Bergen Concessie

Seismisch Risico Analyse

januari 2016

	Datum		Datum		Datum
	29-01-2016		29-01-2016		29-01-2016
Sign.		Sign		Sign.	
[redacted]					
Geoloog		Subsurface Manager		Director Oil & Gas	
Author		**Reviewed**		**Approved**	

Erratum Bergen Concessie Seismisch Risico Analyse

Datum	Blz.	Erratum
11-9-2017	9	In paragraaf 4.4.1 Bergen dient toegevoegd te worden: Er bevindt zich een primaire dijk in de nabijheid van 5 km rond het veld.
11-9-2017	10	In paragraaf 4.4.2 Groet dient toegevoegd te worden: Er bevindt zich een primaire dijk in de nabijheid van 5 km rond het veld.
11-9-2017	10	In paragraaf 4.4.3 Schermer dient toegevoegd te worden: Er bevindt zich een secondaire dijk direct boven het veld.

Inhoud

1. Introductie 1
1.1. Inleiding en conclusie 1
1.2. Achtergrond 1
2. De gasvoorkomens Bergen, Groet en Schermer 2
3. Seismisch risico analyse 3
3.1. Methode 3
3.2. Geschatte sterkte realistisch sterkste beving 4
3.3. Onzekerheden 4
3.3.1. Breukgeometrie 4
3.3.2. Energiebalans 5
4. Risicomatrix 6
4.1. Methode, algemeen 6
4.2. Invloedfactoren ondergrond 7
4.3. Invloedfactoren bovengrond 8
4.4. Classificering invloedfactoren 9
4.4.1. Bergen 9
4.4.2. Groet 9
4.4.3. Schermer 10
4.5. Toepassing risicomatrix 11
4.6. Verdere duiding 12
4.7. Depletie 12
4.8. Beheersmaatregelen 13
4.9. Conclusies 13
Bronnen 13

1. Introductie

1.1. Inleiding en conclusie

Dit document bevat een analyse van het seismisch risico van de gasvoorkomens Bergen (ROSL) Groet (ROSL) en Schermer (ZEZ3A). Deze voorkomens zijn gelegen in Noord-Holland in de omgeving van Alkmaar, in het gebied van de Winningsvergunning Bergen II (een concessie onder de Mijnbouwwet, ook bekend als "Bergen Concessie"). Het betreft een risico analyse waarbij aan invloedfactoren ondergrond en invloedfactoren bovengrond een puntenwaarde wordt toegekend. Deze waarde wordt in een risicomatrix weergegeven en leidt dan tot een risico-kwalificatie “laag”, “medium” of “hoog”. Tot de invloedfactoren hoort ook de sterkte van een realistisch sterkste beving. Deze realistisch sterkste beving is in dit document op twee verschillende manieren berekend.

De in dit document gebruikte methode is ontwikkeld in het Technisch Platform Aardbevingen waarin zowel de mijnbouwondernemingen als kennisinstellingen zijn vertegenwoordigd. De methode is ontwikkeld op basis van internationale inzichten en literatuur, en bedoeld om het seismisch risico van producerende gasvoorkomens inzichtelijk te maken. Staatstoezicht op de Mijnen heeft deze methode in een concept richtlijn ter consultatie aangeboden aan diverse belanghebbenden. Er is op de datum van dit document nog geen definitieve richtlijn vastgesteld.

De uitkomst van deze risicoanalyse is dat de gasvoorkomens Bergen (ROSL), Groet (ROSL) en Schermer (ZEZ3A) een laag seismisch risico hebben.

Het winningsplan van de Winningsvergunning Bergen II beschrijft dat dit lage seismische risico wordt beheerst - kort samengevat - door een meet en monitoringsnetwerk, dat bevingen vanaf M1.5 registreert. Indien seismische activiteit wordt gemeten, zullen, afhankelijk van de aard van de activiteit, beheersmaatregelen worden genomen die kunnen bestaan uit insluiten of vermindering van de productie, en die voor elke geregistreerde beving zullen bestaan uit verdere studies.

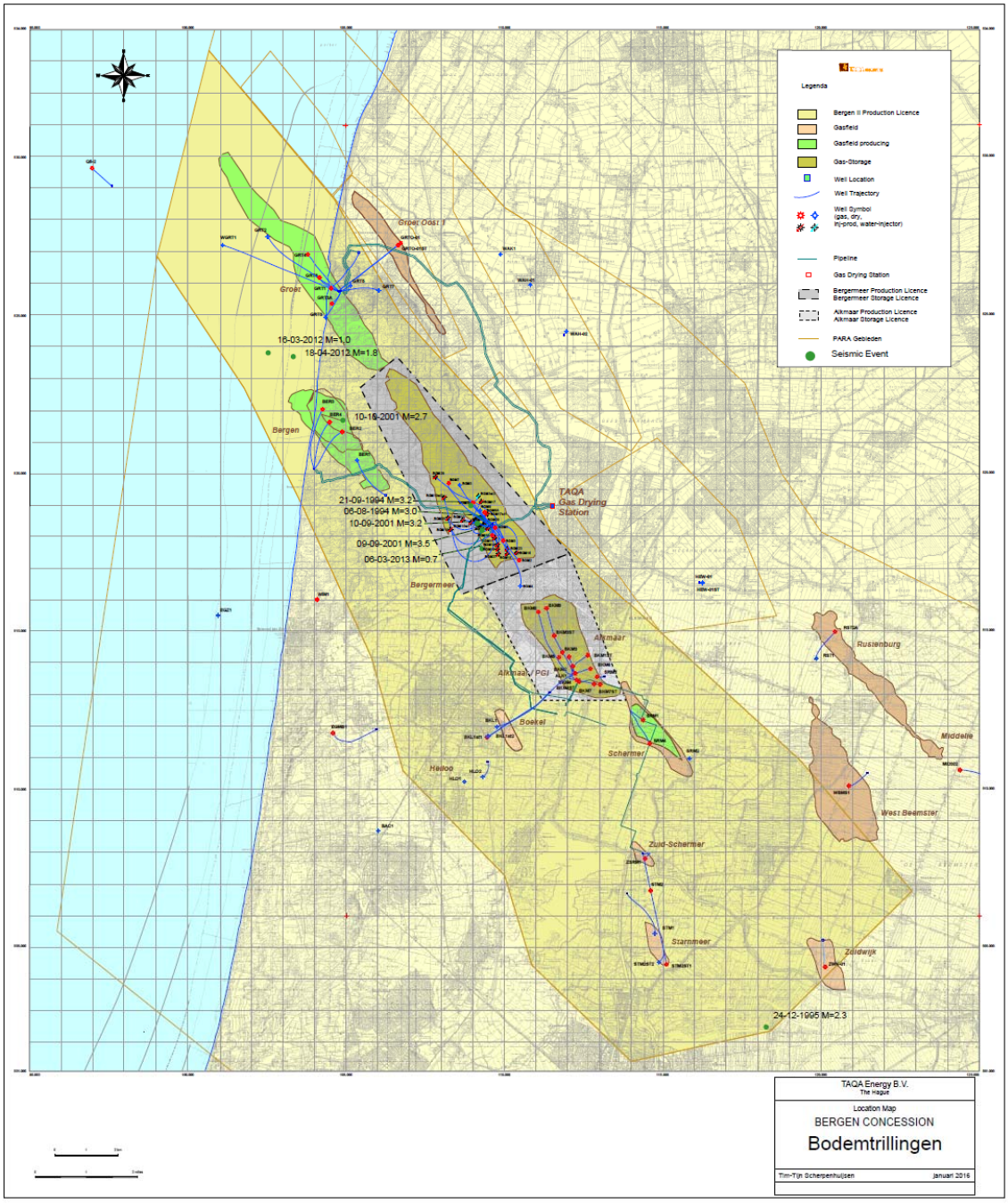
1.2. Achtergrond

De winning van aardgas gaat in het algemeen gepaard met een daling van de druk in de diepe ondergrond. De bijbehorende veranderingen in het spanningsstelsel kunnen leiden tot plotselinge bewegingen langs bestaande breuken in de diepe ondergrond. Afhankelijk van onder meer de intensiteit van deze beweging en de samenstelling van hoger gelegen bodemlagen, kan aan de oppervlakte een bodemtrilling plaatsvinden.
In Nederland vinden zeer regelmatig door gaswinning geïnduceerde trillingen plaats.
Sinds het begin van de jaren negentig hebben verschillende organisaties, waaronder de overheid, kennisinstituten en mijnbouwmaatschappijen, zich met deze problematiek bezig gehouden. Een en ander is in een stroomversnelling gekomen door de aardbevingen in Groningen in 2013.

Bevindingen zijn gedocumenteerd in een aantal rapportages zoals in het TNO/KNMI integratie-rapport ‘Seismisch hazard van geïnduceerde aardbevingen. Integratie van deelstudies’. [1]
Alle door gaswinning geïnduceerde trillingen worden gepubliceerd door het KNMI.
De meeste trillingen zijn niet waarneembaar zonder meetapparatuur en veroorzaken geen schade. Er wordt veel onderzoek gedaan naar de mogelijkheid om optreden en sterkte van geïnduceerde aardbevingen te voorspellen. Minimum en maximum bandbreedtes zijn voorspelbaar maar er bestaan op dit moment nog geen methodes voor zeer precieze voorspellingen.

2. De gasvoorkomens Bergen, Groet en Schermer

In het gebied van winningsvergunning Bergen II zijn momenteel drie gasvoorkomens in productie, te weten: Bergen, Groet en Schermer. Bergen en Groet produceren uit de Rotliegend Slochteren Formatie (ROSL) en Schermer uit de Zechstein Z3 Carbonate Member (ZEZ3A). Het gasvoorkomen Bergen heeft in 2001 meetbare seismiciteit vertoond met een magnitude van M2.7 en heeft geen schade veroorzaakt [7]. In de Bergen Concessie is in 1995 en 2012 ook meetbare geïnduceerde seismiciteit gemeten met een magnitude M1.0 , M1.8 en M2.3. Deze seismiciteit valt vanwege meetonnauwkeurigheden niet toe te kennen aan specifieke gasvoorkomens. Ook deze bevingen hebben niet tot schade geleid. Het nabij gelegen gasopslagveld Bergermeer is in 1994 en 2001 seismisch actief geweest, dit heeft tot niet-structurele schades aan meerdere woningen en gebouwen geleid. Het Bergermeer veld ligt niet in het gebied van de Winningsvergunning Bergen II.



Figuur 1. Kaart Winningsvergunning Bergen II (Bergen Concessie) met in groen de producerende velden (van boven naar beneden Groet, Bergen en Schermer Platten), en locaties van geregistreerde bevingen.

3. Seismisch risico analyse

3.1. Methode

Om de resultaten van de SRA toetsbaar te maken, is gebruik gemaakt van bestaande onderzoeksresultaten en kwantificeerbare grootheden uit bestaande analyses en informatiebronnen.

In de risicomatrix worden de invloedfactoren ondergrond tegen de invloedfactoren bovengrond geplot. Met de risicomatrix wordt kwalitatief een risicocategorie bepaald. In dit document is deze methode toegepast.

3.2. Geschatte sterkte realistisch sterkste beving

In dit document wordt een schatting gemaakt van de sterkte van de realistisch sterkste beving. Dit kan op basis van twee principes:

1. gebruikmakend van de breukgeometrie,
2. gebruikmakend van de energiebalans.

3.3. Onzekerheden

Beide methodes kennen onzekerheden en aannames. Zo wordt bijvoorbeeld voor magnitudes die geschat worden op basis van energiebalans, uitgegaan van een partitie coëfficiënt van 0.01. Deze waarde is gelijk aan de hoogste waarde waargenomen in Nederlandse gasvoorkomens. Voor veel gasvoorkomens is deze partitie coëfficiënt veel lager en daarom zullen de magnitudes die geschat worden op basis van energiebalans aan de hoge kant liggen. Een lagere partitie coëfficiënt van 0.001 resulteert in een afname van M0.7 van de berekende sterkte van realistisch sterkste beving.
Dezelfde conclusie kan ook worden getrokken voor magnitudes bepaald met de breukgeometrie methode. Bij deze methode wordt bijvoorbeeld uitgegaan van een stress drop van 5MPA. Deze waarde is gebaseerd op weinig observaties en is daarnaast lastig te bepalen. Als uitgegaan wordt van bijvoorbeeld een stress drop van 1MPA dan zal dit resulteren in een afname van de sterkte van realistisch sterkste beving van M0.5.
Daarnaast zijn er andere factoren dan het compactievolume en het breukoppervlak die het seismisch gedrag van een veld in sterke mate bepalen, zoals de initiële tektonische spanningen, de drukverdeling in het reservoir, de geometrie van het reservoir en de breuken, het spanningspad, de deformatiesnelheden en de ontwikkeling van de breuksterkte tijdens een aardbeving. Deze factoren worden niet meegenomen in de bepaling van de sterkte van realistisch sterkste beving volgens de hier gehanteerde methodes.

3.3.1. Breukgeometrie

De grote van het breukoppervlak dat tijdens een beving beweegt schaalt met de hoeveelheid energie die vrijkomt bij een beving. De grote van de breuk is dus bepalend. De relatie die het breukoppervlakte met de vrijkomende energie heeft wordt weergegeven door [3]:

$$M_0 = \frac{3\pi}{8}\Delta\sigma(w^2 L), \qquad (1)$$

waarbij M_0 het seismisch moment is (maat is voor de hoeveelheid energie), $\Delta\sigma$ de spanningsafname, w de hoogte en L de lengte van de breuk. Voor de meeste geïnduceerde bevingen komt de spanningsafname niet boven de 5MPa (50 bar) uit. Voor de bepaling van de sterkte van de realistisch sterkste beving wordt derhalve van deze waarde uitgegaan. Het is moeilijk om vast te stellen hoe

groot het breukoppervlakte is waarover seismische slip kan plaatsvinden. Op basis van verschillende geomechanische modellen is bekend dat de meeste spanningstoename optreedt door drukafname in het reservoir ter plaatse waar het breukoppervlakte grenst aan het reservoir.
De relatie die het seismisch moment heeft met de magnitude M van een beving wordt gegeven door [5]:

$$M = \frac{2}{3}(log_{10}(M_0) - 9.1) \qquad (2)$$

	$\Delta\sigma$ (MPa)	w (m)	L (m)
Schermer	16.2	40	3020
Bergen	21.3	200	3100
Groet	20.9	200	4840

Tabel 1 Input parameters

3.3.2. Energiebalans

De tweede methode die gebruikt wordt om de sterkte van de realistisch sterkste beving te bepalen is op basis van de energiebalans. De energie die vrij komt bij een geïnduceerde beving is een fractie van de energie die opgebouwd wordt tijdens gasonttrekking uit het reservoir. Voor het Groningen gasveld is deze relatie empirisch afgeleid [6,7]:

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

Met $M_{0,T}(t)$ is het seismisch moment, μ de schuifmodulus, α de partitie coëfficiënt en $\Delta V(t)$ de volume verandering in het reservoir ten gevolg van gasonttrekking. Aangezien dit de enige relatie is die bekend is voor de onshore gasvoorkomens in Nederland, zal deze voor de Bergen Concessie worden toegepast.
De schuifspanning wordt gegeven door:

$$\mu = \frac{E}{2(1+\upsilon)} \qquad (4)$$

waarin E de Young's Modulus is en υ de Poisson Ratio.
$\Delta V(t)$, de volume verandering in het reservoir ter gevolg van gasonttrekking wordt gegeven door:

$$\Delta V(t) = H_{res}\mathrm{C}_m\Delta\mathrm{PA}_{res} \qquad (5)$$

Met H_{res} is de reservoir hoogte, $\Delta\mathrm{P}$ de drukafname in het reservoir, A_{res} is de reservoir grote en C_m de uniaxiale compactie coefficient,gegeven door:

$$C_m = \left(\frac{1+\upsilon}{1-\upsilon}\right)\left(\frac{1-2\upsilon}{E}\right) \qquad (6)$$

De partitie coëfficiënt α is empirisch bepaald voor de gasvoorkomens in Nederland en aangenomen wordt dat die 0.01 bedraagt. Deze waarde komt overeen met de grootste waarde die geobserveerd is voor enkele velden in Noord-Nederland.
Substitutie van vergelijking (4), (5) en (6) in vergelijking (3), waarbij $\alpha = 0.01$, resulteert in:

$$M_{0,T}(t) \cong \frac{2(1-2\upsilon)}{3(1-\upsilon)}0.01H_{res}\Delta\mathrm{PA}_{res} \qquad (7)$$

Door de logaritmische relatie (vergelijking (2)) tussen magnitude en seismisch moment gaat de sterkte van de realistisch sterkste beving gepaard met de helft van het seismisch moment en geeft substitutie van vergelijking (7) in vergelijking (2) de volgende uitdrukking voor de magnitude M:

$$M = \frac{2}{3}\left(log_{10}\left(\frac{(1-2\upsilon)}{3(1-\upsilon)}0.01 H_{res}\Delta \mathrm{PA}_{res}\right) - 9.1\right) \qquad (8)$$

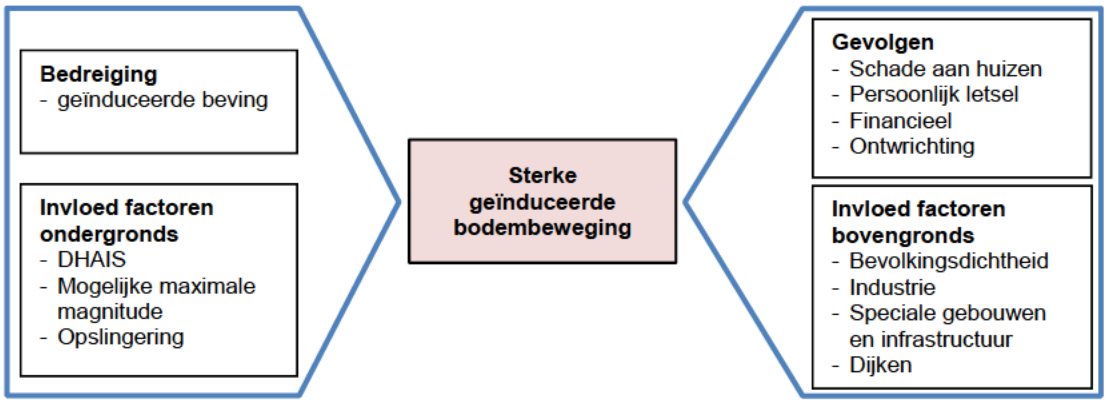
	υ (-)	H_{res} (m)	ΔP (MPa)	A_{res} (m2)
Schermer	0.25	40	16.2	$1.3*10^6$
Bergen	0.2	200	21.3	$5.7*10^6$
Groet	0.2	200	20.3	$2.8*10^6$

Tabel 2 Input parameters

4. Risicomatrix

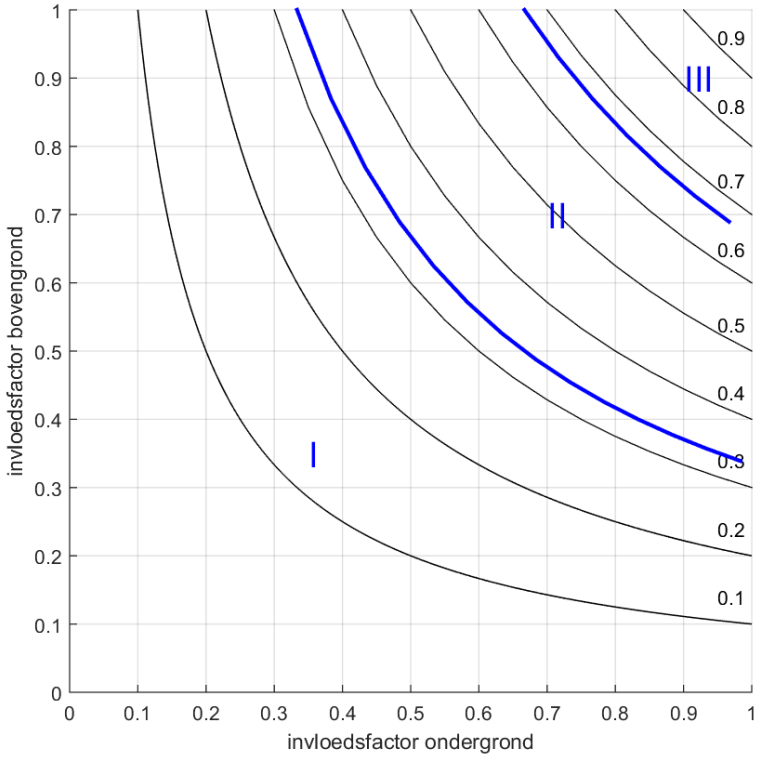
4.1. Methode, algemeen

Op basis van een risicomatrix benadering kan het risico van geïnduceerde aardbevingen verder worden gekwalificeerd. Daarbij wordt rekening gehouden met de in onderstaande figuur weergegeven bedreigingen en gevolgen van geïnduceerde bevingen, en de verschillende bovengrondse en ondergrondse invloedfactoren die daarbij een rol spelen.



Figuur 2 Weergave van bedreiging en gevolgen van een geïnduceerde beving

De risicomatrix geeft de relatie weer tussen invloedfactoren ondergrond en invloedfactoren bovengrond. Deze factoren zijn gekwantificeerd door aan verschillende factoren waardes toe te kennen. De som van de waardes voor invloedfactoren bovengrond en invloedfactoren ondergrond worden genormaliseerd naar de totaal toe te kennen waardes en geplot in de risicomatrix van figuur 3. De locatie van de punten in de grafiek geeft de kwalificering van de velden aan. Deze risicokwalificering heeft implicaties voor monitoring, beheersmaatregelen en verder onderzoek.



Figuur 3 Risicomatrix

4.2. Invloedfactoren ondergrond

- Kans op het induceren van bevingen: in de SRA voor de Bergen concessie wordt de kans op beven bepaald door de DHAIS analyse [1]. Resultaten van deze studie zijn in dit document toegepast.
- De sterkste beving waar realistisch rekening mee moet worden gehouden: resultaten hiervan worden gebruikt in de risicomatrix. In hoofdstuk 3 zijn de methodes voor het bepalen van de sterkte van de sterkste beving waar realistisch rekening mee moet worden gehouden besproken.
- 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. Het is in Nederland nooit voorgekomen dat er door gaswinning geïnduceerde bevingen optraden in velden ten zuiden van de lijn Amsterdam-Arnhem, waar de Zechstein zoutafzettingen ontbreken.
- Lokale opslingering: de DHAIS studie die uitgevoerd is door TNO [1] heeft de ondiepe bodemlagen en daarbij horende opslingering in kaart gebracht. Deze kaart wordt gebruikt om de lokale opslingering in kaart te brengen.

De tabel hieronder is gebruikt om invloedfactoren bovengrond genoemd in paragraaf 4.3 te kwalificeren.

	DHAIS	M	Ligging voorkomen	Opslingering
5		Alle methodes >4,5		
4	Bevend veld > 5 bevingen per jaar van M≥ 1,5	1 methode > 4,5 én/of Alle methodes 4,1 – 4,5		
3	Bevend veld < 5 bevingen per jaar van M≥ 1,5	1 methode 4,1 – 4,5 én/of Alle methodes 3,6 – 4,0		>60% slappe grond ($V_{s,30}$ =< 200m/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.
2	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 ($V_{s,30}$ =< 200m/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.
1	P=19%	1 methode 3,1 – 3,5 én/of Alle methodes 2,6 – 3,0		10-30% slappe grond ($V_{s,30}$ =< 200m/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.
0		1 methode 2,6 – 3,0 én/of Alle methodes ≤ 2,5	Onder de lijn Amsterdam-Arnhem	<10 % slappe grond ($V_{s,30}$ =< 200m/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.

Tabel 3 Classificering van de invloedfactoren ondergrond (DHAIS zie referentie [1] &[2])

4.3. Invloedfactoren bovengrond

- Bevolkingsdichtheid: De bevolkingsdichtheid is bepaald door op de bevolkingsdichtheidskaart de bevolkingsdichtheid af te lezen van de verschillende gemeentes waaronder een gasvoorkomen zich bevindt. Op basis van het oppervlakte van het gasvoorkomen dat binnen de gemeente grenzen ligt is een gewogen gemiddelde bepaald. Het type bebouwing speelt een belangrijke rol, maar is moeilijk te specificeren. Het is wel vast te stellen of er wijken met flats/appartementencomplexen zijn. Dit is in deze categorie verwerkt.
- Industriële inrichtingen: Op http://www.risicokaart.nl is de aanwezigheid van industriële inrichtingen boven en rond het veld geïnventariseerd en zodoende kan deze factor worden geclassificeerd.
- Speciale gebouwen en vitale infrastructuur: Op http://www.risicokaart.nl is de aanwezigheid van scholen, ziekenhuizen, tehuizen en publieke gebouwen waar veel mensen samenkomen in kaart gebracht en is deze factor geclassificeerd.
- Dijken: Op basis van aanwezigheid van waterwegen is de aanwezigheid van dijken ingeschat.

De tabel hieronder is gebruikt om invloedfactoren bovengrond genoemd in paragraaf 4.4 te kwalificeren.

	Bevolkings-dichtheid (aantal inwoners per km^2)	Industriële inrichtingen	Speciale gebouwen En vitale infrastructuur	Dijken
4	> 2500	Meerdere direct boven het veld	Meerder ziekenhuizen en/of energievoorzieningen direct boven het veld	Primaire dijken boven het veld
3	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, tehuizen en/of publieksgebouwen direct boven het veld	Primaire dijken binnen 5 km rond het veld en/of secundaire dijken boven het veld
2	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
1	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.	
0	< 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

Tabel 4 Classificering van de invloedfactoren bovengrond

4.4. Classificering invloedfactoren

4.4.1. Bergen

- DHAIS: Bergen heeft in het verleden één keer gebeefd.
- M: Uit de breuk geometrie methode volgt een M van 3.6 - 4. Uit de energiebalans methode volgt een M van 2.6 - 3.0.
- Ligging voorkomen: Het voorkomen bevindt zich boven de lijn Amsterdam- Arnhem.
- Opslingering: Het voorkomen bevindt zich voor 100% onder een stijve ondergrondklasse.
- Bevolkingsdichtheid: Het voorkomen bevindt zich voor 100% in de gemeente Bergen. Bergen heeft een bevolkingsdichtheid van 312 inwoners per km^2. Binnen een straal van 5km bevinden zich flats of appartementen complexen.
- Industriële inrichtingen: Boven het veld bevinden zich geen industriële inrichtingen. In een straal van 5km rond het veld bevinden zich meerdere industriële inrichtingen.
- Speciale gebouwen: Boven het veld bevinden zich geen speciale gebouwen of vitale infrastructuur. In een straal van 5km rond het veld bevinden zich meerdere speciale gebouwen en/of vitale infrastructuur.

4.4.2.Groet

- DHAIS: Groet valt in de P=42% categorie
- M: Uit de breuk geometrie methode volgt een M van 3.6 - 4. Uit de energiebalans methode volgt een M van 3.1 - 3.5.
- Ligging voorkomen: Het voorkomen bevindt zich boven de lijn Amsterdam – Arnhem.
- Opslingering: Het voorkomen bevindt zich voor 100% onder een stijve ondergrondklasse.

- Bevolkingsdichtheid: Het voorkomen bevindt zich voor 100% in de gemeente Bergen. Bergen heeft een bevolkingsdichtheid van 312 inwoners per km^2. Binnen een straal van 5km bevinden zich flats of appartementen complexen.
- Industriële inrichtingen: Boven het veld bevinden zich geen industriële inrichtingen. In een straal van 5km rond het veld bevinden zich meerdere industriële inrichtingen.
- Speciale gebouwen: Boven het veld bevinden zich geen speciale gebouwen of vitale infrastructuur. In een straal van 5km rond het veld bevinden zich meerdere speciale gebouwen en/of vitale infrastructuur.

4.4.3.Schermer

- DHAIS: Schermer valt in de P=42% categorie
- M: Uit de breuk geometrie methode volgt een M van 2.6 - 3. Uit de energiebalans methode volgt een M van <2.5.
- Ligging voorkomen: Het voorkomen bevindt zich boven de lijn Amsterdam – Arnhem.
- Opslingering: Het voorkomen bevindt zich voor 100% onder een slappe ondergrondklasse
- Bevolkingsdichtheid: Het voorkomen bevindt zich voor 90% in de gemeente Schermer. Schermer heeft een bevolkingsdichtheid van 80 per km^2. 10% van het voorkomen valt in de gemeente Graft-De Rijp. Deze gemeente heeft een bevolkingsdichtheid van 322 per km^2. Dit komt neer op een gewogen gemiddelde van 104 inwoners per km^2. Binnen een straal van 5km bevinden zich flats of appartementen complexen.
- Industriële inrichtingen: Boven het veld bevinden zich twee industriële inrichtingen. Een van deze inrichtingen is de productie locatie behorende bij het Schermer veld. Deze productie locatie is niet kwetsbaar, omdat zij aangelegd en beheerd wordt volgens – strenge – voor mijnbouw geldende normen. In een straal van 5km rond het veld bevinden zich meerdere industriële inrichtingen.
- Speciale gebouwen: Boven het veld bevinden zich geen speciale gebouwen of vitale infrastructuur. In een straal van 5km rond het veld bevinden zich meerdere speciale gebouwen en of vitale infrastructuur.

De resultaten van de classificering van de invloedfactoren *ondergrond* zijn weergegeven in onderstaande tabel.

	DHAIS	M	Ligging voorkomen	Opslingering	Score totaal	Genormaliseerde score
Bergen(Rotliegend)	3	2	2	0	7	7/14=**0.5**
Groet(Rotliegend)	2	2	2	0	6	6/14=**0.42**
Schermer(Platten)	2	0	2	3	7	7/14=**0.5**

Tabel 5

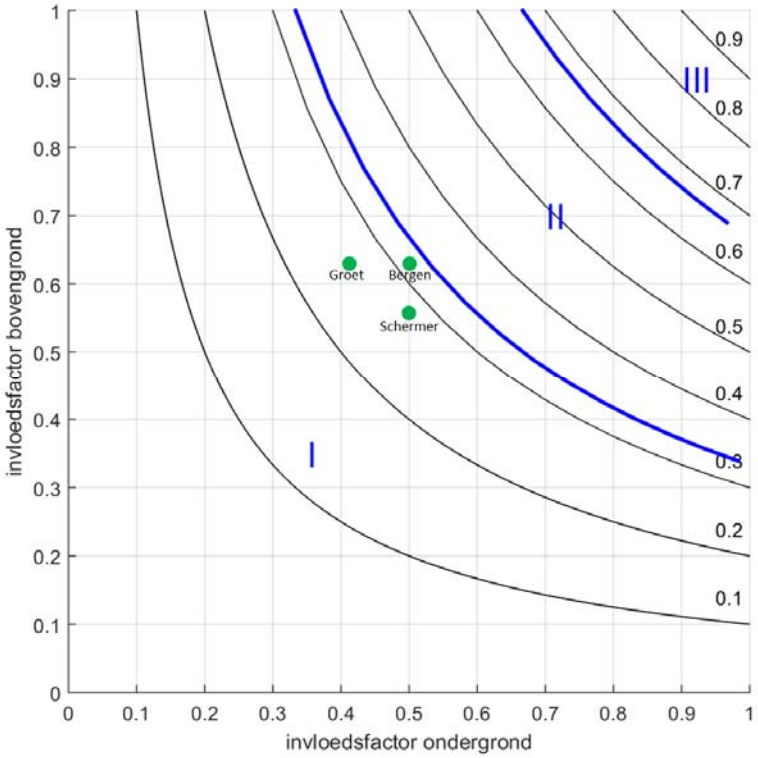
De resultaten van de classificering van de invloedfactoren *bovengrond* zijn weergegeven in onderstaande tabel.

	Bevolkingsdichtheid	Industriële inrichtingen	Speciale gebouwen en vitale infrastructuur	Dijken	Score totaal	Genormaliseerde score
Bergen(Rotliegend)	2	3	2	3	10	10/16=0.63
Groet(Rotliegend)	2	3	2	3	10	10/16=0.63
Schermer(Platten)	1	3	2	3	9	9/16=0.56

Tabel 6

4.5. Toepassing risicomatrix

In onderstaande figuur 4 zijn de totaal scores van de drie gasvoorkomens geplot in de risicomatrix. Geconcludeerd kan worden dat de drie onderzochte gasvoorkomens vallen in risicocategorie I.



Figuur 4 Risicomatrix met resultaten

4.6. Verdere duiding

Boven de gasvoorkomens Groet en Bergen is weinig directe bebouwing, en geen industriële inrichtingen of speciale gebouwen. Het duingebied waar de gasvoorkomens onder liggen heeft een stijve ondergrond. Mocht er een seismisch event plaatsvinden dan zal de stijve ondergrond voor weinig opslingering zorgen. Beide kenmerken van het duingebied beperken het seismisch risico van deze gasvoorkomens.
In het duingebied zijn twee kleine bevingen geweest die niet door mensen gevoeld zijn, en in 2001 heeft er een kleine waarneembare beving plaatsgevonden in het Bergen gasvoorkomen. Die beving heeft niet geleid tot structurele schade.

Het Schermer gasvoorkomen produceert uit de Platten Dolomiet met een beperkte dikte van 40m. Doordat de dikte beperkt is, is de energie die vrij kan komen bij een eventuele beving ook laag. Dit resulteert in een lage realistisch sterkste beving. Er is een lage bevolkingsdichtheid in de omgeving van het Schermer voorkomen. Het veld ligt, evenals het Bergermeer voorkomen, onder een slappe ondergrond. De ervaring met de bevingen van het Bergermeer gasvoorkomen geeft geen aanleiding om voor het Schermer voorkomen grote invloed toe te meten aan een opslinger-effect.

Alle drie voorkomens vallen in de laagste categorie van de risicomatrix. Dat betekent dat voor mensen waarneembare bevingen zeer onwaarschijnlijk zijn. Op basis van de beschikbare wetenschap en techniek zijn zij echter niet volledig uit te sluiten. Een eventuele beving zal naar alle waarschijnlijkheid geen structurele schade aan gebouwen veroorzaken. Niet structurele schades als scheuren in metsel- of stuukwerk of tegelwanden zijn ook erg onwaarschijnlijk. Persoonlijk letsel door geïnduceerde bevingen is in Nederland nooit voorgevallen, en ook voor deze voorkomens is dat naar alle redelijke maatstaven als uitgesloten aan te merken. (Daarvoor zou samenloop nodig zijn van – zeer onwaarschijnlijke – structurele schade aan gebouwen, het daardoor vallen van zware objecten en de aanwezigheid van een persoon op de valkplek op het valmoment.) Wel zal een waarneembare beving, als zij voorkomt, gevoelens van onveiligheid veroorzaken. Schades worden altijd vergoed door de mijnbouwonderneming.

4.7. Depletie

De gasvoorkomens in de Bergen Concessie zijn vergaand leeg geproduceerd. De toekomstige winning bestaat uit het produceren van de laatste reserves. Dit veroorzaakt een zeer beperkte drukdaling in de velden. Hoewel wordt aangenomen dat de kans klein is dat kleine velden nog seismisch actief worden in de laatste fase van winning met geringe drukafname, is er geen empirische methode beschikbaar om dit aan te tonen.

4.8. Beheersmaatregelen

In en rondom de Bergen Concessie zijn in overleg met het KNMI geofoons en accelerometers geplaatst (zie onder meer het meetplan Bergen Winningsvergunning, actualisatie 2015). De huidige opstelling van geofoons in en rondom de Bergen Concessie garanderen een dekkend waarnemingsnet in de omgeving van de gasvoorkomens Groet, Bergen en Schermer voor bodemtrillingen met een magnitude van M1.5 en hoger. Hiermee worden de velden voldoende gemonitord. Iedere gemeten trilling wordt onderzocht en zal tot overleg tussen de vergunninghouder en de toezichthouder Staatstoezicht op de Mijnen en kennisinstituten leiden. Indien een veld seismisch actief wordt, kan als beheersmaatregel de winning verder worden beperkt of gestopt.

4.9. Conclusies

De gasvoorkomens Bergen (ROSL) Groet (ROSL) Schermer (ZEZ3A) hebben een laag seismisch risico.

***

Bronnen

[1] TNO, 2012, *Seismisch hazard van geïnduceerde aardbevingen; Integratie van deelstudies*, TNO-rapport 2012 R11139 (www.nlog.nl).

[2] TNO, 2012, *Deterministische hazard analyse voor geïnduceerde seismiciteit in Nederland*, TNO-rapport 2012 R10198 (www.nlog.nl).

[3] OVV, 2015, Aardbevingsrisico's in Groningen; Onderzoek naar de rol van veiligheid van burgers in de besluitvorming over de gaswinning (1959-2014).

[3] 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.

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

[5] 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.

[6] 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.

[7] www.knmi.nl