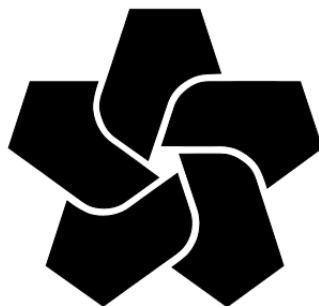


**Seismisch risico volgens de SRA methode voor de voorkomens
Schoonebeek ZE, Oosterhesselen ZE en Coevorden ZE**



NAM

Kenmerk EP20161021051 d.d. 1-11-2016

Auteur: Rob van Eijs, Onno van der Wal

Review: Dirk Doornhof, Vincent van Engelen

Samenvatting

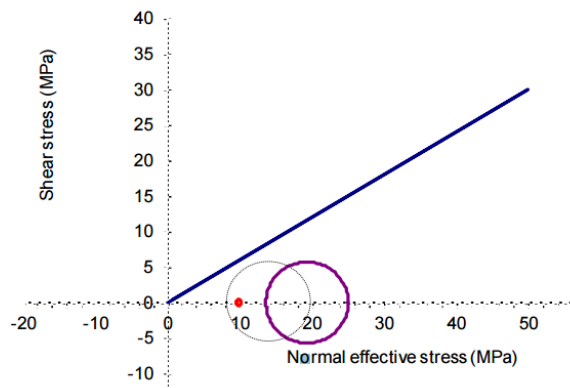
Dit rapport beschrijft het seismisch risico voor de voorkomens Schoonebeek ZE, Oosterhesselen ZE en Coevorden ZE volgens de "Methodiek voor risicoanalyse omtrent geïnduceerde bevingen door gaswinning, tijdelijke leidraad voor adressering mbb. 24.1.p, versie 1.2, SodM, 1 februari 2016".

Deze leidraad is ontwikkeld voor het inschatten van seismisch risico door gaswinning (en dus drukdaling) en niet voor het inschatten van het seismisch risico tgv waterinjectie (en dus drukstijging). In het rapport wordt aangegeven welke onderdelen van de leidraad van toepassing kunnen zijn voor waterinjectie. De uitwerking van de SRA-leidraad voor deze voorkomens toont aan dat het Coevorden-voorkomen in een hogere categorie (cat. II) ligt dan de andere twee voorkomens (cat. I). Zes van de acht componenten in de leidraad kunnen worden gebruikt voor injectievoorkomens. Daarmee geeft de methode weliswaar geen volledig beeld van het risico, maar is wel bruikbaar voor een inschatting van met name de bovengrondse gevoeligheid van de gebieden boven de voorkomens. Voor alle voorkomens geldt dat tot nu toe geen enkele beving gevoeld is door personen. Ook op basis van alle observaties bij water- en gasinjectie in Nederland lijkt het risico op schade door aardbevingen zeer beperkt. Aangezien dat nog niet wil zeggen dat het seismisch risico geheel kan worden uitgesloten en ook vanwege de schaal van de waterinjectie wordt aanbevolen om voor alle voorkomens de maatregelen 2,3 en 4 te implementeren die gegeven zijn in de leidraad voor categorie II velden.

Inhoud

Introductie.....	4
De voorkomens Schoonebeek ZE, Oosterhesselen ZE en Coevorden ZE	4
Overzicht van historische bevingen	5
Algemene kennis over geïnduceerde aardbevingen	7
Samenvatting SRA en gebruikte gegevens m.b.t. de SRA voor de voorkomens in dit rapport	7
Uitwerking SRA voor de voorkomens Schoonebeek ZE, Oosterhesselen ZE en Coevorden ZE	11
Realistisch sterkste beving	12
Positie van de voorkomens in de risicomatrix	18
Betekenis van de SRA uitkomst voor het seismisch risico gedurende waterinjectie; conclusies en aanbevelingen.....	19
Referenties	21

Ook de Twente voorkomens hebben geproduceerd uit Zechstein carbonaten. Waterinjectie in deze carbonaten vindt al plaats gedurende 5 jaar en in die periode zijn er geen aardbevingen waargenomen. Voor de Twente injectie reservoirs is een inschatting gemaakt voor de seismische dreiging (NAM, 2015a), waarbij voor de Zechstein velden is geconcludeerd dat de natuurlijke schuifspanning laag is. Deze conclusie is voornamelijk gebaseerd op informatie van hydraulische stimulatietesten in het Coevorden veld. Daarom is de verwachting dat deze lage schuifspanningsconditie ook voor de voorkomens in dit rapport geldt. Figuur 2 toont deze conditie in een Mohr-Coulomb diagram met daarbij tevens een indicatie van het spanningsverloop vanuit de beginsituatie (rode punt) naar depletie (paarse cirkel) en injectie (grijze cirkel).



Figuur 2 Schuifspanning en normaalspanning voor een willekeurig (breuk)vlak (Mohr-Coulomb diagram). De rode punt geeft de beginconditie aan, de paarse cirkel een mogelijke conditie na depletie en de grijze lijn de conditie wanneer er direct in een breuk wordt geïnjecteerd. In geen van de condities vindt er breukreactivatie plaats volgens dit eenvoudig concept.

Algemeen kan gesteld worden dat de kans op bevingen kleiner is voor een veld waarbij de beginschuifspanning laag is dan voor een veld waarbij deze beginspanning hoger ligt zoals bv Groningen en Roswinkel. Echter dit vereenvoudigd model mag niet gebruikt worden voor kwantitatieve schattingen van het aardbevingsrisico omdat het model geen rekening houdt met onzekerheid over spanningsvariaties en breuksterkte variaties.

De spanningstoestand is in de seismische risico analyse geen variabele omdat voor de meeste velden geen spanningsinformatie beschikbaar is.

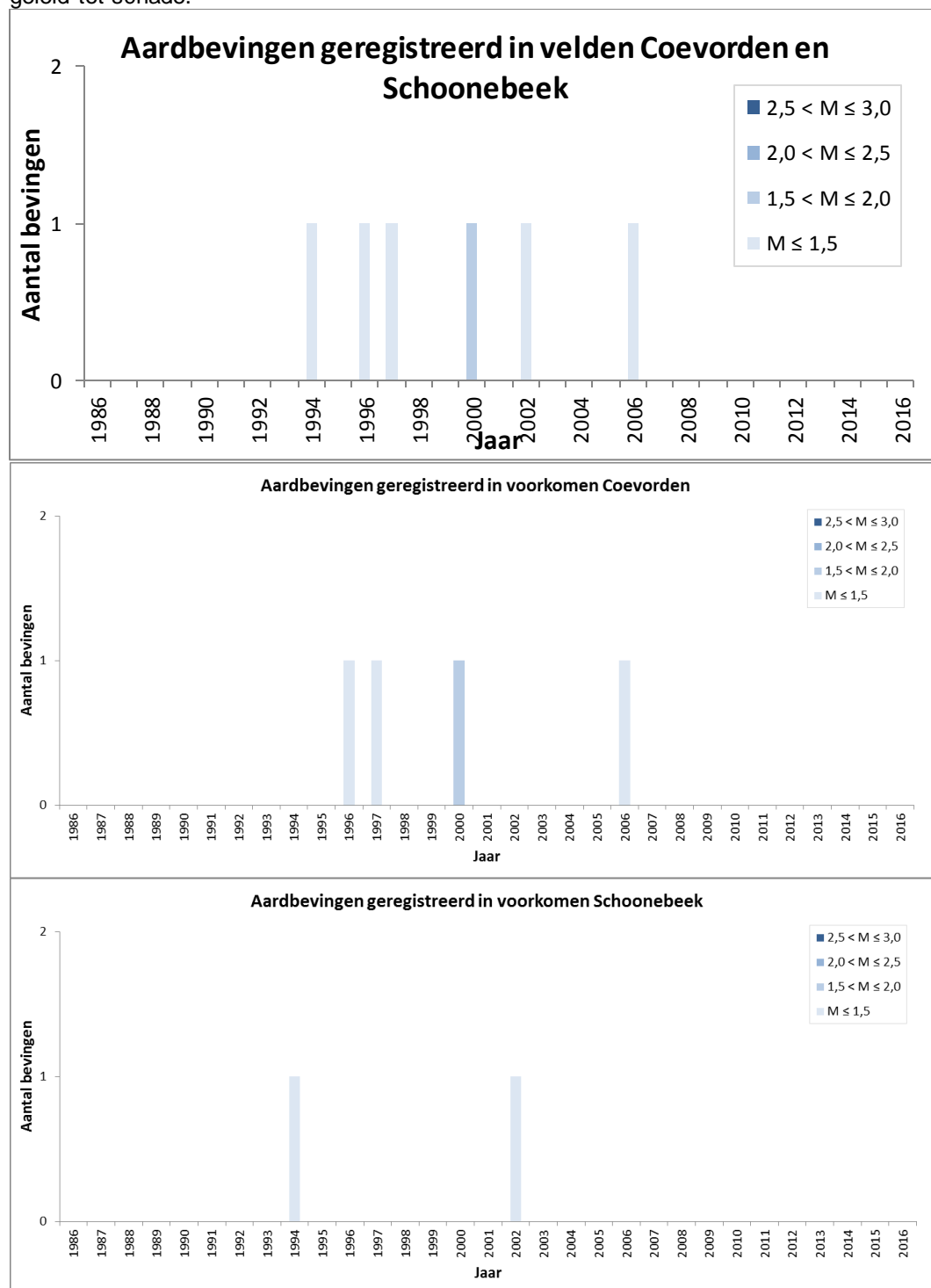
Overzicht van historische bevingen

In Tabel 1 is voor deze voorkomens weergegeven of deze seismisch actief zijn geweest. Tevens is per voorkomen de beving met de grootste magnitude weergegeven die in dat veld is geregistreerd. Hieruit blijkt dat alleen boven en in de buurt van Schoonebeek en Coevorden kleine, niet gevoelde, bevingen zijn geregistreerd (de laatste in 2006). Daarbij wordt geconstateerd dat geen van de Coevorden bevingen boven het veld hebben plaatsgevonden maar alle ten oosten en ten noorden van het veld. Het is daarom niet zeker dat deze bevingen werden veroorzaakt door gaswinning uit dit voorkomen.

Tabel 1 Overzicht van historische seismiteit boven de producerende voorkomens Oosterhesselen, Coevorden en Schoonebeek. Per voorkomen is de beving met de grootste magnitude die ooit boven het betreffende voorkomen is geregistreerd weergegeven.

Voorkomen	Historische bevingen	Maximale gemeten magnitude	Locatie	jaar
Schoonebeek ZE	ja	1,5	Coevorden	2002
Coevorden ZE	ja	1,6	Laar	2000
Oosterhesselen ZE	nee			

Onderstaande grafieken in Figuur 3 geven de observaties aan voor het aantal bevingen en de magnitudes van de bevingen per voorkomen. Geen van deze kleine bevingen zijn gevoeld of hebben geleid tot schade.



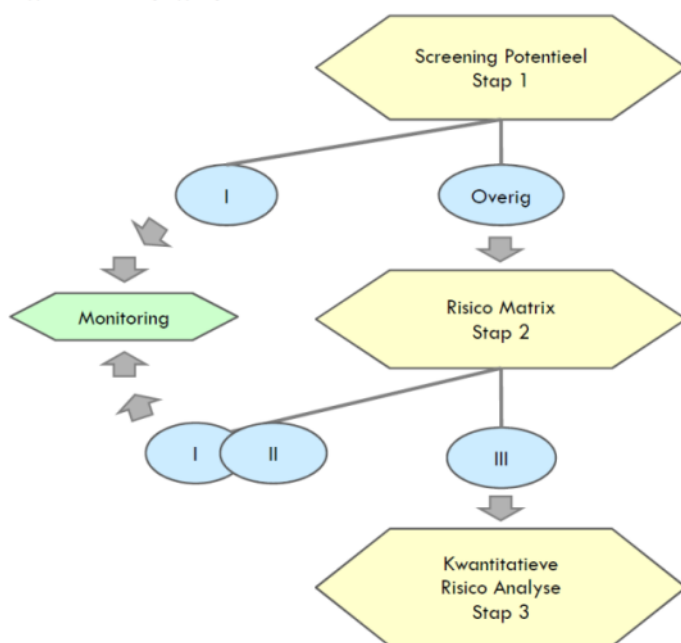
Figuur 3 Historische bevingen voor voorkomens voor Coevorden en Schoonebeek. Vanaf 1996 is het seismische netwerk voldoende accuraat om ook kleine (niet voelbare bevingen) betrouwbaar te kunnen registreren en lokaliseren.

Algemene kennis over geïnduceerde aardbevingen

Sinds het begin van de jaren negentig houden verschillende instanties, waaronder de overheid, kennisinstellingen en mijnbouwmaatschappijen, zich gezamenlijk met deze problematiek bezig.^{1,2,3,4} Sinds 2002 zijn bovengenoemde instanties verenigd in het Technisch Platform Aardbevingen (TPA). Hiermee is de aanwezige kennis op het gebied van aardtrillingen gebundeld en wordt deze kennis optimaal ingezet met gebruikmaking van de meest actuele stand der techniek. In respons op het Mijnbouwbesluit is onder begeleiding van het TPA een risicoanalyse omtrent bodemtrillingen als gevolg van winning van olie of gas uitgevoerd^{5,6,7}. Tevens is in dit kader een samenvattend rapport uitgebracht waarin de resultaten van bovengenoemde studies zijn geïntegreerd⁸. Deze rapporten zijn gepubliceerd op: <http://www.nlog.nl/geïnduceerde-seismiciteit>. Recent heeft SodM een tijdelijke richtlijn voor Seismische Risico Analyse (SRA) gepubliceerd (methodiek voor risicoanalyse omtrent geïnduceerde bevingen door gaswinning tijdelijke leidraad voor adressering mbb. 24.1.p, versie 1.2, SodM, 1 februari 2016).

Samenvatting SRA en gebruikte gegevens m.b.t. de SRA voor de voorkomens in dit rapport

De SRA gaat uit van het schema zoals getoond in Figuur 4. Voor de volledigheid wordt de hele SRA doorlopen voor de velden Schoonebeek ZE, Oosterhesselen ZE en Coevorden ZE. Na deze analyse zal uitleg worden gegeven wat de uitkomst betekent voor mogelijke seismiciteit in de toekomst door waterinjectie.



Figuur 4 Schematische weergave van de verschillende stappen en risico categorieën (I, II, III) in de seismische risico inventarisatie (conform SodM, 2016).

¹ Eindrapport multidisciplinair onderzoek naar de relatie tussen Gaswinning en Aardbevingen in Noord-Nederland; Begeleidingscommissie Onderzoek Aardbevingen, 1993

² De relatie tussen schade aan gebouwen en lichte ondiepe aardbevingen in Nederland; TNO Bouw, 1998

³ Seismisch risico in Noord-Nederland; de Crook et al., KNMI, 1998

⁴ Kalibratiestudie schade door aardbevingen" TNO-034-DTM-2009-04435 (2009)

⁵ Seismisch hazard van geïnduceerde aardbevingen; Wassing et al

⁶ TNO-NITG rapporten 03-185-C (2003), 03-186-C (2004), 04-233-C (2004)

⁷ Deterministische hazard analyse voor geïnduceerde seismiciteit (DHAIS); TNO-rapport R10198, 2012

⁸ Seismisch hazard van geïnduceerde aardbevingen, integratie van deelstudies; TNO/KNMI, TNO 2012 R11139

Stap 1:

In stap 1 worden alle voorkomens bekeken. De voorkomens die direct in risicocategorie I (zeer laag seismisch risico) vallen worden gekarakteriseerd doordat ze:

- Voorkomens zijn die niet seismisch actief zijn geweest.
- Voorkomens zijn waarvoor de kans laag is dat ze in de toekomst seismisch actief kunnen worden (volgens de DHAIS “Deterministische hazard analyse voor geïnduceerde seismiciteit” methodiek) en/of waarvoor op basis van reservoircompactie of mogelijke breukverplaatsing de waarde voor de mogelijke maximale bevingsmagnitude (M_{max}) laag uitvalt ($M < 2,5$).
- Voorkomens die niet meer produceren.

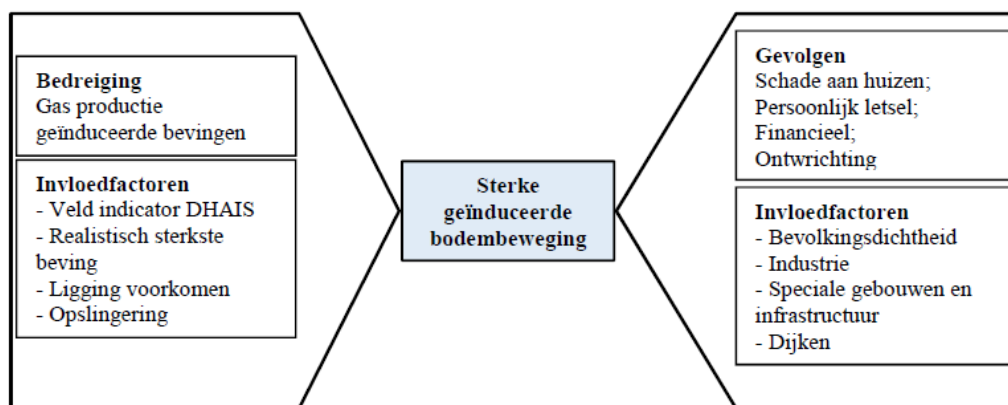
Voorkomens die niet aan deze criteria voldoen schuiven door naar stap 2.

Stap 2:

In deze stap worden alle voorkomens bekeken die

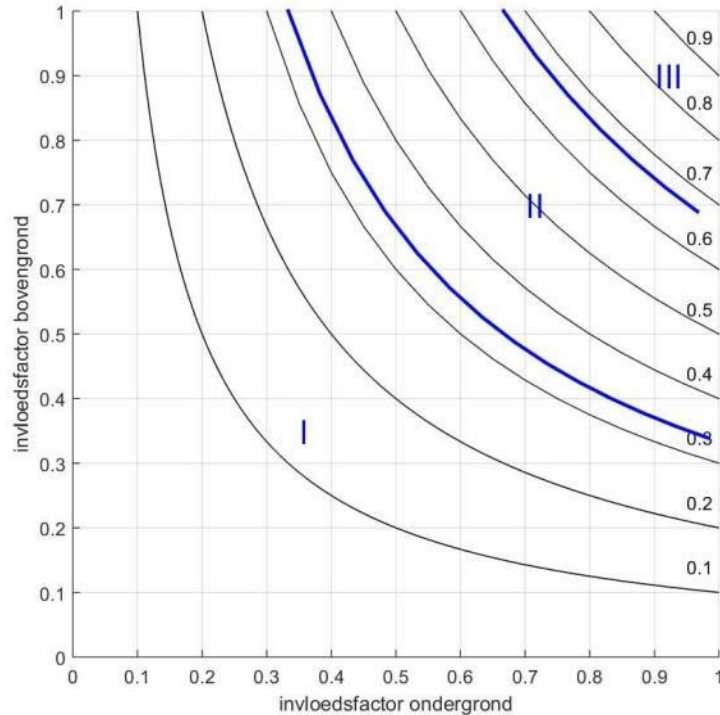
- seismisch actief zijn geweest en
- een hogere toekomstige kans op seismiciteit hebben (volgens de DHAIS methodiek) en waarvoor op basis van reservoircompactie of mogelijke breukverplaatsing de waarde voor M_{max} (“maximale bevingsmagnitude”) hoger uitvalt dan $M=2,5$

In stap 2 wordt op basis van een risico matrix benadering het risico van geïnduceerde aardbevingen verder gekwalificeerd. Figuur 5 geeft een schematische weergave van de verschillende factoren die bepalen of een geïnduceerde beving kan resulteren in een sterke grondbeweging (de “invloedfactoren ondergrond”) en de verschillende factoren die invloed hebben op de grootte van de mogelijke gevolgen (de “invloedfactoren bovengrond”).



Figuur 5 Schematische weergave van de bedreigingen en gevolgen van geïnduceerde bevingen en de verschillende invloedfactoren die daarbij een rol spelen (SodM, 2016).

In de risico matrix analyse worden de verschillende factoren zoveel mogelijk kwantitatief geanalyseerd en op basis van de uitkomst per factor gerankt. 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 ondergrond cq. bovengrond en in de risico matrix tegen elkaar uitgezet waarmee kwalitatief een risicocategorie wordt bepaald (zie Figuur 6).



Figuur 6 De risicomatrix. De zwarte lijnen zijn lijnen van gelijk genormaliseerd risico. De verdeling in categorieën is gedaan op basis van 1/3 en 2/3 van het genormaliseerde risico. (SodM, 2016).

De mogelijke seismische dreiging volgt uit een analyse en score van de volgende invloedfactoren voor de ondergrond:

- Veld indicator DHAIS. Dit is een methode die beschrijft hoe – per voorkomen - de kans op het mogelijk optreden van een beving kan worden berekend aan de hand van ondergrondse kenmerken.
- Realistisch sterkste beving (Mmax). Voor een realistische inschatting van de sterkste beving zijn twee verschillende benaderingen genomen:
 1. een bepaling van de compactie-energie die beschikbaar is in een producerend gasveld en kan leiden tot een beving en
 2. een maat voor de mogelijke bevingsmagnitude als de langste breuk in het producerende veld in zijn geheel in één keer in beweging zou komen.

Methode [1] resulteert doorgaans in lagere waarden voor Mmax dan methode [2]. Dit kan er op duiden dat de totale hoeveelheid beschikbare energie die tot een beving kan leiden waarschijnlijk niet voldoende is om de grootste breuken in een veld in één keer in beweging te brengen.

- Ligging van het voorkomen. In de SRA methodiek (SodM, 2016) wordt er een onderscheid gemaakt tussen velden ten noorden van de lijn Amsterdam-Arnhem en velden ten zuiden van deze lijn. Dit onderscheid is gemaakt op basis van observaties. Er is nog nooit een aardbeving waargenomen ten zuiden van de lijn Amsterdam-Arnhem.
- Opslingering; de ondiepe ondergrond kan een opslinging veroorzaken van de seismische golven en wordt daarom boven het veld gekarakteriseerd. Voor relatief slappe ondergrond (veen, klei) is dit effect groter dan voor relatief stevige ondergrond (zand)

Het mogelijke gevolg van een beving volgt uit een analyse en score van de invloedfactoren bovengrond: bevolkingsdichtheid, industrie, speciale gebouwen, vitale infrastructuur en de aanwezigheid van dijken.

- Voor de bepaling van de bevolkingsdichtheid wordt de CBS Statline data gebruikt; hierbij krijgt de categorie flats/appartementencomplexen extra aandacht in de uiteindelijke score.
- Industriële inrichtingen, speciale gebouwen en vitale infrastructuur en dijken worden in kaart gebracht m.b.v. de risicokaart. (<http://www.risicokaart.nl>)

De laatst genoemde drie factoren (speciale gebouwen, vitale infrastructuur en de aanwezigheid van dijken) zijn van invloed op een mogelijk gevolgrisico voor schade en veiligheid. Het is echter zeer onwaarschijnlijk dat de geïnduceerde bevingen kunnen leiden tot een dergelijk gevolgrisico omdat de bevingen te zwak zullen zijn om een bedreiging te vormen voor deze objecten. Deze gevolgen zijn tot nu toe dan ook nooit waargenomen.

Indien uit het voorgaande blijkt dat voorkomens in risico categorie III vallen gaan deze door naar Stap 3

Stap 3:

In deze stap worden alleen de voorkomens die in Categorie III vallen verder bestudeerd. Voor deze voorkomens dient een Kwantitatieve Risico Analyse uitgevoerd te worden. Van alle bekende voorkomens in Nederland valt alleen het Groningen gasveld in deze categorie.

Uitwerking SRA voor de voorkomens Schoonebeek ZE, Oosterhesselen ZE en Coevorden ZE

Stap 1: Inschatten risicopotentieel voor de verschillende voorkomens

De kans op beven van een olie- of gasvoorkomen

In de studie 'Deterministische Hazard Analyse voor Geïnduceerde Seismiciteit (DHAIS)⁹ is onderzocht welke eigenschappen (geologische, productietechnische en geomechanische eigenschappen) van de olie- en gasvoorkomens invloed hebben op het wel of niet optreden van aardbevingen. In 2012 is een update van deze studie uitgevoerd, waarin alle nieuwe data zijn meegenomen tot mei 2010¹⁰.

Aan de hand van de volgende parameters van een olie- of gasvoorkomen wordt de kans op beven van dat voorkomen bepaald:

- DP/P_{ini}: De ratio van drukval (DP) en initiële druk (P_{ini}) in het reservoir;
- E: de verhouding tussen de Young's moduli (stijfheidsmoduli) van de 'overburden' en het reservoirgesteente;

$$E = \frac{E_{burden}}{E_{Reservoir}}$$

Waarbij :

- B: een maat voor de breukdichtheid van het reservoir.

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

Waarbij: l_b = De totale breuklengte van de intra reservoir breuken en de randbreuken van het voorkomen in meters;
h = De maximale dikte van de gaskolom van het voorkomen in meters;
A = De oppervlakte van het voorkomen gemeten binnen de GWC dieptecontour (in vierkante meters);

De combinatie van de parameterwaarden geven een kans op beven voor een bepaald voorkomen gedurende de productietijd.

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

De waarden die zijn gebruikt in de bepaling van de DHAIS kans zijn gegeven in

⁹ TNO-rapport NITG 04-171-C. Van Eijs, 2004. Deterministische hazard analyse voor geïnduceerde seismiciteit

¹⁰ TNO-rapport 2012 R10198. Van Thienen, 2012. Deterministische hazard analyse voor geïnduceerde seismiciteit in Nederland.

Tabel 2.

Tabel 2 Invoergegevens voor de bepaling van de DHAIS en de DHAIS kansen

Voorkomen	Reservoir dikte / gaskolom* (m)	Initiële druk (bar)	Verwachte totale drukkaling (bar)	Totale breuklengte (km)	Reservoir oppervlakte (km ²)	Maximale waargenomen aardbeving	Aantal aardbevingen per jaar	DHAIS E	DHAIS B	DHAIS kans
CoevordenZE	45	333	249	139,7	71,7	1,6	< 5 per jaar	1,7	4,88	bevend veld
Schoonebeek ZE	100	358	270	30,9	21,3	1,4	< 5 per jaar	1,7	2,56	bevend veld
OosterhesselenZE	45	380	310	50,5	25,4	geen	geen	1,7	3	42%

* Voor de DHAIS berekening wordt zowel de hoogte van de gaskolom als de totale reservoir dikte beschouwd. Het minimum van deze twee wordt gekozen voor de berekening van de "B" waarde zoals voorgeschreven door de DHAIS methodiek.

Betekenis van de DHAIS kans en de invloedfactor "analoge velden" voor de injectievoorkomens

De DHAIS kans is uniek voor producerende voorkomens en koppelt in feite aardbevingsdata aan ondergrondse kenmerken van deze voorkomens. Er is slechts één aardbeving geobserveerd die mogelijk gekoppeld kan worden aan injectie. Het is daarom onmogelijk om een soortgelijke DHAIS correlatie te maken voor de velden waar op dit moment geïnjecteerd wordt. Hetzelfde geldt voor de ondergrondse invloedfactor "analoge velden". Deze is alleen gebaseerd op het feit dat in bepaalde gebieden in Nederland geen bevingen zijn geconstateerd. Dit statement valt wederom door het gebrek aan data niet te maken voor de injectievelden.

Realistisch sterkste beving

Naast de kans op beven, wordt ook de waarde voor de realistisch sterkste beving (Mmax) bepaald om tot een oordeel te komen of een niveau 2 analyse noodzakelijk is. Er worden twee methoden gebruikt om de Mmax waarde te bepalen: op basis van breukgeometrie en op basis van energiebalans. In de leidraad worden beide methoden gebruikt. Voor de berekeningen van de Mmax is uitgegaan van de standaardwaarden voor de "stress drop" en "partitie coëfficiënt" die gegeven zijn in de leidraad (respectievelijk 5 MPa en 0,01). De veld specifieke waarden die benodigd zijn voor de berekeningen en de uitkomsten voor de Mmax staan vermeld in Tabel 3. Deze specifieke waarden zijn geldig voor de voorkomens gedurende de productie en met name de Mmax uit de energiebalans zal kleiner worden indien de poriedruk in het gesteente weer hoger zal worden door de waterinjectie. De Mmax in de tabel is dus in meerdere opzichten een bovengrens.

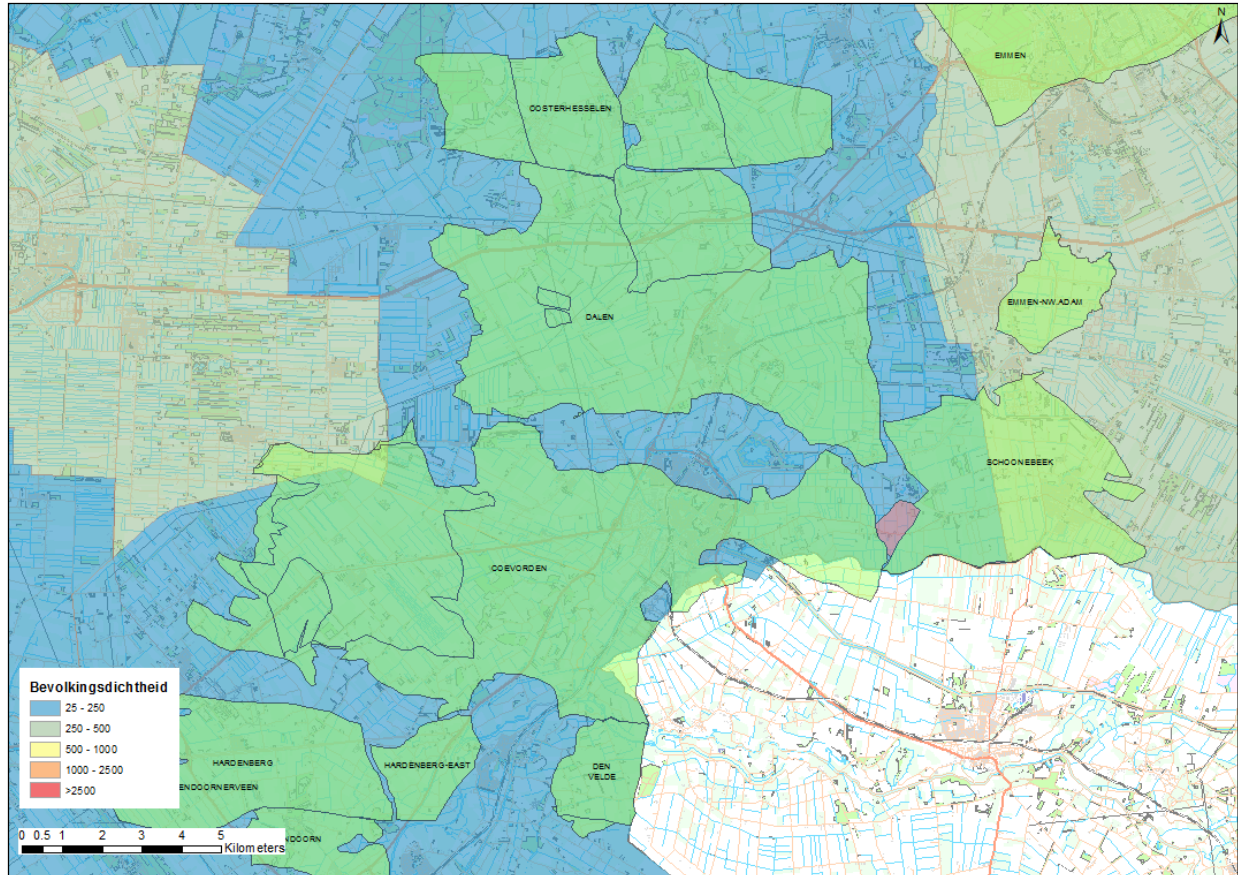
Tabel 3 Invoergegevens voor de bepaling van de Mmax, en de Mmax waarden volgens de twee methoden

Voorkomen	Langste breuklengte (km)	Poisson's ratio	Breukhoogte (m)	Mmax energiebalans	Mmax breukslip
CoevordenZE	7,1	0,2	45	3,7	3,2
Schoonebeek ZE	1,7	0,2	100	3,6	3,3
OosterhesselenZE	5	0,2	45	3,4	3,1

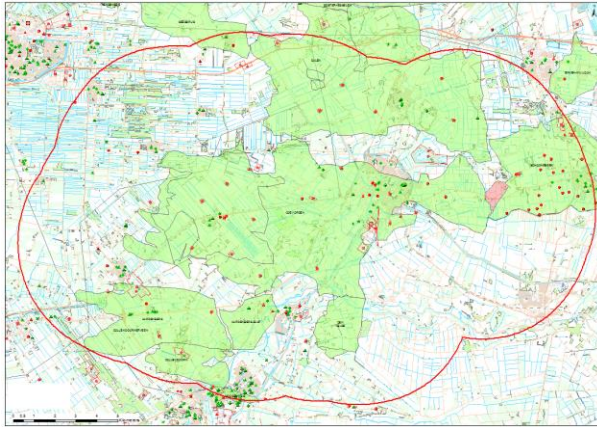
Stap 2: Risico matrix

Voor alle voorkomens is het nodig gebleken om de risico matrix te gebruiken ("Stap 2" van de SRA). Voor elke factor die bepaald is voor de onder- en bovengrond wordt een score gegeven waarbij de som van de scores een positie geeft in de risico matrix.

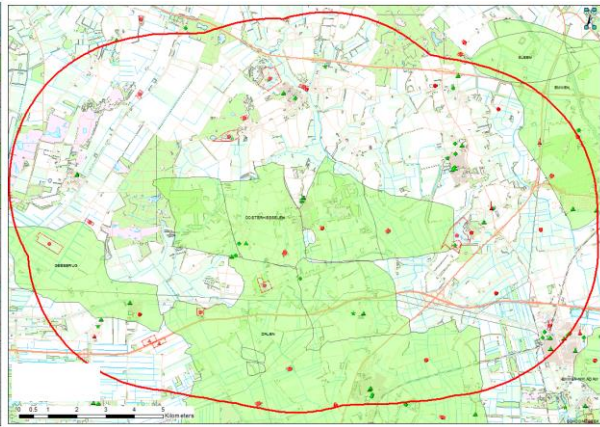
In dit deel van de bijlage worden de figuren en tabellen getoond die gebruikt zijn om tot een risicobeoordeling te komen. Figuur 7, Figuur 8 en Figuur 9 tonen de situaties voor respectievelijk "Bevolkingsdichtheid", "Industriële inrichtingen", "Speciale gebouwen en vitale infrastructuur" en "Dijken". Figuur 10 toont de kaart van de grondsoorten in de ondiepe ondergrond kaart om de mate van opslingering te bepalen. Tabel 4 (A en B) toont de evaluatie en scores voor de invloedfactoren. De risico matrix is afgebeeld in Figuur 11.



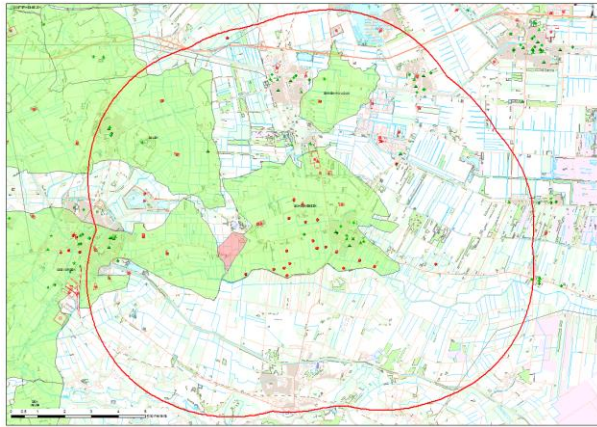
Figuur 7 Overzicht van de bevolkingsdichtheid boven de in dit rapport genoemde voorkomens.



Coevorden

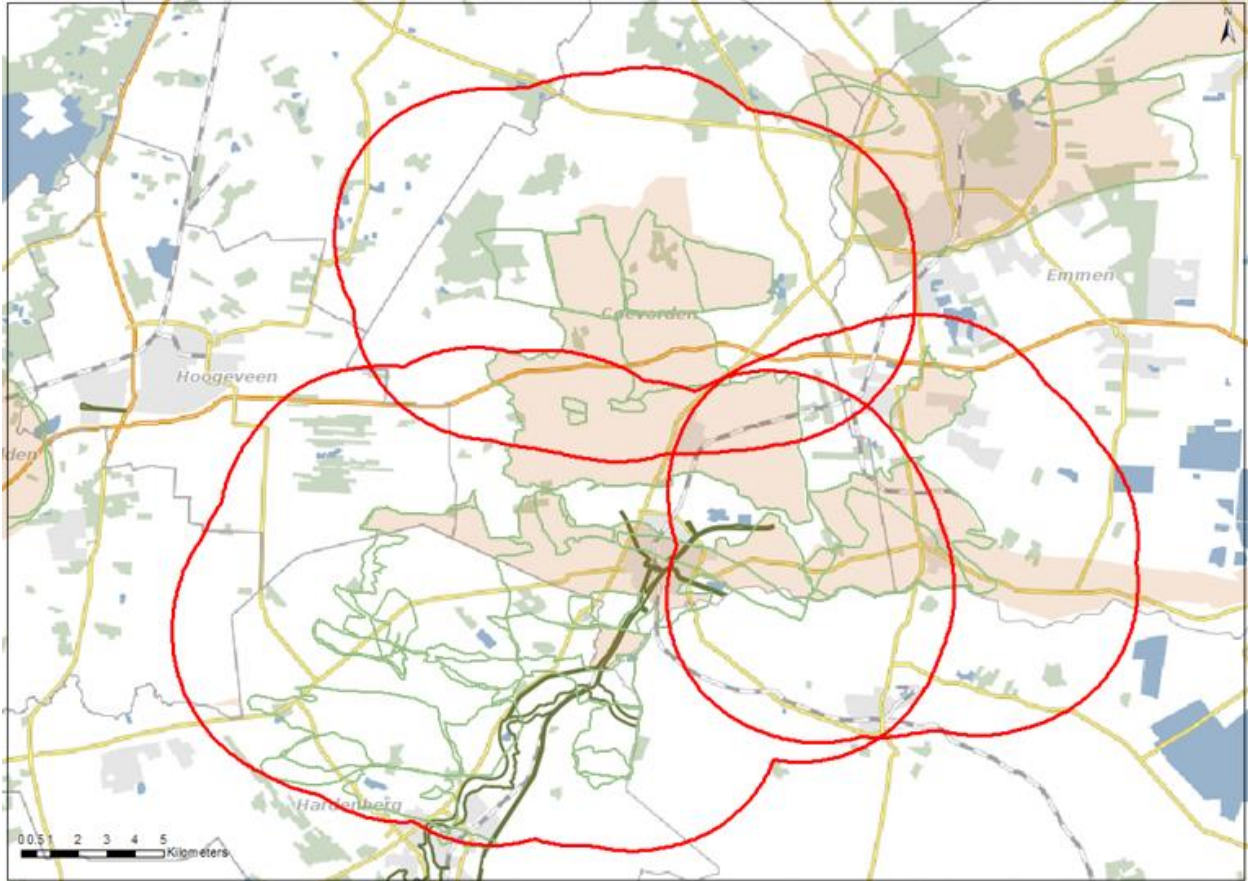


Oosterhesselen

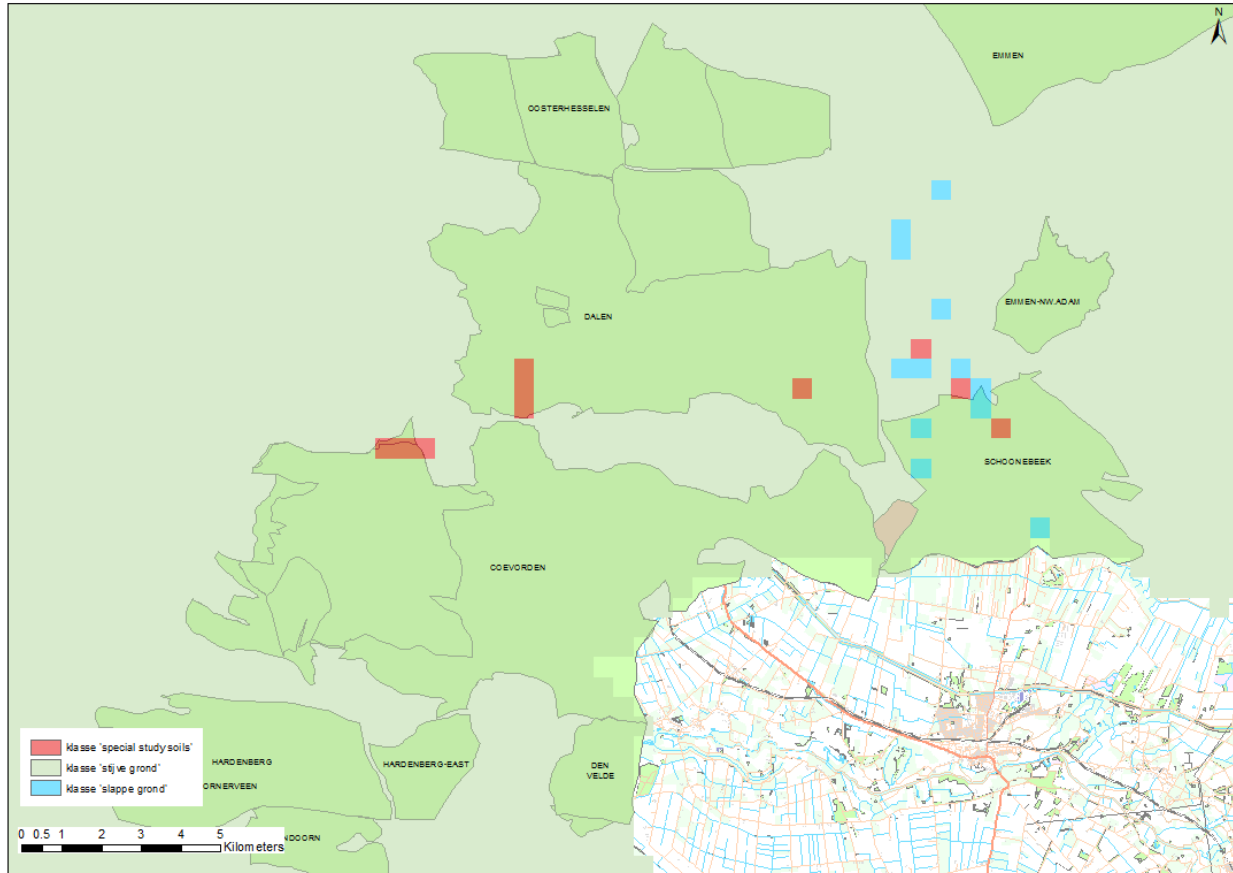


Schoonebeek Gas

Figuur 8 Overzicht van de industriële inrichtingen (rode punt), ziekenhuizen (groene plus) onderwijsinstellingen (groene driehoek), tehuizen (groene x) en publieksgebouwen (groene ruit) boven de in dit rapport genoemde voorkomens. De rode cirkels geven de 5 km straal rond voorkomens aan die relevant is voor de SRA.



Figuur 9 Overzicht van de dijken in donkergroen. De rode cirkels geven de 5 km straal rond voorkomens aan die relevant is voor de SRA.



Figuur 10 **Overzicht van de grondsoorten in de ondiepe ondergrond om de mate van opslinging te bepalen**

Uit de analyse op basis van bovenstaande figuren volgen de scores voor de verschillende factoren. Deze zijn per voorkomen inclusief onderbouwing en uitkomst, weergegeven in Tabel 4.

Tabel 4 Kwantitatieve evaluaties (A) en daaruit voortkomende scores (B) voor de invloedfactoren onder- en bovengrond

A

Voorkomen					Bevolkingsdichtheid (aantal inwoners per km ²)			
	Dhais	Mmax	Analoge velden	Opslingering	Industriële inrichting	Speciale gebouwen en vitale infrastructuur	Dijken	
Coevorden ZE	M ≥ 1,5 minder dan 5 bevingen per jaar	1 methode 3,6 - 4,0	Boven de lijn Amsterdam - Arnhem	< 10% slappe grond	250 - 500 en/of <250 met flats/app.	Meerdere direct boven 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
Schoonebeek ZE	Bevend veld met M kleiner dan 1,5	Alle methodes 3,1 - 3,5	Boven de lijn Amsterdam - Arnhem	< 10% slappe grond	250 - 500 en/of <250 met flats/app.	Meerdere direct boven 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	Secundaire dijken binnen 5 km rond het veld
Oosterhesselen ZE	P=42%	Alle methodes 3,1 - 3,5	Boven de lijn Amsterdam - Arnhem	< 10% slappe grond	< 250	Meerdere direct boven 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	Geen dijken binnen 5 km rond het veld

B

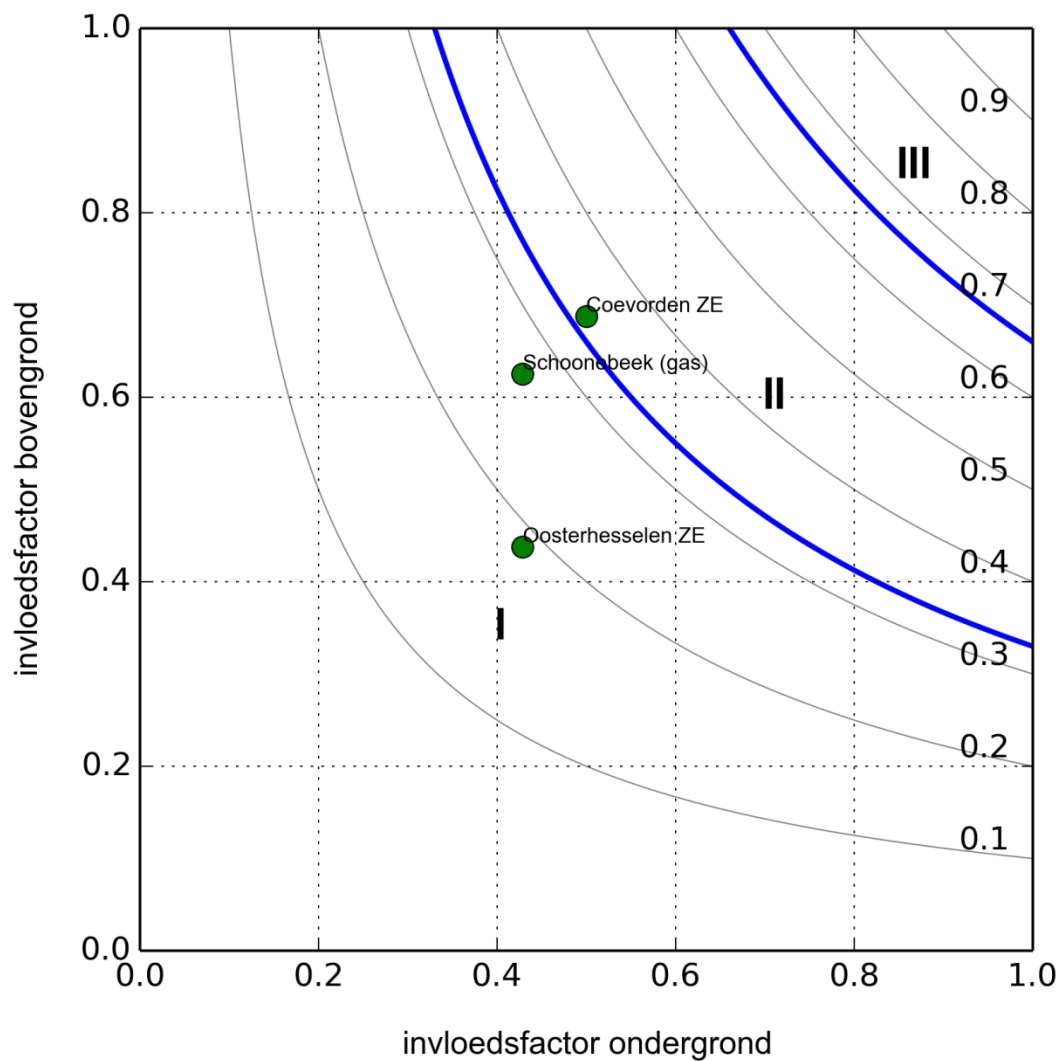
Voorkomen	score invloedfactoren ondergrond					score invloedfactoren bovengrond				Categorie	
	Kans op beven of waargenomen bevingen	Magnitude	Ligging voorkomen	Opslingering	Genormaliseerde totaalscore ondergrond	Bevolkings dichtheid	Industriële inrichtingen	Speciale gebouwen en vitale infrastructuur	Dijken		Genormaliseerde totaalscore bovengrond
Coevorden ZE	3	2	2	0	0,5	1	4	3	3	0,69	II
Schoonebeek (gas)	2	2	2	0	0,43	1	4	3	2	0,63	I
Oosterhesselen ZE	2	2	2	0	0,43	0	4	3	0	0,44	I

Positie van de voorkomens in de risicomatrix

Tabel 4 B toont de scores voor zowel de “invloedfactoren ondergrond” als de “invloedfactoren bovengrond” waarbij:

- De som van de scores voor “invloedfactoren ondergrond” (genormeerd voor de maximale score) geeft de positie op de x-as in Figuur 11.
- De som van de scores voor “invloedfactoren bovengrond” (genormeerd voor de maximale score) geeft de positie op de y-as weer in Figuur 11.

Uit de risico-inventarisatie blijkt dat alleen Coevorden ZE zich in risicocategorie II bevindt.



Figuur 11 Uitkomst van de Seismische Risico Analyse (SRA).

Betekenis van de SRA uitkomst voor het seismisch risico gedurende waterinjectie; conclusies en aanbevelingen.

De uitwerking van de SRA leidraad voor deze voorkomens toont aan dat Oosterhessele ZE en Schoonebeek als Categorie I velden geclassificeerd zijn terwijl het Coevorden voorkomen in Categorie II valt. In het rapport is aangegeven dat 6 van de 8 invloedfactoren (DHAIS kans en “analoge velden” zijn specifiek bepaald voor producerende voorkomens) in de leidraad gebruikt kunnen worden voor injectievoorkomens waarmee de methode weliswaar geen volledig beeld geeft van het risico maar wel bruikbaar is voor een inschatting van met name de bovengrondse gevoeligheid van de gebieden boven de voorkomens.

Daarmee blijft de conclusie staan dat Coevorden zich in een hogere categorie bevindt dan de overige voorkomens. Volgens de leidraad wordt gesteld dat voor Categorie II velden als minimum de volgende maatregelen moeten worden:

1. Duiding van de uitkomst van de risicomatrix analyse (Mbw¹¹ 34.g en Mbb¹². 24.1.q);
2. Monitoring met een minimale cataloguscompleteid in de omgeving van het veld van magnitude 1,5;
3. Monitoring in de omgeving van het veld aanvullen met accelerometers op de gefoonlocaties;
4. Implementeren generiek seismisch-risicobeheersplan.

Ad 1

Het verhoogde seismische risico boven het Coevorden voorkomen wordt voornamelijk veroorzaakt door de bovengrondse kenmerken. Er bevinden zich meerdere industriële inrichtingen en speciale gebouwen boven het voorkomen waardoor de invloedfactor bovengrond hoger uitvalt dan voor de andere twee voorkomens. De maximale magnitude die wordt ingeschat op basis van de ondergrondkennis is $M_I=3,7$. Aardbevingen tot deze grootte hebben niet het vermogen om dusdanige schade aan te richten aan industrie en speciale gebouwen om daarmee andere risico's te escaleren, zoals het doorbreken van dijken of buisleidingen. Deze nuance ontbreekt op dit moment in de tijdelijke leidraad maar betekent in feite dat het veiligheidsrisico verwaarloosbaar is. Bevingen tot deze magnitude kunnen wel schade veroorzaken. Bij schade aan bebouwing speelt zowel kwetsbaarheid van de bebouwing als de intensiteit van de beving een belangrijke rol. Al in 1998 is voor Noord-Nederland door het KNMI beschreven¹³ dat de maximaal te verwachten intensiteit bij het optreden van een dergelijke geïnduceerde aardbeving ongeveer VI-VII op de Europese Macroseismische Schaal is. Dat betekent (kwalitatief) dat in het ernstigste geval in de nabijheid van het voorkomen lichte, niet constructieve schade kan optreden aan meerdere gebouwen en matige schade (lees, scheuren in muren tot constructieve schade in het uiterste geval) aan enkele gebouwen. De omvang van het gebied waar mogelijk schade kan optreden wordt bepaald door de magnitude, de diepte en de duur van de beving en de lokale grondsamenstelling en aard en conditie van de bebouwing. Bij een beving die krachtig genoeg is om schade te veroorzaken, is het aantal potentiële schadegevallen binnen dit gebied sterk afhankelijk van de dichtheid van bebouwing, terwijl de mate van schade (geen, lichte, matige) op een bepaalde afstand van het epicentrum in grote mate wordt bepaald door het type bebouwing, de staat van onderhoud en de lokale bodemgesteldheid. Deze afhankelijkheid wordt verder beschreven in het TNO rapport¹⁴.

Bovenstaande generieke inschatting heeft echter betrekking op mogelijke bevingen die kunnen ontstaan als gevolg van gaswinning. De genoemde voorkomens in dit rapport hebben decennia lang gas geproduceerd waarbij enkele niet voelbare bevingen zijn geobserveerd door het KNMI netwerk. Hoewel het Coevorden voorkomen wordt gekenmerkt als een categorie II voorkomen, laat de data zien dat er geen enkele beving direct boven het voorkomen heeft plaatsgevonden. In zowel het Schoonebeek als

¹¹ Mijnbouwwet

¹² Mijnbouwbesluit

¹³ De relatie tussen schade aan gebouwen en lichte ondiepe aardbevingen in Nederland; TNO Bouw, 1998

¹⁴ Kalibratiestudie schade door aardbevingen” TNO-034-DTM-2009-04435 (2009)

Coevorden wordt al enige decennia water geïnjecteerd en bij dit proces is nog nooit een aardbeving waargenomen. Ook op basis van alle observaties bij andere water- en gasinjectie in Nederland (TNO, 2015) lijkt het risico op schade door aardbevingen zeer beperkt. Omdat het seismisch risico toch niet geheel kan worden uitgesloten en ook vanwege de schaal van de waterinjectie wordt aanbevolen om voor alle voorkomens de maatregelen 2,3 en 4 te implementeren.

Ad 2

Met het huidige netwerk van het KNMI wordt al voldaan aan deze eis.

Ad 3

In de regio rond Emmen is het bestaande gefoon netwerk al aangevuld met accelerometers in publieke gebouwen. NAM zal in overleg met KNMI bepalen of het realiseren van een accelerometer netwerk rond het beste gerealiseerd kan worden door middel van het uitrusten van de bestaande gefoonstations met accelerometers (conform Twente) of, zoals bij Emmen, door middel van het plaatsen van accelerometers in publieke gebouwen.

Ad 4

Aanbevolen wordt om voor alle voorkomens het protocol toe te passen zoals ook geldig voor de Twente voorkomens (NAM, 2015b).

Referenties

NAM (2015a) threat assessment for induced seismicity in the Twente water disposal fields. Nam report EP201502207168

http://www.nam.nl/techniek-en-innovatie/waterinjectie-in-twente/downloads-waterinjectie-twente/jcr_content/par/expandablelist/expandablesection_527486608.stream/1474506676975/4cba69781f54e8f13e6b0a7e6b2a82646aec99d335f0c148cf3cda55d3b25333/threat-assessment-for-injection-related-seismicity-in-the-twente-area-feb-2015.pdf

NAM (2015b) Protocol seismische activiteit door waterinjectie. Kenmerk EP201502216336.

http://www.nam.nl/techniek-en-innovatie/waterinjectie-in-twente/downloads-waterinjectie-twente/jcr_content/par/expandablelist/expandablesection_527486608.stream/1474506665869/03d9cd5e40bde3b584f9b962975578c08bfe36e07a57672de7bb5a3822968eca/protocol-seismische-activiteit-waterinjectie-feb-2015.pdf

SodM (2016) methodiek voor risicoanalyse omtrent geïnduceerde bevingen door gaswinning. Tijdelijke leidraad voor adressering mbb. 24.1.p, versie 1.2

<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2016/02/01/methodiek-voor-risicoanalyse-omtrent-geïnduceerde-bevingen-door-gaswinning>

TNO (2015) Description and analysis of field cases of injection in The Netherlands (TNO-rapport 2015 R10906, 5 november 2015).

<http://nlog.nl/cmris/browser?id=workspace%3A//SpacesStore/633bf3cb-c2c7-409f-b9d3-2de29f573315>