



1 FEBRUARI 2016

**METHODIEK VOOR RISICOANALYSE  
OMTRENT GEÏNDUCEERDE BEVINGEN  
DOOR GASWINNING**

TIJDELIJKE LEIDRAAD VOOR ADRESSERING MBB. 24.1.P, VERSIE 1.2

## Inhoud

Inleiding .....	1
Achtergrond .....	1
Uitgangspunten.....	1
Afbakening.....	1
Process.....	1
Seismisch risico analyse.....	3
Stap 1: Screening potentieel.....	3
Stap 2: Risico matrix .....	4
Stap 3: kwantitatieve risicoanalyse.....	6
Implicaties .....	7
Referenties .....	8
Bijlage 1 .....	9
Deterministische hazard analyse voor geïnduceerde seismiciteit in Nederland [4] .....	9
Bijlage 2 .....	10
Bepaling sterkte realistisch sterkste beving .....	10
Bijlage 3 .....	12
Risico Matrix Analyse.....	12

## Inleiding

### ACHTERGROND

Op grond van de Mijnbouwwet moet sinds 1 januari 2003 een seismische risico analyse omtrent bodemtrillingen als gevolg van de winning in het winningsplan worden opgenomen. In de memorie van toelichting op dit artikel wordt opgemerkt dat het verkenningsonderzoek naar risico's plaatsvindt op het niveau van afzonderlijke velden, maar ook op een brede basis waarbij de maatschappijen en onderzoeksinstituten gezamenlijk onderzoek verrichten. Mede in dit verband zijn door TNO en KNMI verschillende studies verricht naar de seismische hazard door geïnduceerde aardbevingen. De resultaten van deze studies zijn samengevat en geïntegreerd in het TNO/KNMI integratie-rapport '*Seismisch hazard van geïnduceerde aardbevingen. Integratie van deelstudies*' [1].

In reactie op het OVV-rapport 'Aardbevingsrisico's in Groningen' [2] heeft het kabinet aangegeven dat in de winningsplannen "mijnbouwondernemingen veiligheidsrisico's expliciet in kaart moeten brengen". Hiermee wil de minister borgen dat veiligheid een volwaardige plaats krijgt in de belangenafweging bij de besluitvorming.

Aangezien het in kaart brengen van veiligheidsrisico's verder gaat dan alleen de seismische hazard waarop tot nu toe de focus heeft gelegen, heeft de Minister van Economische Zaken het Staatstoezicht op de Mijnen gevraagd om, in afwachting van een door de maatschappijen en onderzoeksinstituten te ontwikkelen definitieve leidraad voor het adresseren van het seismisch risico, met een gedragen tijdelijke leidraad voor het analyseren van de risico's ten gevolge van door gaswinning geïnduceerde aardbevingen te komen. Dit document geeft invulling aan dit verzoek.

### UITGANGSPUNTEN

In deze tijdelijke leidraad is uitgegaan van bestaande onderzoeksresultaten. Voor de invulling van de methodologie in de leidraad is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van kwantificeerbare grootheden uit bestaande analyses en informatiebronnen. Deze leidraad kan in de toekomst op basis van nieuwe inzichten en onderzoeken worden aangepast of vervangen.

### AFBAKENING

Deze leidraad geeft alleen invulling aan het in kaart brengen van het seismisch risico (=kans x effect) zoals vereist in het winningsplan (Mijnbouwbesluit artikel 24.1 p). **Het is niet de brede risicobeoordeling die is voorzien in het wetsvoorstel tot wijziging van de Mijnbouwwet (versterking veiligheidsbelang en regie). Ook de duiding van de risico's (wat betekend de uitkomst van de in deze leidraad opgenomen methodologie bv. in termen van o.a. te verwachten schade; Mbb. 24.1.q) is géén onderdeel van deze leidraad en dient door de mijnbouwmaatschappij in het winningsplan te worden opgenomen.** Ten aanzien van de maatregelen om bodembeweging (Mbb 24.1 r) dan wel schade ten gevolge van bodembeweging (Mbb 24.1 s) te voorkomen of te beperken worden in de leidraad **slechts randvoorwaarden voor de monitoring en risicobeheersing** aangegeven.

### PROCESS

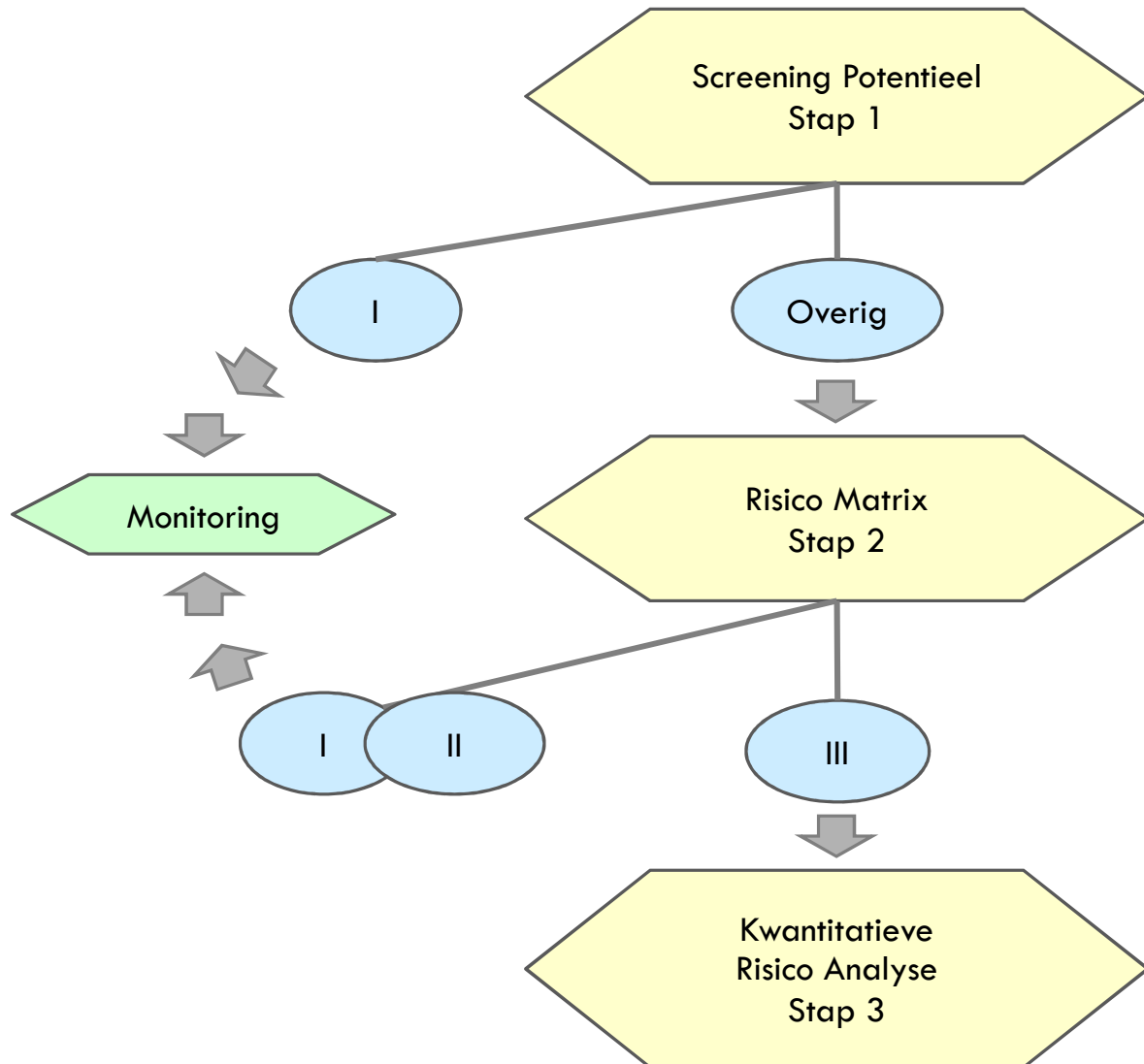
Staatstoezicht op de Mijnen heeft mede op basis van internationale literatuur en gebruiken een concept voor deze leidraad ontwikkeld [3] en nader uitgewerkt. Deze uitwerking is afgestemd met de Nederlandse Aardolie Maatschappij BV (als grootste landoperator) en kennisinstituut TNO. Vervolgens is de methodologie besproken

# INLEIDING

binnen het Technisch Platform Aardbevingen (TPA), waarin zowel de mijnbouwondernemingen als kennisinstellingen vertegenwoordigd zijn.

## Seismisch risico analyse

De methodologie in deze leidraad is erop gericht om in drie stappen onderscheid te maken tussen velden met een verschillend seismisch risicoprofiel. Hiervoor is een getrapte strategie geadopteerd bestaande uit drie stappen. Deze strategie wordt weergegeven in Figuur 1. Op basis van de uitkomsten van de verschillende stappen worden vervolgstappen genomen.



Figuur 1: Weergave van de verschillende stappen in de seismisch risico analyse.

### STAP 1: SCREENING POTENTIEEL

Allereerst wordt het potentiële vermogen van het gasveld om aardbevingen te genereren bepaald. In de studie 'Deterministische hazard analyse voor geïnduceerde seismiciteit in Nederland' [4,5] zijn, op basis van historische waarnemingen, statistische correlaties bepaald tussen parameters voor veld- en productiekenmerken

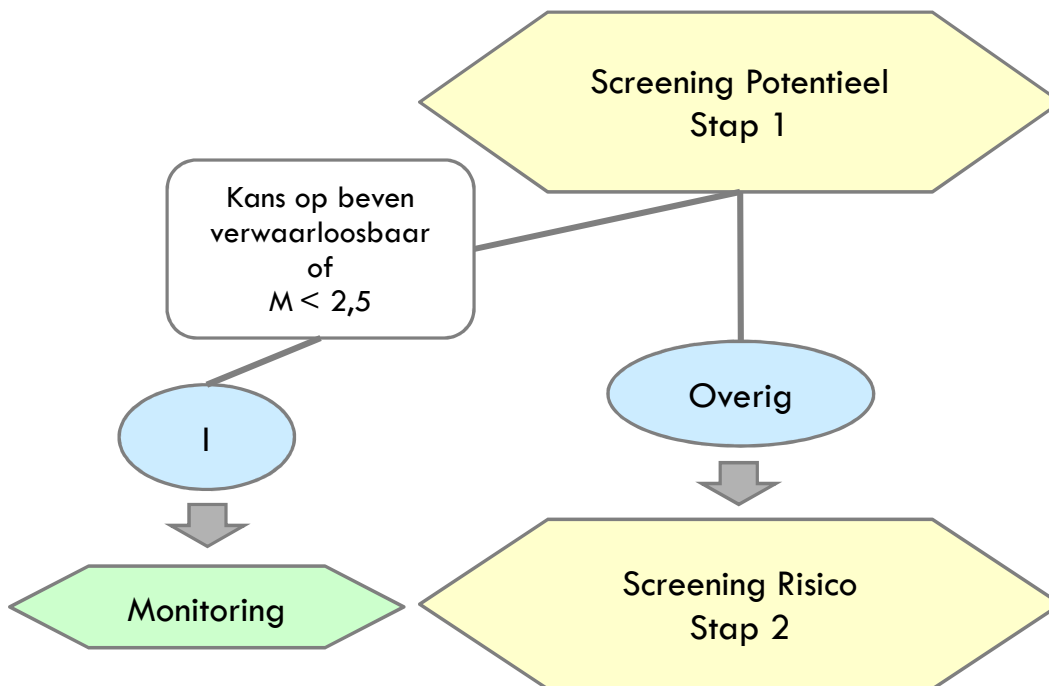
# SEISMISCH RISICO ANALYSE

en het optreden van geïnduceerde bevingen. Op basis van deze correlaties kan de waarschijnlijkheid dat bevingen geïnduceerd worden door gasproductie, worden bepaald (Bijlage 1).

Daarnaast wordt op basis van de in het veld aanwezige breuken en op basis van de compactie een inschatting gemaakt van de sterkste beving waar realistisch gezien rekening mee moet worden gehouden. De methodologie voor deze berekeningen staan in Bijlage 2.

Voor velden die op basis van deze berekeningen een verwaarloosbare kans hebben om geïnduceerde bevingen te genereren of waar geen bevingen sterker dan  $M_L=2,5$  op de schaal van Richter zijn te verwachten, zijn geen aanvullende onderzoekstappen noodzakelijk en volstaat monitoring d.m.v. het bestaande KNMI netwerk. Voor de overige velden wordt overgegaan tot de tweede stap in de analyse.

Figuur 2 geeft een overzicht van de beslisstructuur in stap 1.



Figuur 2. Weergave van de beslisstructuur in stap 1.

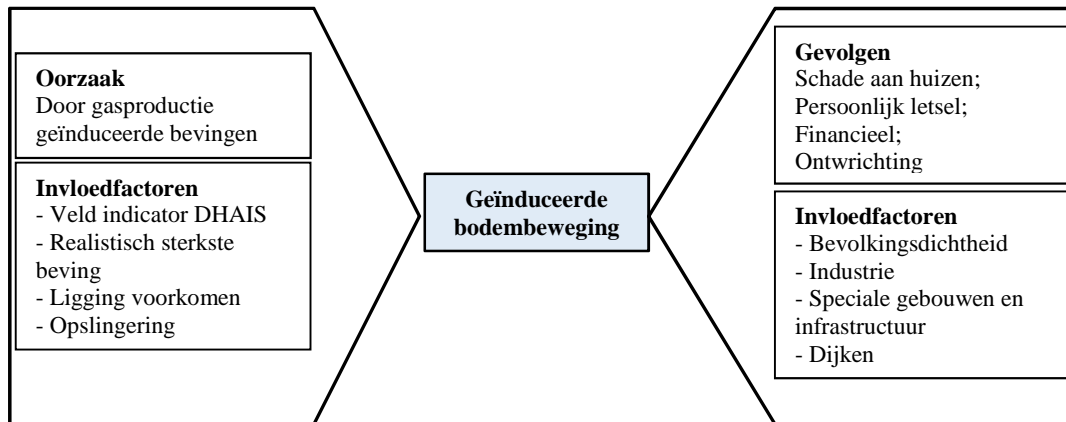
## STAP 2: RISICO MATRIX

In stap 2 wordt op basis van een risico matrix benadering het risico van geïnduceerde aardbevingen verder gekwalificeerd. Figuur 3 geeft een schematische weergave van de verschillende factoren die bepalen of een geïnduceerde beving kan resulteren in een sterke groundbeweging (de invloedfactoren ondergrond) en de verschillende factoren die invloed hebben op de grootte van de mogelijke gevolgen (de invloedfactoren bovengrond).

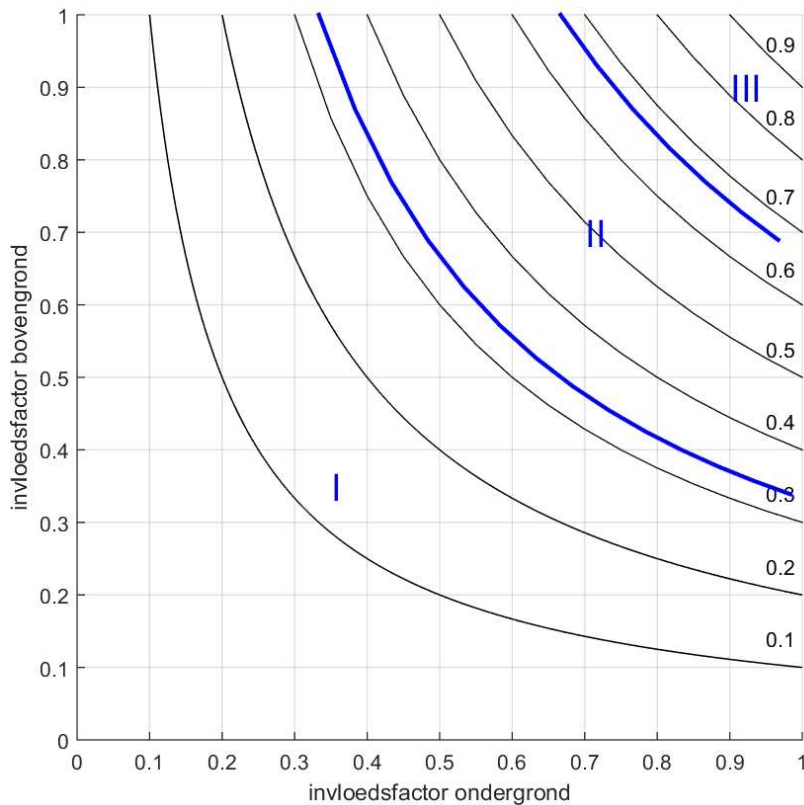
In de risico matrix analyse worden de verschillende factoren zoveel mogelijk kwantitatief geanalyseerd en op basis van de uitkomst per factor gerankt (Bijlage 3). Over de scores van de individuele factoren wordt gesommeerd, zodat een totaalscore voor zowel de invloedfactoren ondergrond als de invloedfactoren bovengrond wordt bepaald. Deze worden genormaliseerd met het maximaal te behalen aantal punten voor

# SEISMISCH RISICO ANALYSE

ondergrond cq. bovengrond en in de risico matrix tegen elkaar uitgezet waarmee kwalitatief een risicocategorie wordt bepaald (Figuur 4).



Figuur 3. Schematische weergave van de bedreigingen en gevolgen van geïnduceerde bevingen en de verschillende invloedfactoren die daarbij een rol spelen.



Figuur 4. De risico matrix. De zwarte lijnen zijn lijnen van gelijk genormaliseerd risico. De verdeling in categorieën is simpelweg gedaan op basis van  $1/3$  en  $2/3$  van het genormaliseerde risico.

De locatie in de risicomatrix is afhankelijk van de combinatie van de scores voor de invloedfactoren ondergrond en de invloedfactoren bovengrond. De duiding van het risico o.a. in termen van de mogelijke

# SEISMISCH RISICO ANALYSE

schade is sterk afhankelijk van deze combinatie en de specifieke factoren waarvoor een hoge/lage score is bepaald. Er is geen algemene duiding per risicocategorie. De duiding kan alleen per voorkomen op basis van de uitkomsten van de analyse gegeven worden<sup>1</sup>.

Voor velden waarvan op basis van de risico matrix analyses het seismisch risico door gasdepletie in de categorieën I en II vallen, zijn v.w.b. de screening geen verdere vervolgstappen nodig. Velden in categorie III vervolgen met stap 3.

## STAP 3: KWANTITATIEVE RISICOANALYSE

De methodologie voor een kwantitatieve seismisch risicoanalyse in termen van individueel en maatschappelijk risico is ten dele uitgewerkt voor het Groningen gasveld [6, 7, 8, 9]. Indien andere velden in categorie III terecht komen zal het seismisch risico op een vergelijkbare wijze moeten worden gekwantificeerd..

---

<sup>1</sup> En vormt derhalve geen onderdeel van deze leidraad.



## Implicaties

Aan de inschatting van het risiconiveau voor mogelijke geïnduceerde bevingen bij gaswinning worden de volgende monitoringsverplichtingen, beheersmaatregelen en onderzoeksverplichtingen verbonden:

### Categorie I:

- Monitoring met het huidige gefoon en accelerometer netwerk van het KNMI.

### Categorie II:

- Duiding van de uitkomst van de risicomatrix analyse (Mbw 34.g en Mbb. 24.1.q)
- Monitoring met een minimale cataloguscompleteid in de omgeving van het veld van magnitude 1,5,
- Monitoring in de omgeving van het veld aanvullen met accelerometers op de gefoonlocaties,
- Implementeren generiek seismisch-risicobeheersplan<sup>2</sup>.

### Categorie III:

- Monitoring met een minimale cataloguscompleteid vanaf magnitude 0,5,
- Monitoring aanvullen met accelerometers op de gefoonlocaties,
- Monitoring van trillingen in huizen,
- Onderzoeksprogramma<sup>3</sup>,
- Specifiek risicobeheersplan op basis van een Meet- en Regelprotocol.<sup>4</sup>

---

<sup>2</sup> Een plan waarin de operator de maatregelen beschrijft welke genomen worden bij het optreden van bevingen met een bepaalde sterkte cq. grondversnelling.

<sup>3</sup> Krijgt nadere invulling op basis van de oorzaak van het hoge risico.

<sup>4</sup> Met het Meet- en Regelprotocol wordt (half)jaarlijks getoetst en gerapporteerd of het risico nog binnen vastgestelde acceptabele grenzen blijft en bij (dreigende) overschrijding welke maatregelen getroffen worden om deze (dreigende) overschrijding te mitigeren..

## Referenties

- [1] TNO, 2012, *Seismisch hazard van geïnduceerde aardbevingen; Integratie van deelstudies*, TNO-rapport 2012 R11139 ([www.nlog.nl](http://www.nlog.nl)).
- [2] OVV, 2015, *Aardbevingsrisico's in Groningen; Onderzoek naar de rol van veiligheid van burgers in de besluitvorming over de gaswinning (1959-2014)*.
- [3] Muntendam-Bos, A.G., J.P.A. Roest en J.A. de Waal, 2015, *A guideline for assessing seismic risk induced by gas extraction in the Netherlands*, *The Leading Edge*, 34(6), 672-677, doi: 10.1190/tle34060672.1.
- [4] TNO, 2004, *Deterministische hazard analyse voor geïnduceerde seismiteit*, TNO-rapport NITG 04-171-C
- [5] TNO, 2012, *Deterministische hazard analyse voor geïnduceerde seismiteit in Nederland*, TNO-rapport 2012 R10198 ([www.nlog.nl](http://www.nlog.nl)).
- [6] Hazard and Risk Assessment for Induced Seismicity in Groningen – Interim Update November 2015, NAM, 7 November 2015.
- [7] Een voorstel voor een toetsingsmethodiek voor mens-geïnduceerde aardbevingen in Groningen, Prof. Pieter van Gelder, TU Delft, Faculteit TBM, 16 november 2015.
- [8] Seismisch risico Groningenveld; beoordeling en advies, SodM, December 2015.
- [9] Handlingsperspectief voor Groningen, Eindadvies van de adviescommissie 'Omgaan met risico's van geïnduceerde aardbevingen', december 2015.

## Bijlage 1

### DETERMINISTISCHE HAZARD ANALYSE VOOR GEÏNDUCEERDE SEISMICITEIT IN NEDERLAND [4]

Deze studie gebruikt gegevens over seismiciteit (bron: www.knmi.nl), drukdata en eigenschappen van de voorkomens. Aan de hand van de volgende parameters van een olie- of gasvoorkomen wordt de kans bepaald dat zich, op enig moment gedurende de productie van een voorkomen, een beving voordoet:

- DP/P<sub>ini</sub>: De ratio van drukval (DP) en initiële druk (P<sub>ini</sub>) in het reservoir;
- E: de verhouding tussen de Young's moduli (stijfheidsmoduli) van de 'overburden' -en het reservoirgesteente;
- B: een maat voor de breukdichtheid van het reservoir, gedefinieerd als:

$$B = \frac{\text{breukoppervlakte}^{3/2}}{\text{brutogesteentevolume}} = \frac{l_b^{3/2} h^{3/2}}{A h} = \frac{l_b^{3/2} h^{1/2}}{A}$$

met  $h$  de maximale dikte van de gaskolom van het voorkomen is,  $l_b$  de totale breuklengte van de intra-reservoir breuken en de randbreuken van het voorkomen en  $A$  het oppervlakte (gemeten binnen de GWC dieptecontour) van het voorkomen [m<sup>2</sup>].

De kans-classes worden hieronder weergegeven (met  $P_h$  de kans op beven van het olie-gasvoorkomen):

Reeds bevende voorkomens	
DP/P <sub>ini</sub> ≥ 28%	B > 0,86 en E ≥ 1,34: P <sub>h</sub> = 0.42 ± 0.08
	B > 0,86 en 1,01 ≤ E ≤ 1,33: P <sub>h</sub> = 0.19 ± 0.05
	B < 0,86 en/of E < 1,01: verwaarloosbare kans
DP/P <sub>ini</sub> < 28%	Verwaarloosbare kans

De analyse geeft geen informatie over de vraag hoe groot de frequentie en magnitude van een eventuele beving zou kunnen zijn.

## Bijlage 2

### Bepaling sterkte realistisch sterkste beving

Er worden twee methoden gebruikt om de sterkte van de realistisch sterkste beving te bepalen: op basis van breukgeometrie en op basis van energiebalans. Beide methoden kennen grote aannamen en onzekerheden. In deze Seismisch Risico Analyse leidraad worden daarom beide methoden gebruikt.

#### Methode 1: breukgeometrie

De hoeveelheid energie die vrijkomt bij een beving en daarmee de sterkte van een beving schaalst met het breukoppervlak dat beweegt. De grootte van een breuk is daarmee limiterend voor de sterkste beving die op die breuk kan plaatsvinden. Deze relatie wordt gegeven door (Kanamori, 2001; Stein en Wysession, 2006):

$$M_0 = GAu = \frac{3\pi}{8} \Delta\sigma(w^2L)$$

Waarbij  $M_0$  het seismisch moment (maat voor de hoeveelheid energie) is dat bij een beving vrijkomt,  $G$  de schuifmodulus,  $A$  het breukoppervlak waarover beweging plaatsvindt,  $u$  de gemiddelde slip (verplaatsing) op de breuk,  $\Delta\sigma$  stress drop, oftewel de spanning die tijdens een beving is gerelaxeerd,  $w$  de hoogte en  $L$  de lengte van de breuk. De relatie tussen het seismisch moment ( $M_0$ ) en de magnitude ( $M$ ) van een beving wordt gegeven door (Hanks and Kanamori, 1979):

$$\log_{10} M_0 = 9.1 + 1.5M$$

Voor tektonische bevingen varieert de stress drop tussen de 1MPa (10 bar) en 10 MPa (100 bar) (Abercrombie, 1995). Voor de meeste geïnduceerde bevingen komt de stress drop niet boven de 5MPa (50 bar) uit. Voor de bepaling van de sterkste realistisch mogelijke beving kan hiervan worden uitgegaan. Een stress drop van 1MPa geeft een 0,5 magnitude punt lagere magnitude, een stress drop van 10MPa een verhoging met 0,2 magnitude punt.

De grootte van de breukoppervlakken waarover slip kan plaatsvinden is voor geïnduceerde bevingen moeilijk vast te stellen. Op basis van geomechanische modellen (Roest & Kuilman, 1994; Mulders, 2003; Muntendam-Bos et al, 2008) is bekend dat de spanningstoename door depletie vooral op het breukoppervlak in het reservoir optreedt, met een lichte spanningstoename op de breuk net buiten het reservoir. Voor de bepaling van een realistische sterkste beving wordt voor het breukoppervlak uitgegaan van het breukoppervlak dat aan het reservoir grenst. Het is echter niet uitgesloten dat ook grotere bewegingen op het oppervlak buiten het reservoir kunnen optreden.

De schuifmodulus ( $G$ ) kan worden bepaald op basis van de Young's modulus ( $E$ ) en de Poisson Ratio ( $\nu$ ):

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

#### Methode 2: Energiebalans

Voor geïnduceerde aardbevingen geldt dat slechts een deel van de energie die er door de activiteit – in dit geval onttrekking van olie of gas – opgebouwd wordt tijdens een beving vrij kan komen. Deze relatie is empirisch bepaald. Op basis van Kostrov (1974) hebben Bourne et al. (2014) voor Groningen afgeleid:

$$M_{0,T}(t) \cong \frac{4\mu}{3} \alpha |\Delta V(t)|$$

Waarbij  $M_{0,T}(t)$  het seismisch moment is dat maximaal vrij kan komen,  $\mu$  de schuifmodulus en  $\Delta V(t)$  de volume verandering in het reservoir ten gevolge van de compactie door gasonttrekking. De fractie van de door compactie opgebouwde energie die seismisch vrij kan komen wordt gegeven door de zogenaamde partitie-coëfficiënt  $\alpha$ . De relatie tussen het seismisch moment ( $M_0$ ) en de magnitude ( $M$ ) van een beving wordt gegeven door (Hanks and Kanamori, 1979):

$$\log_{10} M_0 = 9.1 + 1.5M$$

Door de logaritmische relatie tussen seismisch moment en magnitude gaat de sterkste beving gepaard met de helft van het totale seismische moment. De sterkte van deze beving wordt dan gegeven door:

$$M = \frac{2}{3} (\log_{10} \left( \frac{2\mu}{3} \alpha |\Delta V(t)| \right) - 9.1)$$

De partitie coëfficiënt  $\alpha$  is empirisch bepaald. Voor de bepaling van de sterkste realistisch te verwachten beving wordt een partitie coëfficiënt van 0,01 aangenomen, oftewel 1% van de energie die wordt opgebouwd kan vrijkomen in de sterkste beving. Dit komt overeen met de grootste waarde die geobserveerd is voor enkele velden in Noord-Nederland<sup>5</sup>. Ter vergelijking: voor het Groningen gasveld wordt tot nu toe een waarde voor de partitie coëfficiënt van 0,0005 geobserveerd (Bourne et al, 2014). De gevoeligheid voor de partitie coëfficiënt in de analyse is aanzienlijk: een factor 10 hogere of lagere partitie coëfficiënt geeft een verhoging cq. verlaging van de sterkste magnitude met 0,7 magnitude punt.

### Referenties:

Abercrombie, R.E. (1995), *Earthquake source scaling relationships from -1 to 5 Ml using seismograms recorded at 2.5 km depth*, J. Geophys. Res. 100.

Bourne, S.J., S.J. Oates, J. van Elk, and D. Doornhof (2014), *A seismological model for earthquakes induced by fluid extraction from a subsurface reservoir*, J. Geophys. Res. 119(2), 8991-9015, doi:10.1002/2014JB011663.

Hanks, T., and H. Kanamori (1979), *Moment magnitude scale*, J. Geophys. Res. 84, 2348-2350.

Kanamori, H. (2001), *Energy budget of earthquakes and seismic efficiency*, in *Earthquake Thermodynamics and Phase Transformations in the Earth's Interior*, edited by R. Teisseyre, pp.293-305, Academic, Wlatham, Mass.

Kostrov, V.V. (1974), *Seismic moment and energie of earthquakes and seismic flow of rocks*, Izv. Acad. Sci. USSR Phys. Solid Earth, Eng. Transl., 1, 23-44.

Mulders, F.M.M. (2003), *Modelling of stress development and fault slip in and around a producing gas reservoir*, Phd. Thesis Technical University Delft, IOS Press.

Muntendam-Bos, A.G. et al. (2008), *Bergermeer Seismicity Study*, TNO Report 2008-UR1071/B, 6 November 2008.

Roest, J.P.A., and W. Kuilman (1994), *Geomechanical analysis of small earthquakes at Eleveld gas reservoir*, Eurock '94, 573 – 580.

<sup>5</sup> De 1% wordt voor 1 veld in de analyse gerealiseerd indien de energie uit alle opgetreden bevingen samen genomen wordt.

## Bijlage 3

### RISICO MATRIX ANALYSE

In de risico matrix analyse worden de belangrijkste invloedfactoren ondergrond en bovengrond beschouwd en geclassificeerd. Op basis van de classificatie wordt een puntenwaarde toegekend. De toegekende puntenwaarden voor de invloedfactoren worden vervolgens gesommeerd en genormaliseerd om de puntenwaarde voor de ondergrond en bovengrond te bepalen.

In de risicomatrix wordt de combinatie van de puntenwaarden voor boven- en ondergrond met een stip aangegeven. Uit de locatie van het punt in de matrix volgt de risicoclassificatie.

Hieronder worden de verschillende invloedfactoren besproken.

#### Invloedfactoren ondergrond

De invloedfactoren en de classificatie voor deze factoren worden gegeven in Tabel 1. De manier waarop de classificatie bepaald moet worden, is hieronder beschreven.

1. Kans op het induceren van bevingen:  
De kans dat bevingen geïnduceerd worden wordt bepaald op basis van de DHAIIS analyse. Deze analyse is in niveau 1 al uitgevoerd. Het resultaat kan direct worden gebruikt in de classificatie.
2. De sterkste beving waar realistisch rekening mee moet worden gehouden:  
De magnitude van de sterkste beving waar realistisch rekening mee moet worden gehouden wordt berekend in niveau 1 volgens de methodieken beschreven in Bijlage 2. Het resultaat kan direct worden gebruikt in de classificatie.
3. Ligging voorkomen:  
In het noorden van Nederland (inclusief Noord-Holland) ligt een dikke laag Zechstein zout wat vaak de afsluitende laag is van de aanwezige gas voorkomens. Zout op een diepte van ~3km gedraagt zich vloeibaar en zal stromen om de spanningen in het zout te relaxeren. Hierdoor wordt extra spanning opgebouwd net boven en onder een dikke laag zout. Sinds de start van de gaswinning is het nooit voorgekomen dat er geïnduceerde bevingen optraden in velden ten zuiden van de lijn Amsterdam-Arnhem, waar de Zechstein zoutafzettingen ontbreken.
4. Lokale opslingingering:  
In [1] zijn de ondiepe grondsoorten en de daaraan verbonden opslingingering in kaart gebracht. Het te analyseren gasveld dient op de kaart te worden geprojecteerd en het percentage van het veld boven de verschillende grondsoorten te worden geanalyseerd. Op basis van de bepaalde percentages kan de factor opslingingering worden geclassificeerd.

Om de bedreiging te bepalen worden de puntenwaarden behorende bij de classificatie van de vier factoren gesommeerd en genormaliseerd met het maximaal te behalen aantal punten (=14).

#### Invloedfactoren bovengrond

De gevolgfactoren en de classificatie voor deze factoren worden gegeven in Tabel 2. De manier waarop de classificatie bepaald moet worden, is hieronder beschreven. Algemene opmerking hierbij is dat een 5 km bufferzone genomen wordt vanaf de rand van het veld. De reden hiervoor is dat bevingen op de randbreuken van een veld binnen deze afstand nog significante grondbewegingen kunnen veroorzaken.

1. Bevolkingsdichtheid & bebouwing:  
De bevolkingsdichtheid, oftewel het aantal inwoners per km<sup>2</sup>, kan worden bepaald door het oppervlakte

## BIJLAGE 3

van het veld binnen de verschillende gemeenten waaronder het veld gelegen is in kaart te brengen. Op de bevolkingsdichtheidkaart (CBS Statline)) kan per gemeente de gemiddelde bevolkingsdichtheid worden afgelezen. Op basis van het oppervlakte binnen de verschillende gemeenten kan vervolgens een gewogen gemiddelde voor de bevolkingsdichtheid boven het gasveld worden bepaald, welke geclassificeerd kan worden. Voor hele keine velden kan eventueel ook de 'bevolkingsdichtheid per buurt' worden gebruikt (CBS Statline). Daarnaast wordt in deze categorie ook rekening gehouden met de aanwezige bebouwing. Het type bebouwing speelt een belangrijke rol, maar is moeilijk te specificeren. Het is wel vast te stellen of er wijken met flats/appartementencomplexen aanwezig zijn. Dit is in deze categorie verwerkt.

2. Industriële inrichtingen:

Op <http://www.risicokaart.nl> kan de aanwezigheid van industriële inrichtingen boven en rond het veld worden geïnventariseerd en kan deze factor worden geclassificeerd.

3. Speciale gebouwen en vitale infrastructuur:

Op <http://www.risicokaart.nl> kan de aanwezigheid van scholen, ziekenhuizen, tehuizen en publieke gebouwen waar veel mensen samenkomen in kaart worden gebracht en kan deze factor worden geclassificeerd.

4. Dijken:

De aanwezigheid van primaire en/of secundaire dijken kan op <http://www.risicokaart.nl> in kaart worden gebracht.

Om de gevolgen te bepalen worden de puntenwaarden behorende bij de classificatie van de vijf factoren gesommeerd en genormaliseerd met het maximaal te behalen aantal punten (=16).

## BIJLAGE 3

Tabel 1. Classificering van de invloedfactoren ondergrond.

	DHAIS	M	Ligging voorkomen	Opslingering
<b>5</b>		Alle methodes >4,5		
<b>4</b>	Bevend veld > 5 bevingen per jaar van $M \geq 1,5$	1 methode > 4,5 én/of Alle methodes 4,1 – 4,5		
<b>3</b>	Bevend veld < 5 bevingen per jaar van $M \geq 1,5$	1 methode 4,1 – 4,5 én/of Alle methodes 3,6 – 4,0		>60% slappe grond ( $V_{s,30} = < 200\text{m/s}$ ) en/of >30% grondsoort die extra gevoelig zijn voor amplificatie, zoals veenlagen dikker dan 3m en slappe veenlagen met een dikte van 1m-3m gelegen op een stijve ondergrond.
<b>2</b>	P=42% Of Bevend veld $M < 1,5$	1 methode 3,6 – 4,0 én/of Alle methodes 3,1 – 3,5	Boven de lijn Amsterdam-Arnhem	30-60% slappe grond ( $V_{s,30} = < 200\text{m/s}$ ) en/of 15-30% grondsoort die extra gevoelig zijn voor amplificatie, zoals veenlagen dikker dan 3m en slappe veenlagen met een dikte van 1m-3m gelegen op een stijve ondergrond.
<b>1</b>	P=19%	1 methode 3,1 – 3,5 én/of Alle methodes 2,6 – 3,0		10-30% slappe grond ( $V_{s,30} = < 200\text{m/s}$ ) en/of 5-15% grondsoort die extra gevoelig zijn voor amplificatie, zoals veenlagen dikker dan 3m en slappe veenlagen met een dikte van 1m-3m gelegen op een stijve ondergrond.
<b>0</b>		1 methode 2,6 – 3,0 én/of Alle methodes $\leq 2,5$	Onder de lijn Amsterdam-Arnhem	<10 % slappe grond ( $V_{s,30} = < 200\text{m/s}$ ) en/of < 5% grondsoort die extra gevoelig zijn voor amplificatie, zoals veenlagen dikker dan 3m en slappe veenlagen met een dikte van 1m-3m gelegen op een stijve ondergrond.



## BIJLAGE 3

Tabel 2. Classificering van de invloedfactoren bovengrond

	<b>Bevolkingsdichtheid</b> (aantal inwoners per km <sup>2</sup> )	<b>Industriële inrichtingen</b>	<b>Speciale gebouwen En vitale infrastructuur</b>	<b>Dijken</b>
<b>4</b>	> 2500	Meerdere direct boven het veld	Meerder ziekenhuizen en/of energievoorzieningen direct boven het veld	Primaire dijken boven het veld
<b>3</b>	1000-2500 en/of 500-1000 met wijken bestaande uit flats/appartementencomplexen binnen 5 km rond het veld	1 boven het veld en/of meerdere binnen 5 km rond het veld.	1 ziekenhuis en/of energievoorziening direct boven het veld of meerdere binnen 5 km rond het veld. Meerdere scholen, tehuisen en/of publieksgebouwen direct boven het veld	Primaire dijken binnen 5 km rond het veld en/of secundaire dijken boven het veld
<b>2</b>	500-1000 en/of 250-500 met wijken bestaande uit flats/appartementencomplexen binnen 5 km rond het veld	1 binnen 5 km rond het veld.	1 school, tehuis en/of publieksgebouw boven het veld of meerdere binnen 5 km rond het veld.	Secundaire dijken binnen 5 km rond het veld
<b>1</b>	250-500 en/of <250 met wijken bestaande uit flats/appartementencomplexen binnen 5 km rond het veld		1 school, tehuis en/of publieksgebouw binnen 5 km rond het veld.	
<b>0</b>	< 250	Geen binnen 5 km rond het veld	Geen boven en/of binnen 5 km rond het veld	Geen dijken binnen 5 km rond het veld