een pre-publicatie, op 8 juni 2016 compact gepresenteerd voor de Groninger Bodem Beweging te Loppersum. Het overgrote deel van het betoog is bedoeld voor verdere uitwerking t.b.v. vaktijdschrift *Ruimtelijke Veiligheid en Risicobeleid* (sept. 2016). Met dank aan verschillende collega's van de Nederlandse Vereniging voor Risicoanalyse en Bedrijfszekerheid.

² De auteur is emeritus-hoogleraar omgevingspsychologie en besliskunde bij de Faculteit Gedrags- en Maatschappijwetenschappen. Hij is het faculteitsbestuur erkentelijk voor de geboden gastvrijheid en onderzoeksfaciliteiten.

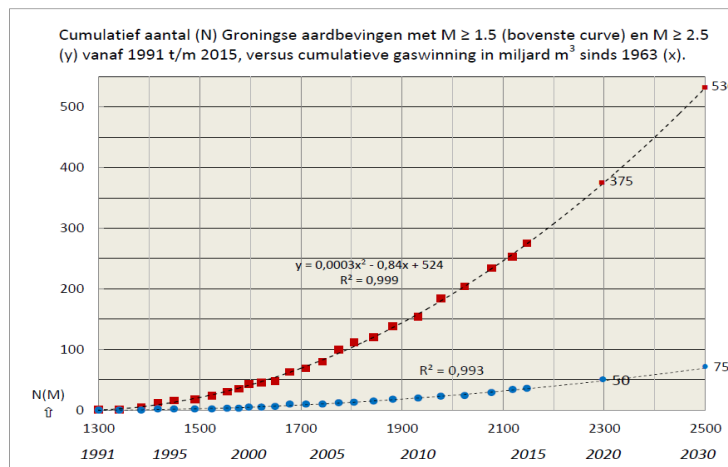
De voortdurende, omvangrijke gaswinning veroorzaakt een aanzienlijke drukverlaging in de poreuze zandsteenlaag op 3 km diepte waaruit het gas wordt gewonnen. Dit zorgt voor toenemende compactie (inklinking) van de ondergrond, met als gevolg een flinke bodemdaling (tenminste 50 cm rond 2050) en steeds meer ‘seismische activiteit’. De bovengrondse gevolgen daarvan zijn verschillend voor bouwwerken op zand-, klei- en veengronden.



Figuur 1. Jaarlijkse gaswinning-Groningen in miljard m³ tussen 1963 en 2015 (bron: NAM).

Volgens de KNMI-lijst van geïnduceerde (*‘man-made’*) aardbevingen hebben zich van 1991 t/m 2015 275 aardbevingen met $M \geq 1.5$ voorgedaan.³ 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 $M = 3.6$). De lange KNMI-lijst geeft een solide gegevensbestand waarop de volgende analyses zijn gebaseerd. **Tabel 1** in paragraaf 2 geeft een overzicht van geregistreerde aantallen aardbevingen *per 5 jaar* tussen 1991 en eind 2015.

Figuur 2 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.⁴ Op grond van dit overduidelijke verband kan worden voorspeld dat er bij een cumulatieve gaswinning van 2300 mrdm³ omstreeks 2020 in totaal – vanaf 1991 – 375 aardbevingen met $M \geq 1.5$ zullen zijn opgetreden, waarvan 50 met $M \geq 2.5$, althans zolang de gaswinning doorgaat met, zeg, tenminste 20 mrdm³ per jaar. Bij 2500 miljard m³ gaswinning (omstreeks 2030) zouden er alles bij elkaar zo’n 530 bevingen met $M \geq 1.5$ zijn opgetreden, waarvan 75 met $M \geq 2.5$.

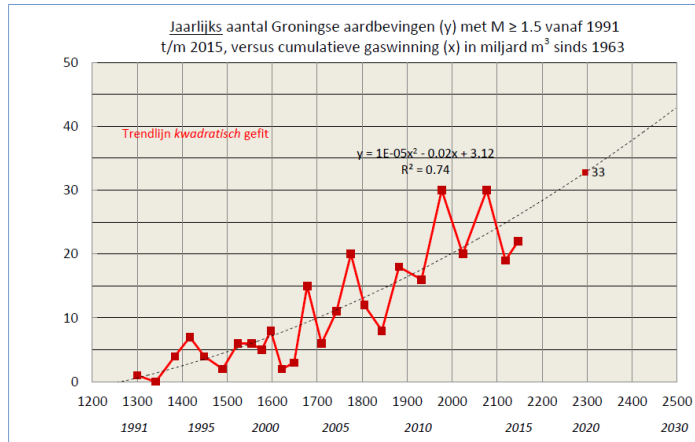


Figuur 2

³ KNMI-Seismologie (t/m 3-6-2016). Lijst van geïnduceerde aardbevingen in Nederland. http://cdn.knmi.nl/knmi/map/page/seismologie/all_induced.pdf.

⁴ Een soortgelijke figuur, maar dan voor het totaal aantal bevingen met $M \geq 1.0$, is te vinden in J. Hagoort (2015): Aardbevingen in Groningen; Statistiek en Risicoanalyse. *Ruimtelijke Veiligheid en Risicobeleid* Jrg 6. Nr. 19.

Op de kortere termijn 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 gewonnen aardgas. **Figuur 3** laat zien dat het verband tussen aardbevingen met $M \geq 1.5$ en cumulatieve gaswinning *op jaarbasis* nogal grillig verloopt.



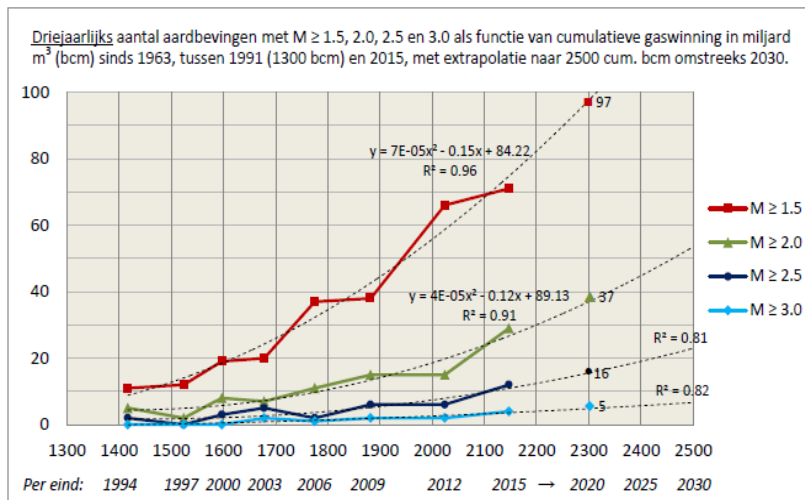
Figuur 3

Toch is wel duidelijk dat het aantal bevingen met $M \geq 1.5$ sinds 1991 ruwweg een kwadratisch (steeds sterker) stijgende trend vertoont. Extrapolatie hiervan naar een cumulatieve gaswinning van circa 2300 $mrdm^3$ per eind 2020 laat zien dat tegen die tijd per jaar 33 van zulke bevingen zijn te verwachten. Vijf jaar later, omstreeks 2025, zouden er bij 2450 $mrdm^3$ cumulatieve gaswinning jaarlijks ongeveer 40 bevingen met $M \geq 1.5$ optreden.

2. Toekomstverwachtingen met driejaar- en vijfjaar-aantallen bevingen

Figuur 4 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. Op grond van zo’n regelmatig verband kunnen betere voorspellingen worden gedaan over wat Groningen nog te wachten staat.

Volgens extrapolatie in **Figuur 4** naar 2300 $mrdm^3$ cumulatieve gaswinning zouden er omstreeks 2020 jaarlijks zo’n 32 ($\approx 97/3$) bevingen met $M \geq 1.5$ zijn te verwachten, waarvan circa twaalf ($\approx 37/3$) met $M \geq 2.0$, ongeveer vijf ($\approx 16/3$) met $M \geq 2.5$ en afgerond twee ($\approx 5/3$) met $M \geq 3.0$. Deze verwachtingen zijn – *per jaar* – weergegeven in de eerste rij van Tabel 2 onder ‘Hoofdconclusies’ in par. 6.



Figuur 4

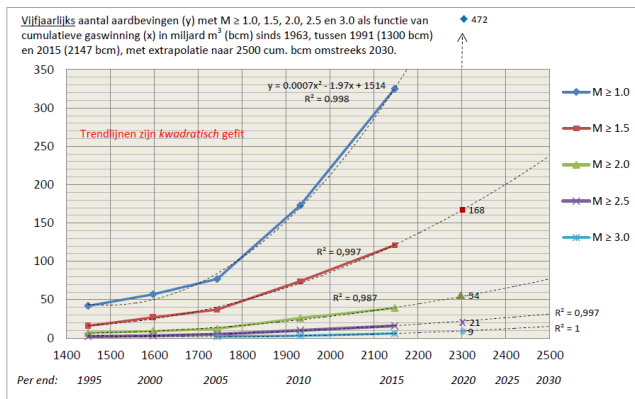
Het verband met de cumulatieve gaswinning wordt nog sterker wanneer we het aantal aardbevingen bekijken *per 5 jaar*, in relatie tot het totaal aantal mrdm³ gaswinning aan het eind van 1995, 2000, 2005, 2010 en 2015. De basisgegevens hiervoor – geteld met behulp van de KNMI-lijst (voorjaar 2016) – zijn weergegeven in **Tabel 1**.

Tabel 1. Cumulatieve gaswinning (cum. GW) in miljard m³ sinds 1963 en aantallen N(M) door het KNMI geregistreerde aardbevingen met M ≥ 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 and 3.5, voor opeenvolgende vijf-jaarperioden tussen 1991 en 2015.

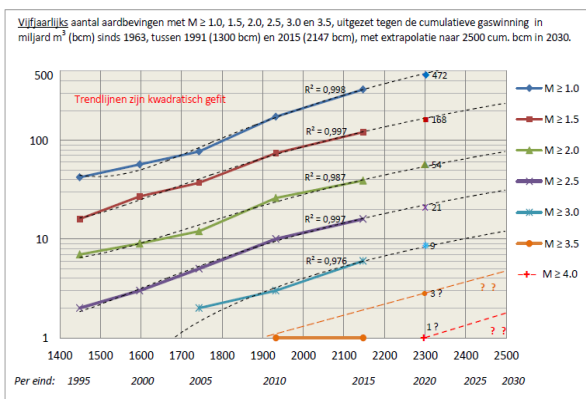
	1991-'95	1996-2000	2001-'05	2006-'10	2011-'15	Totaal
Cum. GW, mrdm ³	1449	1597	1743	1932	2147	--
N(M ≥ 1.0)	42	57	77	173	325	674
N(M ≥ 1.5)	16	27	37	74	121	275
N(M ≥ 2.0)	7	9	12	26	39	93
N(M ≥ 2.5)	2	3	5	10	16	36
N(M ≥ 3.0)	0	0	2	3	6	11
N(M ≥ 3.5)	0	0	0	1	1	2

Deze vijfjaar-gegevens zijn grafisch weergegeven in **Figuur 5a**. Deze laat zeer regelmatige, versneld stijgende verbanden zien tussen het aantal aardbevingen met M ≥ 1.0 tot M ≥ 3.0 en de cumulatieve gaswinning, in stappen van vijf jaar. Waar deze trends rond 2020 op uitlopen is van boven naar beneden aangegeven langs de verticale lijn bij 2300 mrdm³ cumulatieve gaswinning.

Meer en misschien belangrijker toekomstverwachtingen laten zich schetsen wanneer de aantallen aardbevingen niet op een lineaire schaal worden uitgezet zoals in Figuren 3, 4 en 5a, maar *logaritmisch* (met grondtal 10), zoals in **Figuur 5b**. Daardoor worden hoge aantallen betrekkelijk sterk 'naar beneden geduwd' zodat de afbeelding overzichtelijker wordt. De vrijwel rechte trendlijnen in Figuur 5b zijn kwadratisch ingepast ('gefit'); de mate van statistische passendheid ('fit') is uitgedrukt in R² (tussen 0 en 1), die hier zeer hoog uitvalt.



Figuur 5a



Figuur 5b

In Figuur 5b valt op:

- dat de toename van de 10-logaritme van het aantal aardbevingen met M ≥ 1.0 tot 3.0 steeds een vrijwel rechte lijn volgt met de toenemende cumulatieve gaswinning,
- dat de trendlijnen voor verschillende M-waarden redelijk parallel ten opzichte van elkaar liggen,
- dat de afstanden tussen belendende trendlijnen (met M-verschil van 0.5) min of meer gelijk zijn.

Een en ander klopt goed met de zogenoemde Gutenberg-Richtervergelijking over de verhoudingen tussen aantallen aardbevingen van verschillende sterkte (volgens een statistische ‘Poissonverdeling’). Met behulp hiervan kunnen we aantallen aardbevingen met hogere M-waarden inschatten.

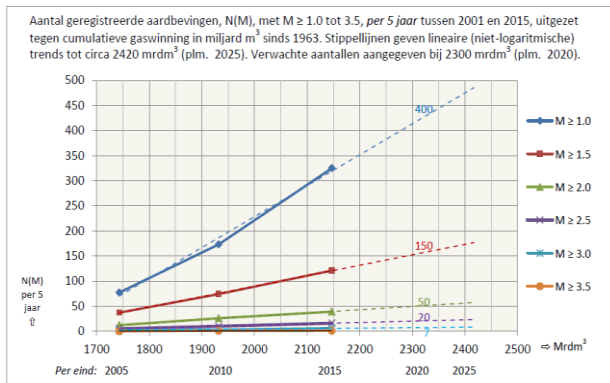
Gutenberg-Richtervergelijking. Voor een bepaald aardbevingsgebied geldt volgens ‘Gutenberg-Richter’: $N(M) = 10^{a-bM}$. Hierbij staat $N(M)$ voor het aantal aardbevingen met *tenminste* kracht M , terwijl a en b constanten zijn. Hieruit is af te leiden dat $b = \log_{10}N(M \geq x) - \log_{10}N(M \geq x+1) = \log_{10}[N(M \geq x)/N(M \geq x+1)]$. De constante b is een maat voor de afstand tussen belendende trendlijnen in Figuur 5b. Wanneer $N(M \geq x)$ en $N(M \geq x+1)$ uit aardbevingsstatistieken bekend zijn kan hiermee kan 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 tijdspannen (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 5b moeten leiden tot kaarsrechte, *exponentieel* ingepaste trendlijnen. Statistisch beschouwd bleek een licht gekromde, *kwadratische* trendlijn hier echter net iets beter te passen.

Op grond van de trendlijnen in Figuur 5a,b laat zich voorspellen dat er omstreeks 2020 *per 5 jaar* 168 bevingen met $M \geq 1.5$ zijn te verwachten. Daarvan zijn er 54 met $M \geq 2.0$, 21 met $M \geq 2.5$ en 9 met $M \geq 3.0$. Volgens de (naar beneden) geëxtrapoleerde trendlijn voor $M \geq 3.5$ zou er 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 2 in par. 6; daarbij is onder elk vijfjaar-aantal tussen haakjes aangegeven hoeveel aardbevingen er *gemiddeld per jaar* te verwachten zouden zijn.

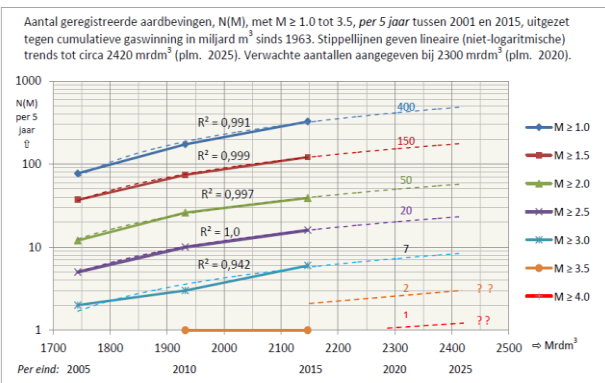
3. Voorspellingsbasis beperken tot 2001-2015?

Een kritische kanttekening bij dit alles kan zijn dat ‘voorspellen’ op grond van aardbevingsgegevens over alle 25 jaren 1991-2015 misschien wat conservatief is; laat men hierbij niet (te) veel van het verleden meewegen? De gegevens in Tabel 1 en Figuur 5a geven enige redenen om te denken dat de extrapolatie wellicht beperkt zou moeten worden tot 15 van de 25 jaar, nl. tot de 21^{ste}-eeuwse perioden 2001-2005, 2006-2010 en 2011-2015. Dan lijkt er eerder een *lineair* (niet-versneld) dan een *kwadratisch* verband zichtbaar te worden.

Dit is weergegeven in **Figuur 6a**. In **Figuur 6b** zijn dezelfde aantallen weergegeven op een \log_{10} -schaal, wat het beeld weer wat overzichtelijker maakt; de lineair (niet-kwadratisch) ingepaste trendlijnen uit Figuur 6a vallen in 6b licht gekromd uit; hun vergaande evenwijdigheid en onderlinge afstanden passen wederom goed bij de Gutenberg-Richtervergelijking. De statistische passendheid van de trendlijnen is zeer hoog (alle $R^2 > 0,99$). Dit wijst erop dat nabije-toekomstverwachtingen zeer wel gebaseerd kunnen worden op feitelijk geregistreerde aardbevingen (per vijf jaar) over de afgelopen periode 2001-2015.



Figuur 6a



Figuur 6b

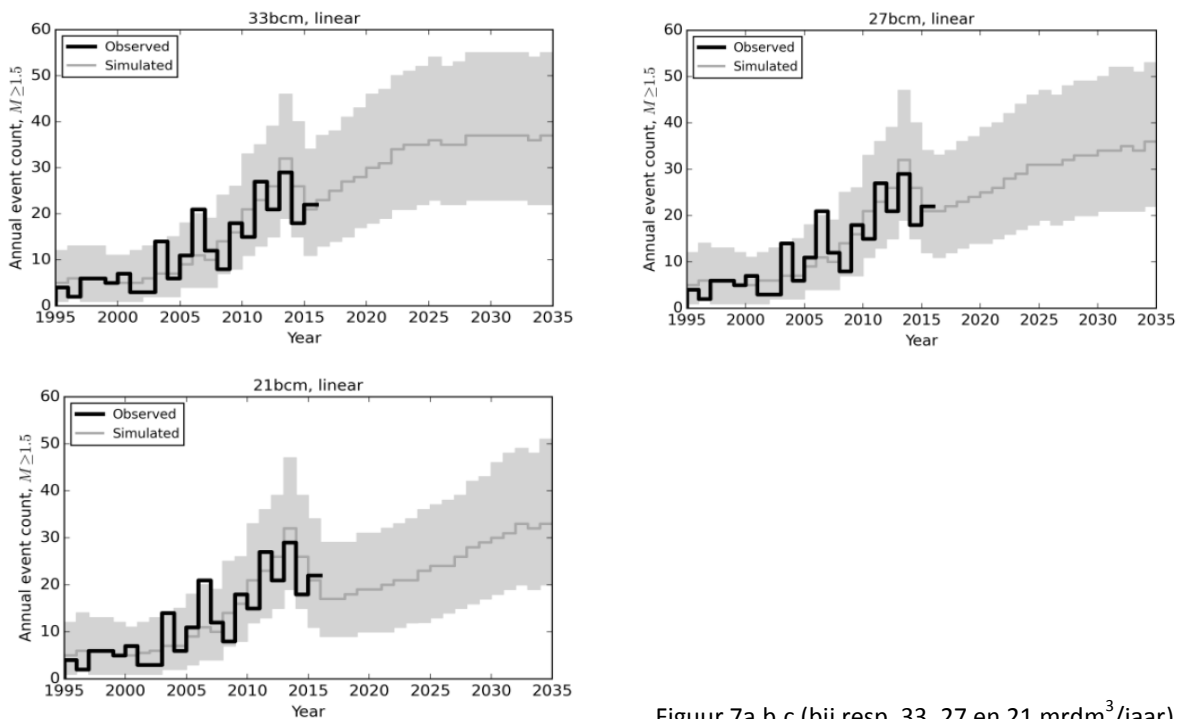
Blijkens Figuur 6a,b geeft *lineaire* trend-extrapolatie naar 2300 mrdm³ gaswinning per eind 2020 wat lagere verwachte aantallen aardbevingen per vijf jaar dan bij kwadratische extrapolatie. Omgerekend op jaarbasis zou dit neerkomen op 30 bevingen met $M \geq 1.5$, waarvan 10 met $M \geq 2.0$ en 4 met $M \geq 2.5$; een aardbeving met $M \geq 3.0$ zou zich elke anderhalf jaar voordoen; zie de derde rij van Tabel 2 in par. 6.

De logaritmische weergave in Figuur 6b laat wederom zien dat alle trendlijnen redelijke parallel aan elkaar verlopen. Daardoor kunnen ook hier nieuwe trendlijnen worden ingeschat voor de aantallen (zeldzame) aardbevingen met $M \geq 3.5$ en $M \geq 4.0$. De conclusie daaruit is (net als bij Figuur 5b) dat omstreeks 2020 *per vijf jaar* twee aardbevingen met $M \geq 3.5$ en één met $M \geq 4.0$ zijn te verwachten.

Op de wat verdere ‘tijdhorizon’ van 2500 mrdm³ cumulatieve gaswinning (rond 2030) zouden er per vijf jaar circa tweehonderd aardbevingen met $M \geq 1.5$ (gemiddeld 40 per jaar) plaatsvinden, waarvan zestig met $M \geq 2.0$ (12 per jaar), twintig met $M \geq 2.5$ (4 per jaar), tien met $M \geq 3.0$ (2 per jaar) en twee met $M \geq 3.5$ (1 per 2½ jaar). Een beving met $M \geq 4.0$ zou eens in de tien jaar te verwachten zijn.

4. Toekomstverwachtingen volgens de NAM

Volgens het Winningsplan-2016 van de NAM zal de ‘seismiciteit’ in Groningen hoe dan ook nog jarenlang toenemen. **Figuur 7a,b,c** geeft het geschatte aantal aardbevingen met $M \geq 1.5$ voor de jaren 2016 t/m 2035, volgens de drie productiescenario’s van 33, 27 en 21 mrdm³ aardgas per jaar.⁵ Hierbij geeft het grijze gebied de (grote) onzekerheidsmarge van de NAM aan.

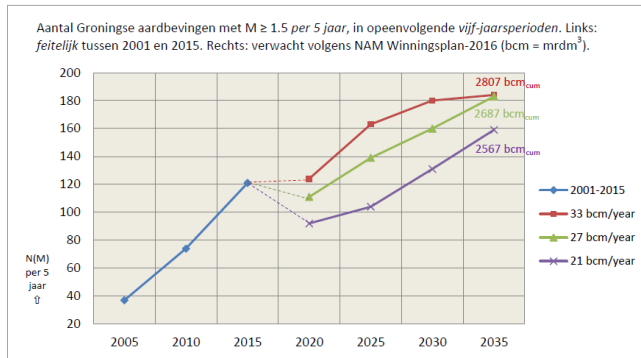


Figuur 7a,b,c (bij resp. 33, 27 en 21 mrdm³/jaar)

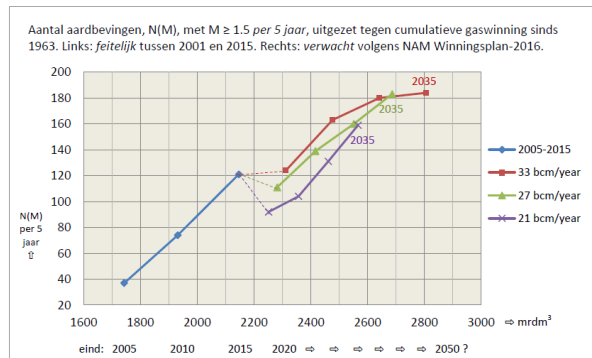
Van de gemiddelde-lijnen in Figuur 7a,b,c zijn de verwachte *jaarlijkse* aantallen aardbevingen met $M \geq 1.5$ direct af te lezen. Deze kunnen vervolgens bijeengeteld worden tot *vijfjaarlijkse* aantallen. Deze laatste zijn weergegeven in de rechterhelft van **Figuur 8a**, per eind 2020, 2025, 2030 en 2035. Links in Figuur 8a staan de vijfjaar-aantallen van *feitelijk* geregistreeerde aardbevingen per eind 2005, 2010 en 2015 (uit Tabel 1 en zoals in Figuur 6a,b).

⁵ Uit NAM Winningsplan-2016, *Technical Addendum*, hfst. 9, Appendix, p. 23.

Opmerkelijk genoeg toont Figuur 8a op dezelfde tijdstippen flinke niveauverschillen tussen de drie productievolumes van 33, 27 en 21 mrdm³ per jaar. In **Figuur 8b** 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 8b laat zien dat de verlaging in het vijfjaar-aantal aardbevingen bij verminderde jaarlijkse gaswinning tijdelijk is; na het voltooien van 2600 mrdm³ cumulatieve gaswinning omstreeks 2035 ligt het vijfjaar-aantal bevingen met $M \geq 1.5$ praktisch op hetzelfde niveau als bij voortzetting van 33 mrdm³ per jaar vanaf 2016, waarbij de gaswinning de 2800 mrdm³-limiet eerder bereikt.



Figuur 8a



Figuur 8b

Midden in Figuur 8a,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 sterker nog bij 21 mrdm³ zouden, volgens de NAM-prognose, in de vijf jaar 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 160 dan 120 per vijf jaar). 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 effect dat na enkele jaren zal zijn uitgewerkt.

5. Aantallen krachtiger aardbevingen, afgeleid uit NAM-2016

In de eerdere, logaritmische Figuur 6b zagen we vrijwel evenwijdige trendlijnen met min of meer gelijke onderlinge afstanden. Dit empirische gegeven kan worden benut om uit de NAM-figures 7a,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 (zie kader met toelichting in par. 2). Dat levert ons aantallen aardbevingen met M-waarden ≥ 2.0 , 2.5, enzovoort tot $M \geq 4.0$ en eventueel hoger.

Bij 'Gutenberg-Richter' gebruiken we dan een plausibele b-waarde van 0,954.⁶ Deze b-waarde klopt redelijk goed met het empirische feit dat, voor elke M-waarde ≥ 1.5 in Tabel 1, het aantal aardbevingen van een halve (minimum-) kracht lager ongeveer drie keer zo groot is. Bij voorbeeld, in periode 2001-2005 is $N(M \geq 1.5) = 37$ tegenover $N(M \geq 2.0) = 12$; in 2005-2010 is $N(M \geq 2.0) = 26$ tegenover $N(M \geq 2.5) = 10$; in 2010-2015 is $N(M \geq 2.5) = 16$ tegenover $N(M \geq 3.0) = 6$. Ook in de 'totaal'-kolom van Tabel 1 zijn deze verhoudingen goed zichtbaar.

Kanttekening: de b-waarde voor aantallen bevingen met $M \geq 1.0$ versus $M \geq 1.5$ ligt eerder rond 0,85, een stuk lager, hetgeen betekent dat er tussen 2001 en 2015 relatief meer lichte bevingen met $M < 1.5$

⁶ De b-waarde van 0,954 is empirisch geschat door aan de hand van Tabel 1 te kijken naar de gemiddelde waarde van $\log_{10}[N(M \geq x)/N(M \geq x + 1)]$ dan wel $2\log_{10}[N(M \geq x)/N(M \geq x + 0,5)]$, voor alle paren van aantallen feitelijk geregistreerde aardbevingen met $M \geq 1.5$ tussen 2001 en 2015. Daarbij is weinig of niets gebleken van veranderingen in de tijd en/of veranderingen in b-waarde wanneer het gaat om paren van aardbevingsfrequenties met verschillende sterkte. Voor belangstellenden is de tabel met geschatte b-waarden op verzoek beschikbaar.

zijn voorgekomen; dit is ook af te zien aan Figuren 5b en 6b: de trendlijn voor $M \geq 1.0$ ligt wat dichter tegen de overige trendlijnen aan.

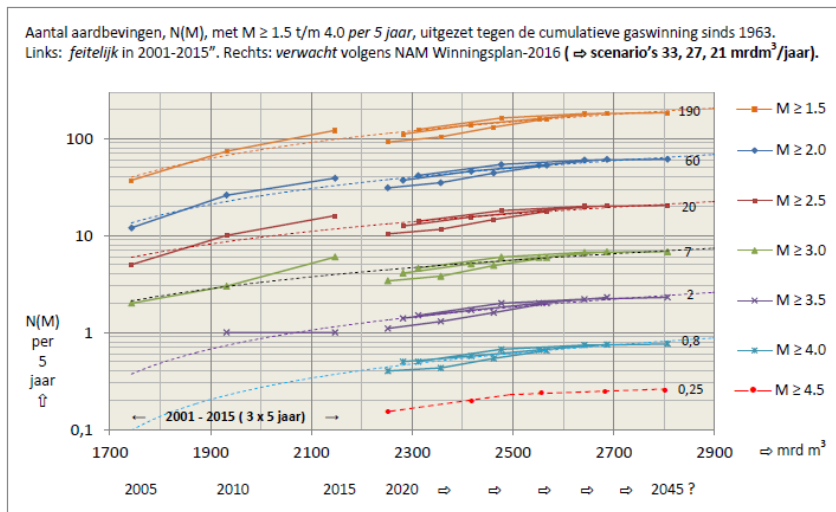
De resultaten van deze uitwerking zijn bijeengezet in **Figuur 9**. Hierin zijn wederom aardbevingsaantallen op een \log_{10} -schaal uitgezet tegen cumulatieve gaswinning t/m 2800 mrdm³.

In de linkerhelft van Figuur 9 zijn weer de vijfjaar-aantallen aardbevingen met $M \geq 1.5$ t/m 3.5 weergegeven, die tussen 2001 en 2015 feitelijk zijn geregistreerd; zie Tabel 1. Zoals eerder vastgesteld is de toename hiervan tamelijk rechtlijnig (niet-kwadratisch), behalve uiteraard voor de nog zeldzame $M \geq 3.5$.

In de rechterhelft van Figuur 9 zijn de verwachte aantallen aardbevingen met $M \geq 1.5$ t/m 4.0 (en geëxtrapoleerd ook 4.5) weergegeven. Deze zijn statistisch en met behulp van de Gutenberg-Richtervergelijking afgeleid uit de drie NAM-grafieken in Figuur 7a,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.

Terzijde: de in Figuur 8 waarneembare knik in het verloop van het vijfjaar-aantal aardbevingen tussen 2015 en 2020 wordt (uiteraard, want afgeleid) ook in Fig. 9 zichtbaar voor de hogere M-waarden dan 1.5.

Volgens deze afleiding uit de NAM-projecties (2016) zijn bij een jaarproductie van 27 mrdm³ aardgas rond 2020 (dán cumulatief 2300 mrdm³) *per vijf jaar* te verwachten: 111 bevingen met $M \geq 1.5$, 37 bevingen met $M \geq 2.0$, 13 met $M \geq 2.5$, vier met $M \geq 3.0$, 1,4 met $M \geq 3.5$, 0,46 met $M \geq 4.0$ en 0,15 aardbeving met $M \geq 4.5$. Deze aantallen zijn weergegeven in de vierde rij van Tabel 2 in par. 6.



Figuur 9

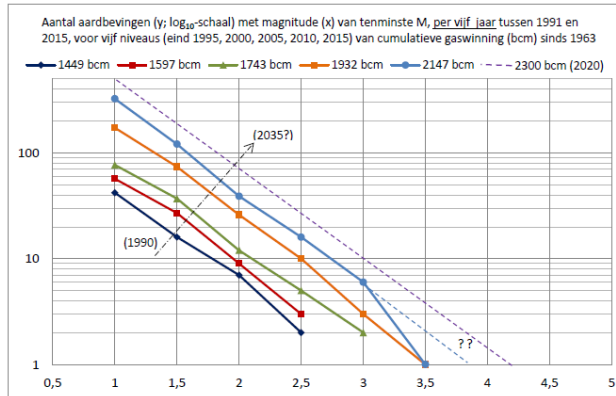
De stippellijnen in Figuur 9 geven voor elke M-waarde de *lineaire*, niet-kwadratische trend over de lange termijn, vanaf 1700 mrdm³ (eind 2005) tot 2800 mrdm³ cumulatieve gaswinning (rond 2045). Deze trendlijnen zijn bepaald op grond van alle gegevens per M-waarde, d.w.z. zowel de feitelijk geregistreerde aantallen bevingen (2001-2015) als de verwachte, uit Figuur 7 afgeleide aantallen volgens de drie productiescenario's van de NAM (t/m 2035).

Op de 'tijdhorizon' van 2800 mrdm³ cumulatieve gaswinning (2045?) zou men *per vijf jaar* kunnen verwachten: ongeveer 190 bevingen met $M \geq 1.5$, zestig met $M \geq 2.0$, twintig met $M \geq 2.5$, zeven met $M \geq 3.0$, twee met $M \geq 3.5$ en één met $M \geq 4.0$. Een beving met $M \geq 4.5$ zou eens in de twintig jaar zijn te verwachten. Deze aantallen zijn weergegeven in de vijfde rij van Tabel 2 in par. 6.

Met dit alles wordt tevens een antwoord gegeven op de vraag naar de *maximaal mogelijke aardbevingskracht*. Voorlopig lijkt $M = 4.0$ een reëel maximum ("eens per vijf jaar") te zijn. Op langere termijn, vooral

na 2030, lijkt $M = 4.5$ zeker mogelijk (“eens per 20 jaar”). Gezien het patroon van de vrijwel evenwijdige trendlijnen in Figuur 9 lijkt een aardbeving met $M \geq 5.0$ ook op lange termijn zeer onwaarschijnlijk.

De maximale M-waarde komt ook naar voren in de zgn. frequentie-magnitudegrafiek (per 5 jaar) van **Figuur 10**: mét de cumulatieve gaswinning groeit ook de waarschijnlijkheid van krachtiger bevingen.



Figuur 10

6. Hoofdconclusies over toekomstige aardbevingsactiviteit

Tabel 2 geeft een overzicht van de resultaten uit alle bovenstaande analyses.

Tabel 2. Eerste t/m vierde rij: bij cumulatieve gaswinning van **2300 mrdm³ omstreeks 2020** te verwachte aantallen aardbevingen met $M \geq 1.5$ tot 4.5, *per vijf jaar*, volgens verschillende trend-extrapolaties en de NAM-prognose (Winningsplan-2016, bij 27 mrdm³/jaar). Het *per jaar* te verwachten aantal aardbevingen is tussen haakjes onder elk vijfjaar-aantal aangegeven. De vijfde rij geeft verwachtingen bij 2800 cumulatieve mrdm³ rond 2045.

Aardbevingskracht $M \Rightarrow$	$M \geq 1.5$	$M \geq 2.0$	$M \geq 2.5$	$M \geq 3.0$	$M \geq 3.5$	$M \geq 4.0$	$M \geq 4.5$
Jaarlijks vlg <u>drie-jaartrend</u> (Fig. 4)	(32)	(12)	(5)	(2)	-	-	-
Kwadratische trend-extrapolatie 1991-2015 (25 jaar) ^a	168 (34)	54 (11)	21 (4)	9 (2)	3 (0,6)	1 (0,2)	-
Lineaire trend-extrapolatie 2001-2015 (15 jaar)	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 bcm/jaar ^b	111 (22)	37 (8)	13 (3)	4 (1)	1,4 (1/3½jr)	0,46 (1/9 jr)	0,15 (1/30jr)
Bij 2800 mrdm³ (rond 2045), afgeleid uit NAM-2016 hfst 9	190 (48)	60 (12)	20 (4)	7 (1,4)	2 (0,4)	1 (0,2)	0,25 (1/20jr)

^a Bij extrapolatie van een *exponentiele* trendlijn (zie kader par. 2) vallen de verwachte vijfjaar-aantallen wat hoger uit, resp.: 198, 60, 28, 9, 3 en 1 voor $M \geq 1.5 \dots 4.0$. Een *kwadratische* trendlijn past echter net iets beter en leidt tot wat lagere aantallen.

^b Volgens de Gutenberg-Richtervergelijking (zie kader in par. 2), met een geschatte b-waarde van 0,954 voor alle $M \geq 1.5$ over 2001-2015 in Tabel 1. Figuur 9 geeft ook de (afgeleide) NAM-prognoses bij een gasproductie van 33 en 21 mrdm³ per jaar.

Uit Tabel 2 en de voorafgaande paragrafen zijn de volgende hoofdconclusies te trekken.

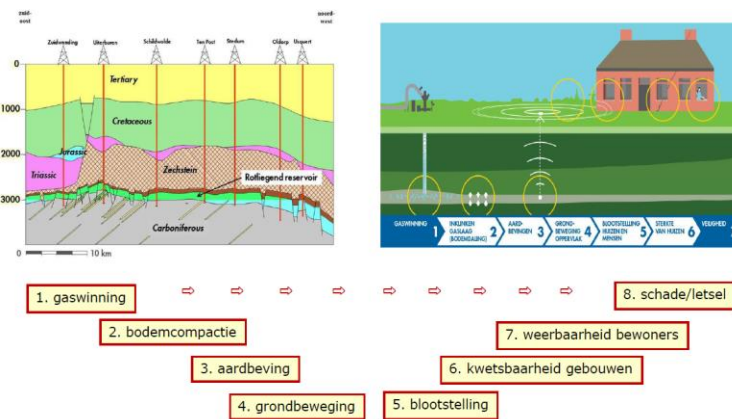
1. Statistische analyse van aantallen feitelijk geregistreerde aardbevingen per vijf jaar tussen 1991 en 2015 leidt tot overduidelijke verbanden tussen cumulatieve gaswinning en seismische activiteit. Via trend-extrapolatie zijn plausibele voorspellingen te doen over het aantal en de kracht van aardbevingen die Groningen nog te wachten staan.
2. De aardbevingsactiviteit zal voorlopig nog toenemen en enkele decennia voortduren, totdat vrijwel alle 2800 miljard m³ aardgas (of meer?) uit Groningen is gewonnen.

3. De maximale aardbevingskracht zal de komende tijd liggen rond $M = 4.0$ en op langere termijn ooit $M = 5$ kunnen bereiken. Sterkere aardbevingen zijn zeer onwaarschijnlijk.
4. De aardbevingsprognoses van de NAM voor de komende tien jaar zijn aanzienlijk lager (\Rightarrow minder seismiciteit) dan men zou verwachten op grond van statistische extrapolaties van feitelijk geregistreerde aantallen aardbevingen over 1991-2015 (25 jaar) en 2001-2015 (15 jaar).
5. Voor de seismische activiteit op termijn van 5 à 10 jaar maakt het jaarvolume van de gaswinning (33, 27 of 21 mrdm³) weinig uit. Wel lijkt het er op dat bodemdaling en seismische activiteit bij een (veel) lager winningstempo worden verzacht en uitgesmeerd over (veel) langere termijn.⁷

7. Wat is ‘seismisch risico’ en hoe valt dit te beheersen?

NAM en SodM maken onderscheid tussen ‘seismische dreiging’: de kans op een aardbeving, en het ‘seismisch risico’: de kans op schade en/of letsel door aardbevingen. Het meerjarenprogramma-gebouwenversteving van de Nationaal Coördinator Groningen is vooral gericht op het verlagen van de kans op overlijden bij woninginstorting als gevolg van een aardbeving. Deze kans zou niet hoger mogen zijn dan 10^{-4} (een op de 10.000) per jaar. Dit betekent nog altijd dat bij een aardbeving in Groningen – elk jaar – een op de tienduizend bewoners/gebruikers van zulke kwetsbare woningen (de nationale normwaarde is 10^{-5} per jaar) zou ‘mogen’ overlijden. Volgens de minister zelf zou het gaan om ongeveer 10.000 kwetsbare woningen en (dus) circa 25.000 bewoners.

Maar wat in Groningen wordt ondergaan en gevreesd verdient een meeromvattende omschrijving. ‘Seismisch risico’ kan realistischer worden gedefinieerd als een samenstel van kansen om – als gevolg van een of meer aardbevingen: (a) te overlijden, en/of (b) materiële schade op te lopen, en/of (c) verlies te lijden in kwaliteit-van-leven. Maar dan zou de ‘seismische dreiging’ er toch meteen bij moeten worden betrokken; immers, zonder dreiging kan er geen risico zijn. Hoe dit oorzakelijk in elkaar steekt wordt duidelijk aan de hand van **Figuur 11**.



Figuur 11 (o.g.v. afbeeldingen NAM/SodM)

Aan de hand van Figuur 11 kunnen zeven veiligheidsstrategieën worden onderscheiden, als volgt.

Veiligheidsstrategie	Concrete maatregelen
1. Forse reductie van gaswinning, voor langere tijd	➤ Gasvraag verlagen, conversie van hoog- naar laag-calorisch gas verhogen, meer import vanuit buitenland

⁷ Redelijkerwijs kan worden verondersteld dat de onvermijdelijke ondergrondse compactie veel geleidelijker en minder schoksgewijze zal verlopen naarmate de drukverlaging door gaswinning aanzienlijk wordt vertraagd. Dit is een geologische onderzoekswestie met belangrijke implicaties voor regionale veiligheid, maatschappelijk welzijn en het programma-gebouwenversteving.

2. Voorkomen of tegengaan van bodemcompactie	➤ Injectie van water, stikstof of zelfs CO ₂ (ingrijpend, verstorend, kostbaar, nog onrijp)
3. Vermindering van blootstelling aan aardbevingsrisico	➤ Verhuizen/verplaatsen van bewoners en/of activiteiten en/of vitale infrastructuur
4. Versterken van kwetsbare gebouwen/infrastructuur	➤ Massale gebouwenversterking ‘van binnen naar buiten’; cf. Meerjarenprogramma Nationaal Coördinator Groningen (NCG)
5. Bevorderen van zelfbescherming en hulpverlening	➤ ‘Risicowijzer’ met nood-instructies, ‘Incidentbestrijdingsplan’ Veiligheidsregio Groningen (2014)
6. Schadeloosstelling van gedupeerden (vnl. woningschade)	➤ Regeling schadevergoeding door NAM t.b.v. circa 60.000 gedupeerden (via Centrum Veilig Wonen en NCG)
7. Bewoners/gebruikers compenseren voor ‘leven met gevaar’	➤ Regeling waardevermeerdering woningen e.a. zaken (isolatie, zonnepanelen, dorpsprojecten)

Hierbij kan het volgende worden opgemerkt.

- a. Het Nederlandse kabinet richt zich vooral op
- Strategie 1: reductie van gaswinning (tot 27 mrdm³/jaar) met behoud van ‘leveringszekerheid’,
 - Strategie 4: zo snel mogelijke gebouwenversterking (via CVW/NCG),
 - Strategie 6: schadeloosstelling van gedupeerden (via de NAM),
 - Strategie 7: compensatie van risico-blootgestelden (b.v. via waardevermeerdering woningen).

Kanttekening: Het belangrijkste advies van het Staatstoezicht op de Mijnen in december 2015 (p. 43) was: “Breng de gasproductie terug tot een niveau waarbij het seismisch risico geminimaliseerd en zoveel mogelijk gestabiliseerd wordt, maar waarbij zodanig gelijkmatig wordt geproduceerd, dat snelle productiefunctuaties (tijdsduur week/maand) vermeden worden.”

Hierbij wordt echter niet duidelijk in hoeverre het SodM vasthoudt aan zijn opvatting dat een 40%-reductie in gaswinning (van 50 naar 30 mrdm³ per jaar, toen) het aantal verwachte aardbevingen met $M \geq 1.5$ met ongeveer 50% zal verminderen (SodM-briefadvies van 22 jan. 2013, p. 8).

- b. Eigenlijk hadden minder gas winnen (Strategie 1), compactie tegengaan (2) en gebouwenversterking (4) al rond 1995 in gang gezet kunnen worden, “met de kennis van toen”.
- c. Bovenstaande statistische analyse met vooral de Figuren 6 en 9 maakt duidelijk dat een reductie tot 27 mrdm³ gaswinning per jaar niét of slechts tijdelijk zal leiden tot vermindering van de aantallen meer en minder krachtige aardbevingen.
- d. Het is zeer de vraag of een programma-gebouwenversterking, gericht op een toch al versoepelde kansnorm (10⁻⁴/jaar) voor individueel overlijden, wel voldoende bescherming kan bieden tegen toekomstige aardbevingschade, levensbedreiging en vermindering van kwaliteit van leven.
- e. Voor de ontwikkeling van Strategie 2, tegengaan van bodemcompactie, zal veel tijd en geld nodig zijn; het is *sowieso* de vraag of hiermee tijdig voldoende veiligheid zou kunnen terugkeren.⁸
- f. Met vermindering van risico-blootstelling (Strategie 3) en bevordering van zelfbescherming (5) wordt meer eigen verantwoordelijkheid bij gebiedsbewoners/-gebruikers gelegd. Zaken als opkoopregeling en verhuispremies zijn hier van belang. Zelfbescherming wordt gestimuleerd door de Veiligheidsregio Groningen, o.m. via hun ‘Risicowijzer’. Bij gevaar dat van buiten komt zal dit echter meestal beperkt-effectief kunnen zijn.

⁸ Ook stikstofinjectie (zoals de NAM uitprobeert in gasveld De Wijk) is een urgente, belangrijke onderzoekswestie. Zou dit voor Groningen überhaupt realistisch, betaalbaar en regionaal-maatschappelijk aanvaardbaar zijn?

8. Beoordeling van ‘aanvaardbaar risico’

Het (ingeperkte) ‘veiligheidsrisico’ waar het in het aardbevingsbeleid over gaat betreft de *kans (p) om te overlijden als gevolg van woninginstorting bij een aardbeving met een zekere grondversnelling*. Formeel is dit weer te geven als een gebeurtenis waarbij aan vijf voorwaarden (achter de verticale streepjes) moet worden voldaan:

p(overlijden | niet worden gered | niet zelf kunnen ontsnappen | woninginstorting | grondversnelling | aardbeving).

Dit is een veeleisende formule die praktisch niet gemakkelijk is te bemeten. Een eerste vraag voor de (vnl. bouwkundige) beoordelaars van individuele veiligheid is dan ook: kan de kans om te overlijden als gevolg van een aardbeving betrouwbaar genoeg worden ingeschat om deze kans vervolgens te kunnen toetsen aan de officiële kansnorm van 10^{-4} dan wel 10^{-5} per jaar?

Maar wanneer risico meeromvattend wordt omschreven, dan is een tweede vraag: Hoe worden diverse mogelijke negatieve gevolgen van een of meer aardbevingen in kaart gebracht en tezamen beoordeeld op ‘ernst van gevaar’? En hoe werkt dit dan door in de risico-normstelling?

Hoe breed of smal men de term ‘aardbevingsrisico’ ook opvat, men kan daarbij verschillend denken over de grondslag voor uitspraken over ‘aanvaardbaar risico’. Om te beginnen heeft dit te maken met de definitie en meetbaarheid van risico (alleen ‘kans’, of ‘kans x effect’?). Maar het houdt ook verband met grenswaarden, regels of procedures voor wat ‘aanvaardbaar’ kan worden genoemd.

De volgende manieren van redeneren over aanvaardbaar risico zijn min of meer gangbaar.

1. *‘Bootstrapping’* (zich aan eigen schoenveters optrekken): Ga af op wat in het verleden ‘normaal’ werd gevonden.
2. *Normstelling*: Stel grenswaarden vast voor kans op, en/of omvang van mogelijke ongevallen of verliezen, dan wel een dalende kansnormlijn voor toenemend-ernstige gevolgen (b.v. aantal doden).
3. *Afweging*: Taxeer kosten, baten en risico’s van de activiteit en weeg risico’s af tegen netto baten.
4. *Billijke(r) kosten-batenverdeling*: via voorlichting, compensatie, participatie, betere lastenverdeling en/of strategisch planalternatief.
5. *Beheersbaarheid*: Risico is aanvaardbaar wanneer de weerbaarheid van blootgestelde personen (juist) groter is dan de dreiging.
6. *Voorzorgsbeginsel*: géén beslissingsregel, maar een ‘behoedzame’ grondhouding van redelijke beslissers (uit te drukken in overwegingen 2-5 hierboven).

Inzake de Groningse gaswinning kan hieruit worden geconcludeerd :

- dat de onvrijwillige, ‘man-made’ aardbevingsrisico’s soms ten onrechte worden vergeleken met wat ‘normaal’ zou zijn op het gebied van het verkeer, extreem weer of overstromingsgevaar;
- dat de risico-normstelling ‘tijdelijk’ versoepeld is onder *afweging* van nationale belangen;
- dat een nationale kosten-batenafweging ten gunste van voortgaande gaswining redelijk lijkt, maar in feite maatschappelijk onevenwichtig is (de baten zijn nationaal, de schade en risico’s zijn lokaal);
- dat het SodM-advies van 22 jan. 2013 zorgwekkend genoeg was om onmiddellijk te leiden tot een forse reductie in gaswinning totdat degelijk onderzoek meer helderheid zou hebben gebracht.

Een niet-onbelangrijke bijkomstigheid is de beleidsnota: ‘*Bewust Omgaan met Veiligheid: Rode Draden*’, in juli 2014 gepubliceerd door het ministerie van Infrastructuur en Milieu. Over beleidsproblemen met omgevingsrisico’s werden daarin vier kernvragen voorgesteld: (1) Is het veilig genoeg? (2) Kan het risico worden verkleind? (3) Is dat betaalbaar? (4) Is het proportioneel?

Voor de aanpak van concrete veiligheidsproblemen werden in de BOMV-nota tien uitgangspunten genoemd die al eerder door het kabinet waren vastgesteld. Speciaal van belang voor ‘Groningen’ zijn de

uitgangspunten ‘transparant besluitvormingsproces’, ‘burgers meer betrekken bij beleidsvorming’, ‘cumulatie van risico’s meewegen’ en ‘voorzorg betrachten bij nieuwe, onzekere risico’s’.

9. Twaalf redelijke richtlijnen voor omgevingsveiligheid

Uit bovenstaande uitgangspunten en overwegingen omtrent ‘aanvaardbaar risico’ is een dozijn richtlijnen te destilleren over het veilig (genoeg) omgaan met omgevingsrisico’s van de gaswinning.⁹

Richtlijn 1: Basisveiligheid garanderen.

Door de toegenomen frequentie en zwaarte van aardbevingen worden duizenden woningen en andere gebouwen verzwakt en bedreigd door instortingsgevaar. Daardoor zijn dodelijke slachtoffers in de nabije toekomst niet uitgesloten. Woninginspectie, schadevergoeding en reparatie verlopen traag en moeizaam. Groningers voelen zich bedreigd in hun bestaans- en ontwikkelingsmogelijkheden. Basisveiligheid schiet tekort.

Richtlijn 2: Meer baten, meer risico.

Het Groningse gas leverde de staat jarenlang rond de € 10 miljard en de NAM als exploitant circa € 1 miljard op. Vooral door de dalende gasprijs gaat dit voor 2016 teruglopen naar plm. € 3,5 miljard. Het grote belang van de aardgasvoorziening en de Nederlandse gasbaten lijkt de regionale veiligheidsbelangen in de schaduw te stellen. Politiek gewetensprobleem is hier: (a) dat beleidsmakers het toenemende aardbevingsrisico vanaf 1995 hebben kunnen zien aankomen en (b) dat de plaatselijke bevolking niet veel eerder is geïnformeerd en/of geconsulteerd over een veilige (mate van) voortzetting van de gaswinning.

Richtlijn 3: Ongevalskansen begrenzen.

Forse beperking van de gaswinning zou op termijn flink minder aardbevingsrisico opleveren. Hierover is het SodM (2015) positiever gestemd dan de adviescommissie ‘Omgaan met Risico’s van Geïnduceerde Aardbevingen’ (Commissie-Meijdam, dec. 2015). Naast een risiconorm voor individueel overlijden vroeg het SodM ook om bepaling van het groepsrisico (GR: kans op 10 of meer doden ineens). In plaats daarvan stelde de adviescommissie een ‘maatschappelijk veiligheidsrisico’ voor, dat door de NAM wordt ‘berekend’. Het staat nog te bezien of deze risicomaten – op allerlei plekken – voldoende betrouwbaar kunnen worden ingeschat.

Richtlijn 4: Voorzorg betrachten.

Omdat de Groningse veiligheidsbelangen decennialang zijn gedomineerd door gaswinbelangen (Onderzoeksraad voor Veiligheid, 2015) valt hier slechts vast te stellen dat passende voorzorg al omstreeks 1995 op gang had kunnen worden gebracht, hetzij via tijdige en massale gebouwenversterking (maar zou Groningen dat toen hebben geaccepteerd?), hetzij door tijdige vermindering en uitsmering over langere tijd van de gaswinning.

Richtlijn 5: Evenwicht tussen over- en onderbescherming.

Rondom de gaswinning is nog geen sprake van onnodige en al te dure overbescherming tegen feitelijke en mogelijke aardbevingsschade. De vraag is wel of het kostbare programma van woninginspectie, schadevergoeding en gebouwenversterking überhaupt effectief kan zijn, ook gezien het feit dat sinds 1963 reeds drie kwart van de Slochterse gasbel uit de grond is gehaald en de gaswinning *sowieso* langzaam vermindert.

Richtlijn 6: Risicocumulatie beperken.

“Gaswinning is niet gevaarlijker dan deelname aan wegverkeer of wonen onder zeeniveau.” Wie zoiets beweert moet bedenken dat aardbevingsrisico’s feitelijk worden *toegevoegd* aan verkeers- en overstromingsrisico’s, waardoor de regio als geheel onveiliger is geworden. Gaswinning beperken, minder autorijden en/of verhuizen naar elders zou dit probleem kunnen verminderen.

Richtlijn 7: Weerbaarheid vergroot risicotolerantie.

Wanneer en voor zover Noordoost-Groningen geheel ‘aardbevingsbestendig’ zou zijn, zou meer en langer aardgas kunnen worden gewonnen, waarbij de bodemcompactie zou kunnen voortschrijden. Vooralsnog schiet

⁹ Deze paragraaf is een compacte weergave uit 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.

de aardbevingsbestendigheid echter grotelijks tekort. Daardoor wordt verdere gaswinning in feite (politiek) ernstig belemmerd.

Richtlijn 8: Vrijwillige risico-nemers dragen verantwoordelijkheid.

Wie zich thans geheel vrijwillig in het aardbevingsgebied vestigt dan wel een redelijk verhuisaanbod afwijst mag zelf verantwoordelijk worden gehouden voor de mogelijke ongewenste gevolgen van zijn of haar keuze. Betrokkene moet uiteraard wel voldoende geïnformeerd zijn over alle relevante aspecten van de beschikbare keuzemogelijkheden.

Richtlijn 9: Onvrijwillig blootgestelden tegemoet komen.

De onvrijwillige blootstelling aan aardbevingsrisico's noopt de rijksoverheid en de NAM tot openheid naar en goed overleg met bewoners, tot inspectie van allerlei gebouwen en vergoeding van bevingsschade, tot een zekere risicocompensatie ('gevangeld') en tot versterking (alsnog..) van talrijke gebouwen en andere infrastructuur. De waardevermeerderingsregeling is hierbij een belangrijk instrument.

Richtlijn 10: Brede risicokarakterisering.

Aardbevingsrisico's van mijnbouwactiviteiten zijn 'man-made', ruimtelijk grootschalig, vertraagd in de tijd, collectief treffend, huishoudelijk bedreigend, onzeker, onvrijwillig en moeilijk beheersbaar. Ze zijn statistisch redelijk te benaderen maar geomechanisch lastig in te schatten. Voor blootgestelde leken gaat het om iets onbegrijpelijks en angstaanjagends, waarin zij sterk afhankelijk zijn van deskundigen. Goed besef van dergelijke risicokenmerken vergemakkelijkt het veiligheidsbeleid en de communicatie met de blootgestelde bevolking.

Richtlijn 11: Risico's zinvol vergelijken.

Volgens een brede risicokarakterisering laten 'man-made' aardbevingsrisico's zich al lastig vergelijken met andere collectieve risico's zoals die van overstromingen, een kernongeval of terrorisme. Vergelijkingen met wegverkeer of vliegvluchten passen nog minder. Alleen op hoog-abstract, strategisch niveau kan men de vraag stellen of meer veiligheidsgeld nodig is voor de gaswinning dan voor dijkverhogingen en/of terreurbestrijding.

Richtlijn 12: Verantwoordelijkheden verdelen.

Veiligheid tegen aardbevingsrisico's is primair een zaak van de rijksoverheid die de gaswinning vergunt. Daarna moet de NAM zorgen voor omgevingsveiligheid en de vergoeding van aardbevingsschade. Plaatselijk zijn gemeentebesturen verantwoordelijk voor openbare orde en veiligheid. Bewoners kunnen zelf mede zorg dragen voor hun eigen bescherming en goede vluchtplannen bij een calamiteit. Er kan dus systematisch worden bekeken hoe diverse, meer en minder directe veiligheidstaken het beste kunnen worden verdeeld.

10. Tot slot: fundamentele vragen, dilemma's en een conclusie

Zoals eerder opgemerkt door de Nederlandse minister van Economische Zaken zelf: de Groningse aardbevingsproblematiek is uniek in de wereld en zit vol onzekerheden. Dit brengt niet alleen veel wetenschappelijk kwesties, maar ook politieke gewetensvragen met zich mee. Enkele daarvan zijn:

- Is existentiële veiligheid (bestaanszekerheid) wel toetsbaar aan risiconormen?
- Hoe ver moet regionale basisveiligheid wijken voor het nationale belang van de gaswinning?
- Welk gaswinstscenario is redelijk, rechtvaardig en realistisch (35, 25, 15 mrdm³ per jaar)?
- Hoe overtuigend is massale gebouwenversteving bij onzekere risicoschattingen?
- Wat geeft 'herstel van vertrouwen': open informatievoorziening, publiekseducatie, contra-expertise, eerlijkheid over dilemma's, ruime schadevergoeding?
- *Veiligheid is vooral een zaak van beheersing van dreiging, blootstelling en kwetsbaarheid.*