

# Advies over de berekening van veiligheidsrisico's voor de infrastructuur in Groningen ten gevolge van geïnduceerde aardbevingen

## Samenvatting

Het hooglerarenpanel is gevraagd om advies uit te brengen over de bepaling en duiding van veiligheidsrisico's die veroorzaakt kunnen worden door falende infrastructuur en de eventuele domino-effecten daarvan als gevolg van geïnduceerde aardbevingen.

De hoofdedeneerlijn van het panel is dat:

- De veiligheidsfilosofie moet zijn dat voor de bepaling van geïnduceerde aardbevingsrisico's in Groningen waar mogelijk aangesloten moet worden bij het gangbare risicobeleid in Nederland dat uitgaat van probabilistische normering van het individueel risico tot  $10^{-5}$  per jaar.
- Daar waar er gebrek is aan kennis over het risico dat geïnduceerde aardbevingen met zich meebrengen voor de infrastructuur dient idealiter Bayesiaanse statistiek te worden ingezet om toch een reproduceerbare kwantitatieve inschatting van het risico te kunnen maken. De eerste input voor de Bayesiaanse statistiek is dan een ordegrootte inschatting van de relevante parameters door experts en vervolgens continue verfijning op basis van meetgegevens.
- Domino-effecten ontstaan als materialisatie van een risico leidt tot materialisatie van een ander risico. Bij de bepaling van een risico dienen de domino-effecten te worden mee berekend door samenstelling (convolutie) van de kansverdelingen van de betreffende risico's, waarbij de kansverdeling van het geïnduceerde risico geconditioneerd dient te worden op het plaatsvinden van het eerste risico.
- In de huidige situatie van afnemende seismische hazard en achterblijvende realisatie van versterking moet het betere echter niet de vijand van het goede worden. Het streven moet zijn om, conform het mei 2019 advies van de Mijnraad, de complexiteit van veiligheidsberekening en uitvoering van versterkingsmaatregelen te verminderen, niet om alle onzekerheden weg te willen nemen tegen elke prijs. Daarom zijn de volgende praktische uitgangspunten verstandig:
  - Als het maken van voldoende betrouwbare kwantitatieve risicoberekeningen meer inspanning kost dan het nemen van een maatregel moet die maatregel simpelweg genomen worden. Deel van de afweging kan zijn om tijdelijke (organisatorische) maatregelen te nemen totdat de hazard voldoende gedaald is.
  - Berekeningen moeten echter alleen worden gemaakt als volgens een kwalitatieve inschatting van experts een significant risico te verwachten is.
  - Als uit de berekening van de kans op een specifieke ongewenste gebeurtenis als gevolg van geïnduceerde aardbevingen blijkt dat deze kans een ordegrootte lager is dan de beleidsmatig geaccepteerde kans op die specifieke ongewenste gebeurtenis als gevolg van andere risico's dan hoeft niet verder gerekend te worden aan de effecten: het risico op de specifieke ongewenste gebeurtenis is dan met voldoende zekerheid acceptabel.

## 1. Inleiding

In het voorjaar van 2018 heeft de minister van EZK aan een panel van hoogleraren, bestaande uit prof. dr. Eric Cator (Applied stochastic, Radboud Universiteit Nijmegen), prof. dr. Ira Helsloot (Besturen van veiligheid, Radboud Universiteit Nijmegen) en prof. dr. ir. Jan Rots (Structural mechanics, Technische Universiteit Delft), gevraagd om onder auspiciën van de Mijnraad te adviseren over de berekeningswijze van het risico in en rond gebouwen vanwege de geïnduceerde aardbevingen in Groningen. De definitieve versie van dit advies is verschenen op 31 juli 2018 en is onder andere input geweest voor het advies van de Mijnraad van juli 2018 en (daarmee) voor het instemmingsbesluit Groningen gasveld 2018-2019.<sup>1</sup>

Verschillende partijen zoals de Mijnraad, Tcbb en de veiligheidsregio Groningen hebben in hun advies op de aanvullingen bij het winningsplan (2016) van NAM onder andere gevraagd om berekening van het risico dat infrastructuur bezwijkt en van mogelijke cumulatie-effecten.

De Tcbb (10 juli 2018) zegt: 'De Tcbb adviseert om de risico's gerelateerd aan industrie, infrastructuur en waterkeringen in kaart te brengen voor de beoordeling van het totale risico.'

De Regio Groningen (24 juli 2018) zegt: 'De regio vraagt tevens normering voor de industrie, onderzoek en voorzorg ten aanzien van kritische infrastructuur.'

De Mijnraad (30 juli 2018) zegt: 'In navolging van de Tcbb vindt de raad dat cumulatie van risico's voor infrastructuur, industriële activiteiten en waterkeringen in kaart gebracht moet worden.'

Het ministerie van EZK heeft daarop na de zomer van 2018 het hooglerarenpanel gevraagd om een aanvullend advies op de onderstaande twee punten zoals aangekondigd in het toenmalige Ontwerp–instemmingsbesluit Groningen gasveld 2018-2019.

In het Ontwerp–instemmingsbesluit Groningen gasveld 2018-2019 schrijft de minister: 'Vanuit de regio wordt gevraagd naar de gevolgen van de afbouw van de gaswinning voor het toetskader, onderzoek en voorzorg ten aanzien van kritische infrastructuur. Daarnaast adviseren de Tcbb, de Mijnraad en de regio om de risico's gerelateerd aan industrie, infrastructuur en waterkeringen in kaart te brengen voor de beoordeling van het totale gecumuleerde risico. [...] Op de vragen over infrastructuur en mogelijke cumulatie-effecten zal ik ingaan voordat dit instemmingsbesluit van kracht wordt, mede op basis van een advies door het hooglerarenpanel.'

Gezien de korte beschikbare tijd om het gevraagde advies nog als input te kunnen laten fungeren voor het Instemmingsbesluit Groningen gasveld 2018-2019 heeft het hooglerarenpanel afgesproken in twee fases te adviseren:

- a. Een spoedeisend advies over vragen t.b.v. het Instemmingsbesluit 2018-2019 dat op 16 oktober 2018 beschikbaar is gekomen.
- b. Een integraal advies over de meer systemische vragen relevant voor de langere termijn die in de opinie van het panel meer interactie met o.a. het ministerie van IenW vragen.

---

<sup>1</sup> Op 8 november is een addendum verschenen dat over het verschil tussen het LPR, IAR en OIA ging. Op 27 januari 2019 een briefadvies over de verblijfstijd van de gemiddelde Groninger in verschillende bouwtypen.

De vragen voor het spoedeisend advies aan het panel waren:

- Is er vanuit veiligheidsrisico een aannemelijke reden die het noodzakelijk maakt om bepaalde infrastructurale objecten in het komende gasjaar 2018-2019 prioritair te versterken?
- Moet met cumulatie van risico's van industrie en infrastructuur rekening worden gehouden?<sup>2</sup>

De minister van EZK heeft het spoedeisend advies van het panel meegewogen in het Instemmingsbesluit Groningen gasveld 2018-2019.

In het Instemmingsbesluit Groningen gasveld 2018-2019 schrijft de minister: 'Aan het hooglerarenpanel heb ik gevraagd of er vanuit veiligheidsrisico reden is om bepaalde infrastructurale objecten nog het komende gasjaar 2018-2019 te versterken. Het panel stelt dat op basis van de tot dusver uitgevoerde studies en de nieuwe inzichten in het aardbevingsrisico er vanuit regulier veiligheidsperspectief geen redenen zijn voor een extra inzet op infrastructuur in het gasjaar 2018-2019. Later dit jaar komt het panel nog met aanbevelingen voor een eenduidige beoordeling van de aardbevingsgerelateerde veiligheidsrisico's bij infrastructurale objecten.'

Dit heeft ook geleid tot (zie paragraaf 4) de onderkenning dat cumulatie-effecten niet moeten worden meegewogen maar domino-effecten wel.

Daarmee bleef de vraag nog openstaan naar een geschikte structurele beoordelingswijze voor de risico's van falende infrastructuur.

In het Instemmingsbesluit Groningen gasveld 2018-2019 schrijft de minister: 'Later dit jaar komt het panel nog met aanbevelingen voor een eenduidige beoordeling van de aardbevingsgerelateerde veiligheidsrisico's bij infrastructurale objecten.'

De minister van EZK heeft daarop de volgende hoofdvraag gesteld aan het panel om invulling te geven aan het gestelde in het Instemmingsbesluit Groningen gasveld 2018-2019:

- Op welke wijze kunnen de veiligheidsrisico's bepaald en geduid worden die veroorzaakt kunnen worden door domino-effecten en falende infrastructuur als gevolg van geïnduceerde aardbevingen?

Deelvragen hierbij zijn:

- Welke veiligheidsfilosofie dient te worden gehanteerd?
- Kan een advies gegeven worden over een beoordelingskader waaraan de verschillende infrastructurale werken moeten voldoen?
- Welke mogelijkheden zijn er voor kwantitatieve versus kwalitatieve beoordeling?
- Kan een advies gegeven worden hoe praktisch met het risico van falende infrastructuur kan worden omgegaan?

In het voorliggende aanvullend advies rapporteren we over de aan het panel gestelde vragen. Voor de leesbaarheid zullen we de relevante delen van het spoedeisende advies herhalen om een integraal advies te kunnen geven over de bepaling en duiding van de veiligheidsrisico's die falende infrastructuur als gevolg van geïnduceerde aardbevingen kan opleveren.

---

<sup>2</sup> Er zijn ook vragen gesteld door de minister van EZK over het effect van de afbouw van de gaswinning op de berekeningsmethodieken voor industriële risico's zoals de LoC-toets. In het spoedeisend advies hebben we hier daarom aandacht aan besteed voor zover relevant voor het gasjaar 2018-2019. Ondertussen is een nader advies van de Werkgroep Maatgevende Aardbevingsbelasting (WMA) in mei 2019 specifiek hierover uitgebracht zodat we hieraan in dit advies geen aandacht meer besteden.

Een conceptversie van dit advies is begin augustus 2018 verspreid onder de beleidsmatig betrokken departementen en de NCG voor commentaar. Enkele daaruit blijkende onduidelijkheden in het conceptadvies zijn geadresseerd in de lopende tekst. Enkele meer principiële vragen behandelen we in aparte tekstblokjes zoals hieronder om de loop van de hoofdtekst niet te verstoren.

*Principiële vraag commentaarronde:* het panel geeft een advies over de omgang met de veiligheidsrisico's van infrastructuur veroorzaakt door geïnduceerde aardbevingen in Groningen. Zou hier niet specifiek gekeken moeten worden naar kritieke infrastructuur om te voorkomen dat alle infrastructuur doorgerekend moet worden?

*Antwoord panel:* het panel kent geen eenduidige definitie van 'kritieke infrastructuur'. De benaderingswijze van het panel om te kijken naar 'infrastructuur waarvan het falen tot dodelijke slachtoffers kan leiden' (zie hoofdstuk 2) geeft echter eigenlijk een impliciete definiëring van wat kritieke infrastructuur zou kunnen zijn. De pragmatische lijn die het panel (net als de Mijnraad) voorstaat, betekent dat een 'simpele' expertinschatting volstaat om te bepalen of infrastructuur doorgerekend moet worden.

### *Leeswijzer*

Na deze introducerende eerste paragraaf gaan we in de tweede paragraaf van dit advies in op de vraag naar de veiligheidsfilosofie en het daaruit voortvloeiende beoordelingskader voor de veiligheidsrisico's van falende infrastructuur in Groningen.

In de derde paragraaf gaan we in op de berekeningswijze van de veiligheidsrisico's van falende infrastructuur in Groningen.

In de vierde paragraaf gaan we in op de vraag naar de bepaling van domino-effecten.

In de vijfde paragraaf gaan we in op de vraag hoe praktisch om te gaan met het risico van falende infrastructuur in Groningen.

## 2. Hoe moeten de veiligheidsrisico's van falende infrastructuur als gevolg van geïnduceerde aardbevingen beoordeeld worden?

Het panel volgt de veiligheidsfilosofie dat de landelijke uitgangspunten voor risicobeleid ook moeten gelden voor het beleid voor geïnduceerde aardbevingsrisico's in Groningen.

Zoals als eerste geadviseerd in het advies van de commissie Meijdam<sup>3</sup> is het reguliere veiligheidsperspectief voor externe veiligheidsrisico's een normering van het individueel risico op overlijden als gevolg van het te normeren risico. Het gebruik van dit reguliere perspectief is door het Rijk vastgesteld als beleid. Andere adviesorganen (waaronder dit panel) hebben sindsdien telkens weer bevestigd dat dit het juiste beleid is.

Een consequentie van dit uitgangspunt was en is het gebruik van de  $10^{-5}$  norm voor het individueel risico voor de veiligheid voor het geïnduceerde aardbevingsrisico in Groningen.

*Het panel adviseert daarmee om ook de  $10^{-5}$  norm te hanteren voor het individueel risico voor de veiligheidsrisico's van falende infrastructuur als gevolg van geïnduceerde aardbevingen in Groningen.*

Dit betekent concreet dat andere (denkbare) normeringen voor de beoordeling van infrastructuur op aardbevingsbestendigheid geen rol dienen te spelen. We noemen er drie concreet omdat deze genoemd zijn in besprekingen van een concept van dit advies:

- Over het maatschappelijk veiligheidsrisico heeft het panel al eerder geconcludeerd dat de berekening daarvan een aantal methodologische bezwaren kent. Dit zou resulteren, wanneer het maatschappelijk veiligheidsrisico als leidraad voor versterking zou worden gebruikt, in versterkingen die minimaal tien keer zo zwaar zijn als de norm voor het individuele aardbevingsrisico vereist. Ook als prioriteringsinstrument heeft het geen meerwaarde ten opzichte van de ook door het panel geadviseerde catalogusaanpak.<sup>4</sup>

Het panel adviseerde daarom al eerder om dit normeringsperspectief niet te gebruiken. De minister van EZK heeft dit advies overgenomen in het Instemmingsbesluit Groningen gasveld 2018-2019 (pg. 11).

- Het is theoretisch mogelijk (ook) naar de financiële schade te kijken die een geïnduceerde aardbeving kan veroorzaken. Dit perspectief wordt bijvoorbeeld gehanteerd in de Nationale Risicobeoordeling middels een inschatting van experts. Er worden door wetenschappers methodologische vraagtekens bij deze methode gezet.<sup>5</sup> Tenminste moet worden opgemerkt dat de Nationale Risicobeoordeling geen normering kent en derhalve niet leidt tot concrete maatregelen voor geïdentificeerde risico's, zodat deze methodiek niet past bij de veiligheidsfilosofie die het panel hierboven heeft voorgesteld.

<sup>3</sup> Eindadvies 'Handelingsperspectief voor Groningen', Adviescommissie Omgaan met risico's van geïnduceerde aardbevingen 14 december 2015.

<sup>4</sup> Definitief advies panel van hoogleraren over risicobeleid en veiligheidsmaatregelen geïnduceerd aardbevingsrisico, 31-7-2018, pg. 18-19.

<sup>5</sup> Zie bijvoorbeeld Vlek, C. A. J. (2013). *How Solid Is the Dutch (and the British) National Risk Assessment? Overview and Decision-Theoretic Evaluation*. *Risk Analysis*, 33(6), pp. 948-971.

Ook voor de geïnduceerde aardbevingsrisico's in Groningen ligt het gebruik ervan daarmee niet voor de hand volgens het panel.

- Een derde mogelijk perspectief voor normering waarvoor aandacht werd gevraagd is dat van normering van de gevolgrisco's omdat hulpdiensten niet meer gebruik zouden kunnen maken van de infrastructuur. Er zou daardoor een grotere kans kunnen zijn dat inwoners om zouden komen omdat ze niet tijdig na een 'regulier' ongeval zouden kunnen worden geholpen.

Het panel merkt op dat dit methodologisch gezien niet de ontwikkeling van een separate berekeningsmethode vergt omdat dit eigenlijk ook een dominorisico (zie paragraaf 4 van dit advies) is dat theoretisch berekenbaar is met de algemene methode beschreven in paragraaf 3 van dit advies.

In de tweede plaats echter merkt het panel op dat de berekening van dit specifieke dominorisico op dit moment voor geen enkel ander risico in Nederland wordt gedaan. Het huidige veiligheidsbeleid gaat uit van domino-effecten die kunnen leiden tot dodelijke slachtoffers als *direct* gevolg van het risico dat beschouwd wordt. 'Direct gevolg' van een ongewenste gebeurtenis betekent praktisch gesproken dat mensen slachtoffer worden in de eerste uren na die ongewenste gebeurtenis (en dus wel later aan de gevolgen ervan kunnen overlijden). Zie hoofdstuk 4 van dit advies voor meer uitleg over domino-effecten.

Daarmee ligt het volgens dit panel niet voor de hand om specifiek voor het risico van geïnduceerde aardbevingen wel *indirecte* domino-effecten te normeren zoals de latere komst van hulpverleningsdiensten in de periode na een geïnduceerde aardbeving: het gaat dan om mensen die bijvoorbeeld weken na de ongewenste gebeurtenis slachtoffer worden van een niet gerelateerd ongeval.

We merken nog op dat we (dus) geen onderscheid maken tussen bestaande en nieuwe infrastructuur als het gaat om de normstelling en de berekening. Ook dit uitgangspunt is conform het huidige veiligheidsbeleid in (ook) Groningen. Het bevoegd gezag kan (en zal waarschijnlijk) andere realisatietermijnen hanteren voor bestaande versus nieuwe situaties waaraan eventueel niet aan de norm wordt voldaan, ook dit is regulier veiligheidsbeleid.

### 3. Hoe moeten de veiligheidsrisico's van falende infrastructuur als gevolg van geïnduceerde aardbevingen berekend worden?

De vraag aan het panel voor dit advies is specifiek gericht op de berekening van de veiligheidsrisico's van falende infrastructuur als gevolg van geïnduceerde aardbevingen. Het panel heeft echter breder gekeken naar de voortdurende worsteling met de berekening van de risico's van geïnduceerde aardbevingen in Groningen. Dit bijvoorbeeld in relatie tot het feit dat de door het panel aanbevolen catalogusaanpak voor een snelle, robuuste en kosten-efficiënte aanpak nog steeds niet van de grond is gekomen. Dit ondanks het feit dat de minister van EZK in het Instemmingsbesluit Groningen gasveld 2018-2019 de waarde onderkent van een aanpak middels standaard versterkingsmaatregelen per woningtype waardoor gebouwen sneller op een veilig niveau kunnen worden gebracht.

De startconstatering is dat de berekening van het risico van geïnduceerde aardbevingen in Groningen altijd een samenstelling is van een serie aan 'onderliggende' kansverdelingen. Op hoofdlijnen is dat het bekende drietal 'hazard'<sup>6</sup>, 'faalkans van objecten' en 'overlijden van mensen in of als gevolg van falende objecten'. Elk van die drie kansverdelingen is overigens zelf weer een samenstelling van andere kansverdelingen. 'Het' risico is dan, volgens het door het panel voorgestelde advies dat door andere adviesorganen en door de minister van EZK is overgenomen, de verwachtingswaarde van de samengestelde kansverdeling.

Het panel observeert dat twee samenhangende problemen telkens weer terugkomen in de praktijk bij de berekening van het risico van geïnduceerde aardbevingen:

- Er is een probleem om tot wetenschappelijk onderbouwde inschattingen van de sterkte van constructies en infrastructuur te komen bij gebrek aan harde meetgegevens. Het krijgen van die meetgegevens vergt kostbare en langdurige experimenten. Voor een aantal constructie-elementen van veel voorkomende woningtypen is dit gedaan en dit heeft waardevolle inzichten opgeleverd.
- In de afwezigheid van 'harde' meetgegevens vallen experts terug op conservatieve aannames op hun deeldomein, dat wil zeggen voor één van de onderliggende kansverdelingen. De combinatie van deze inschattingen kan dan ver verwijderd zijn van de te berekenen verwachtingswaarde. Ook bij woningen is dit zichtbaar zodat de extra verkregen constructieve kennis van woningtypen in de praktijk nog beperkte meerwaarde heeft als het gaat om het krijgen van een realistisch beeld van de sterkte van te onderzoeken woningen.

Om te komen tot een realistisch beeld van het risico moet een passende statistische methode worden ingezet.

Een moderne passende statistische methode is Bayesiaanse statistiek. Bayesiaanse statistiek geeft de mogelijkheid om toch een reproduceerbare kwantitatieve inschatting van het risico te kunnen maken in situaties van onzekerheid.<sup>7</sup>

De eerste stap voor de Bayesiaanse statistiek is dan een orde-grootte inschatting van de relevante parameters door experts op de verschillende deeldomeinen. Dit geeft de mogelijkheid om een eerste inschatting van de samengestelde kansverdeling te maken, de zogenaamde a-priori-verdeling. Het cruciale verschil met de huidig gangbare aanpak is dat experts niet wordt gevraagd om de (kansverdeling van de) *uitkomst* te schatten op hun deeldomein maar dat de experts gevraagd wordt de parameters van de onderliggende kansverdelingen te schatten (zoals type kansverdeling, verwachting en variantie). Dus als heel concreet voorbeeld: een constructiedeskundige hoeft niet het

<sup>6</sup> De kans op aardbevingen van een bepaalde sterkte ook wel seismische dreiging genoemd.

<sup>7</sup> Voor een inleiding zie Carin, B.P. and Louis, T.A. (2008), *Bayesian Methods for Data Analysis*, Chapman and Hall publishers.

effect van een geïnduceerde aardbeving van een bepaalde sterkte op de hele constructie te schatten (hetgeen een belastend gevoel van aansprakelijkheid voor de inschatting oplevert en dus conservatisme) maar 'slechts' de grootte van de parameters die die kwetsbaarheid bij aardbevingen bepalen en waarin hij inzicht heeft zoals natuurlijk de sterkte van verschillende typen verbindingen en het versterkende of dempende effect van constructie-elementen.

In vervolgstappen volgt dan continue verfijning op basis van meetgegevens. Statistisch technisch gesproken geven nadere meetgegevens informatie over een voorwaardelijke kansverdeling<sup>8</sup> en dat geeft een zogenaamde a-posteriori-verdeling. Deze a-posteriori-verdeling is dan een 'betere' benadering van de werkelijke kansverdeling dan de a-prior-verdeling.<sup>9</sup>

Na elk willekeurig aantal vervolgstappen geeft de nieuwste a-posteriori-verdeling de op dat moment beste benadering voor het risico. De verwachtingswaarde van die nieuwste verdeling is het individueel risico waaraan getoetst moet worden gegeven de meetresultaten tot op dat moment.

De Bayesiaanse berekening is praktisch gesproken 'klaar' wanneer het verschil tussen (de verwachtingswaarde van) opeenvolgende a-posteriori-verdelingen niet significant meer is. Merk echter op dat een serie van nieuwe sterk afwijkende meetresultaten uiteindelijk ook weer tot een significant afwijkende a-posteriori-verdeling kan leiden. Statistici kunnen 'op het blote oog' inschatten of dit mogelijk het geval is en dus eventueel weer opnieuw gerekend moet worden.

*Het panel geeft daarom als aanbeveling dat voor de berekening van de veiligheidsrisico's als gevolg van geïnduceerde aardbevingen idealiter Bayesiaanse statistiek wordt ingezet.*

Merk op dat de Monte-Carlosimulaties die de NAM uitvoert (en die door SodM worden onderschreven als juiste berekeningswijze) als de eerste stap in een grove Bayesiaanse berekening kunnen worden beschouwd, dat wil zeggen een berekening van de samengestelde kansverdeling op basis van een eerste inschatting van experts op deeldomeinen van de bepalende parameters van de drie onderliggende kansverdelingen 'hazard', 'faalkans van objecten' en 'overlijden van mensen in of als gevolg van falende woningen'.

---

<sup>8</sup> Een voorwaardelijke kansverdeling is de kansverdeling van een bepaalde gebeurtenis, gegeven dat een andere (deel)gebeurtenis plaatsvindt, waardoor de mogelijke uitkomsten beperkt zijn.

<sup>9</sup> In deze zin wordt 'beter' intuïtief gebruikt. Het vergt wiskundige definiëring van een maat om twee kansverdelingen te kunnen gebruiken. Zo kan gekozen worden voor het maximale 'hoogteverschil' tussen de kansverdelingen of het verwachte verschil.



#### 4. Hoe moeten domino-effecten bepaald worden?

Het panel observeert dat in de diverse rapporten, adviezen en zienswijzen die zijn uitgebracht de begrippen 'domino-effecten', 'cumulatie van risico's' en 'cascade-effecten' regelmatig door elkaar worden gebruikt.

*Definities van domino-effecten, cumulatie van risico's en cascade-effecten.*

Het panel hanteert de volgende definities:

*Domino-effecten* ontstaan als materialisatie van een risico leidt tot materialisatie van een ander risico. Plastisch uitgelegd: als het risico dat een dominosteen omvalt zich materialiseert (door dat iemand hem omdrukt) dan leidt dat ook tot het omvallen van een te nabije dominosteen die in de valrichting staat. Het bezwijken van een zeedijk als gevolg van een aardbeving zou bijvoorbeeld leiden tot een overstroming in de situatie dat de zee net op dat moment uitzonderlijk hoog is (bijvoorbeeld vanwege storm en springvloed). Zichtbaar is meteen aan dit voorbeeld dat de kans op een domino-effect kleiner of gelijk is aan het oorspronkelijke risico.

Sommige rapporten spreken in plaats van over domino-effecten over *cascade-effecten*.

In het rapport van Antea Group over een kwalitatieve risicoanalyse van de infrastructuur in Groningen wordt de volgende aanpak beschreven:

'In overleg met NCG en PAI is gekozen voor de analyse van een compacte combinatie van drie effecten:

- Veiligheid: mate van aantal en ernst van slachtoffers;
- Cascade: mate waarin 100% functieverlies van de ene infrastructuur leidt tot functieverlies van andere infrastructuur of buiten de sector Infrastructuur;
- Ontwrichting: mate waarin 100% functieverlies, zorgt voor allerlei ongewenste maatschappelijke effecten.'

In de redeneerlijn van het panel is bij deze Antea-aanpak sprake van

- een dubbeling: cascade-effecten, d.w.z. domino-effecten, horen in de reguliere berekening of kwalitatieve inschatting van het individueel veiligheidsrisico terug te komen, en
- boven-regulier veiligheidsbeleid: een kwalitatieve inschatting van ongewenste effecten zoals door Antea voorgesteld is geen onderdeel van het gangbare Nederlands extern veiligheidsbeleid.

*Cumulatie van risico's* treedt op als een individu bloot is gesteld aan meerdere risico's tegelijkertijd. Zo kan een inwoner van Groningen tegelijkertijd bloot staan aan het risico van het instorten van zijn woning als aan het risico dat gevaarlijke stoffen vrijkomen uit een chemische fabriek. Beide risico's kunnen al dan niet door geïnduceerde aardbevingen ontstaan. Het risico dat dat individu in totaal loopt is dan evident groter dan vanwege de afzonderlijke risico's.

*Overwegingen over het berekenen van domino-effecten van risico's*

Domino-effecten zijn een onderdeel van de kansberekening van het individueel risico van een risicobron omdat het te analyseren risico via het domino-effect slachtoffers veroorzaakt.

Het panel beveelt aan domino-effecten op de mathematisch enig juiste wijze te berekenen, namelijk door convolutie van de onderliggende kansberekeningen. Deze berekeningswijze is hetzelfde als de berekening van het individueel risico als samenstelling van onderliggende kansberekeningen.

In zijn juli 2018 advies schrijft het panel van hoogleraren: 'Concreet moet het individueel aardbevingsrisico worden berekend door de samenstelling van al die onderliggende risico's, op de reguliere wijze daarvoor bij kansberekening gebruikelijk, namelijk door integratie van de onderliggende kansberekeningen die op de best mogelijke wijze worden 'geschat'. Er is, simpel gezegd, één bekende correcte wiskundige wijze om van het geheel aan onderliggende kansverdelingen tot het individueel aardbevingsrisico te komen. We noemen dit ook wel de convolutie van de onderliggende kansberekeningen. Dit levert de zogenaamde verwachtingswaarde op, iets onnauwkeurig uitgedrukt 'het gewogen gemiddelde van alle mogelijke uitkomsten'.

In hoofdstuk 3 van dit advies hebben we geschreven dat het gebruik van Bayesiaanse statistiek een passende statistische methode is om de convolutie te berekenen in de situatie van essentiële onzekerheid over de bepalende parameters van de onderliggende kansverdelingen. Daarmee zal juist voor de kansverdeling van domino-effecten, die zich in het algemeen kenmerken door nog meer onzekerheid dan de kansverdeling van de primaire risico's, een dergelijke berekeningswijze noodzakelijk zijn bij een kwantitatieve aanpak.

#### *De overweging om de cumulatie van risico's niet te berekenen*

Een consequentie van het uitgangspunt dat de landelijke uitgangspunten voor risicobeleid ook zouden moeten gelden voor het beleid voor geïnduceerde aardbevingsrisico's in Groningen is dat de berekening van de cumulatie van risico's geen rol moet spelen omdat dit in ander extern veiligheidsbeleid ook geen rol speelt. Dit geldt enerzijds binnen een bepaald veiligheidsdomein, zoals bijvoorbeeld de cumulatie van risico's van verschillende chemiebedrijven die niet cumulatief worden berekend<sup>10</sup>. Het geldt ook tussen veiligheidsdomeinen: zo worden voor inwoners in het Westen van Nederland niet de cumulatieve individuele risico's als gevolg van bijvoorbeeld chemische industrie, overstroming en/of luchtverkeer berekend.

De staatssecretaris van VROM schreef eerder over het wel/niet berekenen van cumulatieve risico's: 'Cumulatie van risico's is in theorie waarschijnlijk wel realiseerbaar maar valt in de praktijk waarschijnlijk buitengewoon moeilijk te operationaliseren. Ook wordt betwijfeld of voor het groepsrisico een algemeen geldend cumulatief basisveiligheidsniveau voor burgers betekenisvol is te formuleren gelet op de verscheidenheid in risicovolle activiteiten. Wel kunnen in een gebiedsgerichte benadering aanwezige risico's integraal in beschouwing worden genomen.'<sup>11</sup>

Het panel beveelt daarom aan conform de door haar gehanteerde veiligheidsfilosofie geen rekening te houden met de mogelijke cumulatie van risico's in de berekening van het (individueel) risico van geïnduceerde aardbevingen in Groningen. Zoals in de inleiding vermeld is, heeft de minister van EZK dat advies overgenomen.

In het Instemmingsbesluit Groningen gasveld 2018-2019 schrijft de minister: 'De Tcbb, de Mijnraad en de regio adviseren om de risico's gerelateerd aan industrie, infrastructuur en waterkeringen in kaart te brengen voor de beoordeling van het totale gecumuleerde risico. Het punt van de cumulatie-effecten heb ik voorgelegd aan het hooglerarenpanel. In lijn met het Rijksbeleid inzake de cumulatie van risico's, en de eerdere uitgangspunten van de commissie Meijdam om zoveel als mogelijk aan te sluiten bij landelijke uitgangspunten voor risicobeleid, adviseert het panel om geen rekening te houden met de mogelijke cumulatie van risico's in de berekening van het individueel risico van geïnduceerde aardbevingen in Groningen. Ik neem het advies over.

<sup>10</sup> Zie bijvoorbeeld de Handreiking verantwoordingsplicht groepsrisico, versie 1.0 november 2007 of staande jurisprudentie als Raad van State, 08-02-2012, Zaaknummer 201011988/1/T1/R2.

<sup>11</sup> HTK 2004-2005, 27 801, nr. 27.

## 5. Hoe kan praktisch met het risico van falende infrastructuur worden omgegaan?

In deze paragraaf geeft het panel een advies hoe praktisch met het risico van falende infrastructuur kan worden omgegaan. We beschrijven eerst onze drie uitgangspunten die volgen uit een centraal proportionaliteitsprincipe. Daarna geven we een aantal concrete toepassingen daarvan.

*Proportionaliteitsprincipe: het betere moet niet de vijand van het goede zijn*

Het hooglerarenpanel onderschrijft het advies van de Mijnraad dat 'in de huidige situatie het streven van alle betrokken partijen erop gericht moet zijn om complexiteit te verminderen. Dan gaat het [onder andere] om: de complexiteit in het vaststellen van het veiligheidsrisico.'<sup>12</sup> Die huidige situatie is er een van een afnemende gaswinning en dus van een afnemende hazard maar ook een van achterblijvende maatregelen gericht op beheersing van het *huidige* risico.

Het hooglerarenpanel leest het advies van de Mijnraad als een proportionaliteitsprincipe: inspanningen die gedaan worden voor berekening van het risico vanwege geïnduceerde aardbevingen moeten zich verhouden tot het verwachte resultaat ervan.

We vertalen dat centrale proportionaliteitsprincipe in drie praktische uitgangspunten die we hieronder formuleren. Daarna geven we praktijkvoorbeelden om de werking ervan te illustreren.

Een eerste praktisch uitgangspunt van het panel is dat de inspanning nodig voor berekening van het risico van falende infrastructuur (en dus inclusief de domino-effecten ervan) in het bijzonder proportioneel moet zijn in verhouding tot de kosten van mitigerende maatregelen. Zeker in de huidige situatie waarbij de hazard snel afneemt als gevolg van de afnemende gaswinning kan gekeken worden of *tijdelijke* maatregelen niet kostenefficiënter zijn. 'Tijdelijk' wil hier zeggen 'wanneer naar verwachting binnen enkele jaren (bij ongewijzigd beleid) de veiligheidsnorm zonder verdere preventieve of mitigerende maatregelen gehaald wordt'.

Een tweede praktisch uitgangspunt is dat berekeningen alleen moeten worden gemaakt als volgens een kwalitatieve inschatting van experts er een significant risico te verwachten is. Significant kan hier geoperationaliseerd worden door te stellen dat het verwachte individueel risico groter is dan  $10^{-6}$  per jaar, dat wil zeggen tenminste binnen een orde grootte van de voorgestelde normering van  $10^{-5}$  valt. Dus, omgekeerd, wanneer experts al op voorhand inschatten dat het verwachte individueel risico kleiner is dan  $10^{-6}$  per jaar, zou niet aan berekening moeten worden begonnen.

*Principiële vraag commentaarronde:* Experts beslissen niet dat doet het bevoegd gezag. Betekent de opvatting van het panel dan niet dat toch alle infrastructuur moet worden doorgerekend?

*Antwoord panel:* in de opinie van het panel kan een gedocumenteerd expertoordeel de basis zijn voor een besluit van het bevoegd gezag. Op veel belangrijke technische punten wordt momenteel ook zo gehandeld in het dossier van het risico van geïnduceerde aardbevingen in Groningen. Zo is bijvoorbeeld de te hanteren maximale sterkte van een geïnduceerde aardbeving tot stand gekomen op basis van een inschatting van internationale experts die vervolgens bestuurlijk is vastgelegd als uitgangspunt.

Een derde praktisch uitgangspunt is dat als de berekening van de kans(verdeling) dat infrastructuur faalt als gevolg van een geïnduceerde aardbeving al uitwijst dat deze kans(verdeling) een orde grootte lager is dan de beleidsmatig geaccepteerde kans(verdeling) van falen als gevolg van

<sup>12</sup> Mijnraad, Advies voor de vaststelling van een Operationele Strategie voor het Groningenveld voor het gasjaar 2019-2020, 16 mei 2019.

andere risico's, dat dan niet verder gerekend hoeft te worden. Er hoeft in die situatie derhalve dan niet meer geprobeerd worden de effecten van het risico te berekenen of mitigerende maatregelen te nemen: het risico is dan met voldoende zekerheid acceptabel.

#### *Voorbeelden van toepassing van de praktische uitgangspunten*

Door Antea Group is er een brede kwalitatieve studie uitgevoerd naar de risico's van geïnduceerde aardbevingen voor de infrastructuur. Wanneer we ons baseren op deze, volgens onze documentatie nergens in twijfel getrokken, kwalitatieve inventarisatie van de mogelijke risico's voor de infrastructuur dan hoeft er dus volgens het tweede praktische uitgangspunt alleen onderzoek gedaan te worden naar, c.q. maatregelen genomen te worden, voor de daarin beschreven risico's die naar verwachting groter zijn dan  $10^{-6}$  per jaar.

De minister vat in het Instemmingsbesluit Groningen Gaswinning 2018-2019 de inzichten in de risico's voor de infrastructuur in het najaar van 2018 samen als: 'de eerste onderzoeken die zijn gedaan naar infrastructuur hebben geen acute kwetsbaarheden of veiligheidsrisico's aan het licht gebracht. Zo is uit onderzoek naar de zeedijk tussen Eemshaven en Delfzijl gebleken dat deze niet versterkt hoeft te worden, maar vanwege de onzekerheden zijn er kleidepots ingericht uit voorzorg. En uit een rapportage van Deltares bleek dat de meeste ondergrondse hogedrukaardgasleidingen van Gasunie sterk genoeg waren. Enkele oude leidingen waarbij dat niet kon worden aangetoond, zijn deels vervangen. Die operatie wordt afgerond in 2019. Daarnaast hebben diverse infrastructuurbeheerders onderzoek lopen naar mogelijke veiligheidsrisico's van hun infrastructurele objecten.'

Voor een aantal van deze potentieel bedreigde infrastructuren is kwantitatief onderzoek gedaan naar de kans op falen. Zo is er onderzoek gedaan naar de faalkansen van een aantal dijken<sup>13</sup> en sluizen<sup>14</sup> in het gebied. Deze onderzoeken hebben laten zien dat de faalkans tenminste een ordegrrootte lager is dan de beleidsmatig geaccepteerde kans op falen vanwege andere risico's zodat conform het derde praktische uitgangspunt verdere berekening (van het effect dat een dijkdoorbraak zou hebben) niet noodzakelijk is.

Voor het risico van bezwijken van de infrastructuur 'ondergrondse hogedrukgasleidingen' kon voor de meeste leidingen aangetoond worden dat de kans op bezwijken een ordegrrootte kleiner was dan regulier geaccepteerd (en dus dat conform het derde praktische uitgangspunt geen nader onderzoek of maatregelen noodzakelijk waren). Voor enkele oudere gasleidingen waar geen structureel inzicht in de sterkte van de lasverbinding van buissecties was, is besloten dat de kosten voor vervanging (gezien de afschrijving) lager waren dan de kosten van nader onderzoek voor *elke* verbinding. Dit besluit lijkt conform het eerste praktische uitgangspunt, maar een kanttekening is dat met behulp van de aanbevolen Bayesiaanse berekeningswijze niet alle verbindingen onderzocht hadden hoeven worden: een a-priori-verdeling had kunnen worden opgesteld op basis van een eerste inschatting van experts. Vervolgens had door het testen van *enkele* verbindingen een a-posteriori-verdeling kunnen worden opgesteld. Wanneer extra testen geen significante verandering van de a-posteriori-verdeling opleveren geeft dit een voldoende scherpe inschatting van het risico op falen van alle verbindingen om een besluit over al dan niet vervanging op te baseren.

Voor de drinkwaterleidingen in Groningen is recent nader onderzoek gedaan.<sup>15</sup> Dit onderzoek concludeert uiteindelijk dat het aantal te verwachten leidingbreuken bij een M=5 aardbeving ongeveer 5 is. Dit is een voorbeeld van een onderzoek dat geen inzicht geeft in het volgens dit advies te normeren individueel risico en geen van de drie praktische uitgangspunten toepast. We kunnen

<sup>13</sup> Een samenvatting geeft Jongejan, R., *Managementsamenvatting beoordeling aardbevingsbestendigheid waterkeringen Eemshaven*, 4 april 2019.

<sup>14</sup> Bijvoorbeeld Witteveen + Bos, *Aardbevingsbestendigheid sluizen Eemskanaal*, 27 november 2018.

<sup>15</sup> Witteveen + Bos, *Earthquake risks for the main water supply pipeline to Delfzijl and Eemshaven*, 9 januari 2019.

hierbij wel opmerken dat het overlijdensrisico ten gevolge van een leidingbreuk bij de drinkwatervoorziening zowel direct als indirect waarschijnlijk beperkt is. En nogmaals: alleen het normeren van het individueel risico op overlijden is landelijk beleid en daarmee volgens adviesorganen als de commissie Meijdam, de Mijnraad en ook dit panel de (enige) norm die van toepassing is voor de risico's van geïnduceerde aardbevingen.

Naar het risico van bezwijken van hoogspanningsleidingen is al eerder onderzoek gedaan. Deltares heeft in een rapport uit 2014 laten zien dat de meeste masten een versnelling van 0,25g kunnen opnemen (over de mogelijk meer kwetsbare hoekmasten wordt geen uitspraak gedaan).<sup>16</sup> Het rapport gaat niet in op het individueel risico dat het falen van hoogspanningsmasten met zich meebrengt zodat het niet bruikbaar is voor de bepaling van het door dit panel voorgestelde normering. Wel laat het rapport zien hoe tijd (en daarmee de afnemende hazard) van invloed is op het risico dat infrastructuur loopt. Het tracé van de meest bedreigde hoogspanningsverbinding loopt tussen Eemshaven en Vierverlaten. De hoogste grondversnellingen op dit tracé liggen volgens de nieuwe berekeningen van het KNMI tussen 0,13g en 0,15g bij een herhalingstijd van 475 jaar (Loppersum). Bij een herhalingstijd van 975 en 2475 jaar liggen deze waarden tussen 0,16g en 0,18g respectievelijk 0,2g en 0,22g. Daarmee laten de nieuwe KNMI-berekeningen zien dat er voor de meeste masten nu in 2019 geen risico meer bestaat in vergelijking met 2014. Als tijdelijke pragmatische maatregelen in 2014 snel genomen waren dan had grootscheepse versterking niet nodig geweest. Merk op dat feitelijk noch versterkingsmaatregelen zijn getroffen, noch pragmatische maatregelen maar dat vooral is ingestoken op het uitvoeren van nadere berekeningen.

Uit kwantitatief onderzoek naar de *kans* van het bezwijken van transportinfrastructuur is de Fraamklapbrug in beeld gekomen. Deze oude brug is in juli 2019 vervangen door een nieuwe aardbevingsbestendige brug omdat vervanging sowieso aan de orde was zonder een nadere analyse van het *risico*. We zien dit als een toepassing van het eerste praktische uitgangspunt.

Laten we als ander theoretisch voorbeeld van het eerste uitgangspunt kijken naar het al besproken risico dat uitval van infrastructuur leidt tot minder hulpverleningsmogelijkheden en daardoor tot een hogere kans op slachtoffers als gevolg van reguliere ongevallen. Dit is een indirect dominorisico dat voor andere risico's dan geïnduceerde aardbevingen niet genormeerd is en waar daarom door ons ook geen normering specifiek voor geïnduceerde aardbevingen voor wordt aanbevolen. Desalniettemin, als beleidsmatig besloten zou worden dat aandacht noodzakelijk is voor deze situatie, berekeningstechnisch hangt de verminderde opkomsttijd voorwaardelijk samen met de specifieke delen van de wegen en bruggen die onberijdbaar zijn geworden zodat een langere weg met worden afgelegd. Een Bayesiaanse berekening is daarmee aangewezen maar is een complexe en tijdrovende kwantitatieve klus. In dit geval geeft toepassing van het eerste uitgangspunt dat relatief goedkope tijdelijke maatregelen mogelijk zijn om de opkomsttijd toch gemiddeld op eenzelfde niveau te houden zonder kostbare berekeningsinspanningen. Denkbaar zijn maatregelen als een tijdelijke extra ambulance in het gebied of een tijdelijke harde<sup>17</sup> piketregeling voor de vrijwillige brandweer. Waarschijnlijk ten overvloede: deze tijdelijke maatregelen hoeven dus pas genomen te worden *nadat* de infrastructuur zodanig beschadigd is door een geïnduceerde aardbeving dat de reguliere aanrijtijden niet meer gehaald worden.

*Principiële vraag commentaaronde:* op welke wijze moeten de inzichten van de commissie een plaats krijgen in de gangbare ontwerpnormen (zoals die van de NEN) zodat in de ontwerpfase van infrastructuur rekening kan worden gehouden met dit risico.

<sup>16</sup> Deltares 1208624-002-GEO-0004, Versie 02, 15 januari 2014, definitief.

<sup>17</sup> Onder harde piketregeling verstaat men vormen van kazerning of gegarandeerde aanwezigheid nabij de kazerne.

*Antwoord panel:* de vraag gaat verder dan de vraag gesteld aan het panel, maar uitgaande van het praktische uitgangspunten en het feit dat de verwachte hazard door geïnduceerde bevingen steeds verder zal afnemen is het voor de hand liggend te overwegen om geen extra regelgevende inspanningen te verrichten voor een tijdelijk risico dat vooral pragmatisch opgelost moet worden.

Tot slot geven we als voorbeeld van toepassing van de algemene veiligheidsfilosofie én het tweede praktische uitgangspunt de discussie rondom de domino-effecten van chemische bedrijven. Deze domino-effecten worden kwalitatief beschreven in de verplichte Veiligheidsrapporten van chemiebedrijven.<sup>18</sup> Het Nederlands veiligheidsbeleid stelt daar verder geen normering aan maar verwijst naar een expert-based handleiding.<sup>19</sup> De kern van de handleiding is een expertinschatting over wanneer het risico op domino-effecten een ordegrootte lager ligt dan het voor de chemische industrie geaccepteerde risico.<sup>20</sup> Het ligt daarmee niet voor de hand het dominorisico nu wel gedetailleerd te gaan berekenen voor het toegevoegde risico van geïnduceerde aardbevingen, maar des te meer om simpelweg aan te sluiten bij het staand beleid voor die inrichtingen die als aardbevingsbestendig worden beschouwd (bijvoorbeeld op basis van de LoC-toets).

Prof. dr Eric Cator, prof. dr. Ira Helsloot en prof. dr. Jan Rots, d.d. 27 augustus 2019

---

<sup>18</sup> Artikel 7 van het Besluit risico's zware ongevallen.

<sup>19</sup> Voor de identificatie van deze zogenaamde domino-inrichtingen is het instrument Identificatie Domino-Effecten (IDE) ontwikkeld. Met dit document kan vastgesteld worden of de afstand tussen twee Brzo-inrichtingen zodanig is dat een domino-effect mogelijk is.

<sup>20</sup> De norm voor het IR rondom chemische industrie is  $10^{-6}$  per jaar en daarmee strikter dan het gangbare Nederlandse veiligheidsbeleid.