



Retouradres: Postbus 80015, 3508 TA Utrecht

Staatstoezicht op de Mijnen
T.a.v. de heer H. van der Meyden
Postbus 24037
2490 AA DEN HAAG



Onderwerp
Hazardkaarten

Geachte heer van der Meyden,

Recent hebben KNMI (oktober 2015) en de NAM (november 2015) hazardkaarten gepubliceerd voor Groningen. Naar aanleiding daarvan heeft uw organisatie TNO en KNMI gevraagd (e-mail d.d. 12 nov 2015) een gezamenlijke notitie te schrijven om inzicht te bieden in de uitgangspunten, die aan de hazardkaarten ten grondslag liggen.

SodM heeft specifiek de volgende punten aangegeven:

- Algemene uitleg van betekenis van de hazardkaarten,
- Hoe zijn de huidige hazardkaarten tot stand gekomen,
- Voor welke toepassing zijn de kaarten gemaakt en waar kunnen ze voor worden gebruikt.

In bijgaande notitie worden deze punten behandeld.

Hoogachtend,

Dr. I.C. Kroon
Hoofd Adviesgroep Economische
Zaken, TNO

Dr. L. Evers
Vakgroepmanager R&D Seismology
and Acoustics, KNMI

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

T +31 88 866 42 56

Datum

23 november 2015

TNO referentie

AGE 15-10.067

KNMI referentie

KNMI-2015/3209

Contactpersoon

Dr. I.C. Kroon

E-mail

Ingrid.Kroon@tno.nl

Doorkiesnummer

+31 88 866 42 65

Op opdrachten aan TNO zijn de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, zoals gedeponeerd bij de Griffie van de Rechtbank Den Haag en de Kamer van Koophandel Den Haag van toepassing. Deze algemene voorwaarden kunt u tevens vinden op www.tno.nl. Op verzoek zenden wij u deze toe.

Handelsregisternummer 27376655.



Datum

23 november 2015

TNO referentie

AGE 15-10.067

KNMI referentie

KNMI-2015/3209

Blad

2/11

Notitie hazardkaarten Groningen

Inleiding

Recent zijn de resultaten van nieuwe hazardstudies voor Groningen beschikbaar gekomen uitgevoerd door enerzijds de NAM (november 2015) en anderzijds het KNMI (oktober 2015). Belangrijke resultaten van deze studies zijn de hazardkaarten. Ten behoeve van informatie aan betrokken bestuurders, commissies en de Tweede Kamer, heeft SodM aan TNO en KNMI gevraagd (e-mail d.d. 12 nov 2015) een gezamenlijke notitie te schrijven, waarin de volgende punten worden behandeld:

- Algemene uitleg van betekenis van de hazardkaarten,
- Hoe zijn de huidige hazardkaarten tot stand gekomen,
- Voor welke toepassing zijn de kaarten gemaakt en waar kunnen ze voor worden gebruikt.

In het onderstaande worden deze punten nader behandeld.

Opgemerkt wordt dat beide kaarten een momentopname zijn in een voortgaand proces van data-acquisitie en verbetering van de onderliggende modellen. Deze notitie is op die onderdelen slechts geldig tot aan de eerstvolgende actualisatie van één van beide hazardstudies.

Algemene uitleg

Seismische hazard ('seismische dreiging')

Spanningen in de diepe ondergrond kunnen zich ontladen in de vorm van bevingen (Figuur 1). Ten gevolge van een beving beweegt de ondergrond. Deze bewegingen worden doorgegeven naar het oppervlak, waardoor krachten worden uitgeoefend op bouwwerken.

De lokale grondversnelling (peak ground acceleration of PGA) is afhankelijk van (1) sterkte van een beving, (2) afstand tot de beving en (3) lokale bodemgesteldheid (opslingering en demping¹). Er is een relatie tussen de sterkte van een beving en de maximale grondbeweging aan het maaiveld (ground motion prediction equation of GMPE). De maximale waarde van de grondversnelling is medebepalend voor aard en omvang van schade en de kans op instorten van bouwwerken. De seismische hazard wordt daarom gegeven door de kans op overschrijding van een bepaalde PGA waarde per locatie.

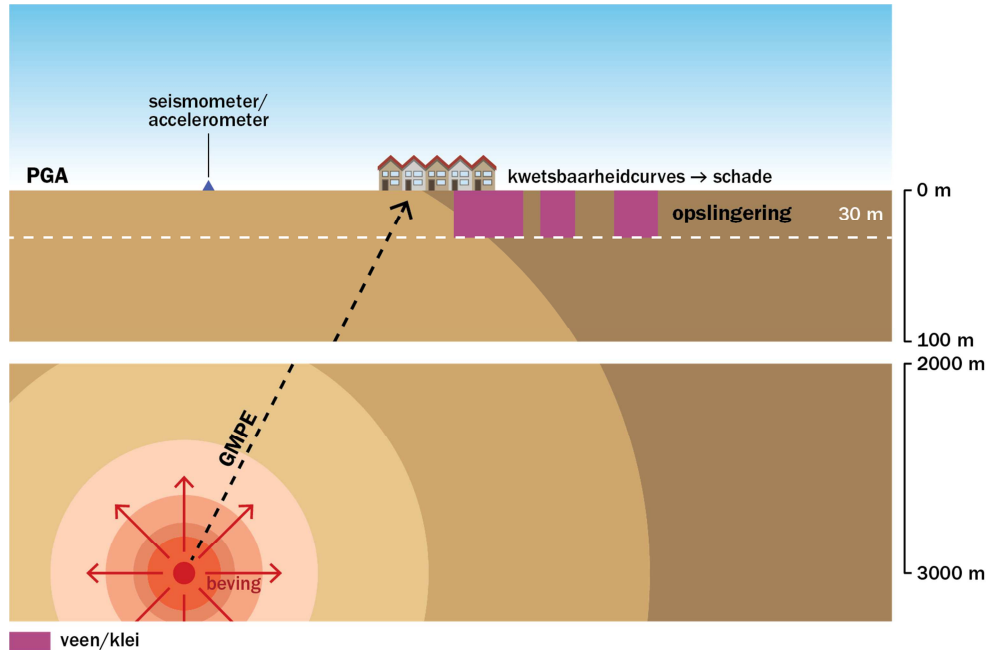
¹ Dit is het gevolg van de geologische opbouw (klei/veen/zand) in de ondiepe ondergrond. Het effect is locatiespecifiek.

Datum
23 november 2015

TNO referentie
AGE 15-10.067

KNMI referentie
KNMI-2015/3209

Blad
3/11



Figuur 1. Van beving tot aan schade

Seismische hazardanalyse

Een seismische hazardanalyse (probabilistische seismische hazardanalyse of PSHA) is internationaal de meest gebruikte methode om de seismische hazard te bepalen.

Voor een PSHA zijn de volgende gegevens nodig:

- verdeling van het aantal bevingen,
- verdeling van die bevingen naar sterkte (Appendix A),
- relatie tussen grondversnelling en sterkte van de beving (GMPE).

Het resultaat van een PSHA is een kansverdeling van de PGA voor elke locatie binnen het aardbevingsgebied. De kans dat een op de kaart aangegeven PGA-waarde wordt overschreden is overal op de kaart gelijk. De keuze van een overschrijdingskans van 10% in 50 jaar (0,2% per jaar, ofwel gemiddeld éénmaal in de 475 jaar) is een internationaal gangbare maat in bouwnormen. Er bestaan ook PGA-kaarten met kleinere overschrijdingskansen nodig voor het berekenen van de veiligheid van de bewoners.

Naast deze kansverdeling worden in de PSHA ook verdelingsfuncties van spectrale versnellingen berekend. Deze zijn van belang vanwege hun effect op de typische eigenfrequenties² van bouwwerken.

² Een eigenfrequentie van een systeem is een van de frequenties waarmee een systeem zal gaan trillen als het vanuit een evenwichtspositie wordt bewogen en vervolgens wordt losgelaten (bron: wikipedia).



Datum

23 november 2015

TNO referentie

AGE 15-10.067

KNMI referentie

KNMI-2015/3209

Blad

4/11

Gebruik van hazardkaarten

Hazardkaarten hebben de volgende, mogelijke toepassingsgebieden:

- Risicoanalyse winningsplan,
- Beoordeling en versterking bestaande bouwwerken,
- Ontwerp nieuwbouw,
- Prioritering in versterkingsopgave,
- Communicatie en visualisatie.

In het algemeen geldt dat voor de drie eerstgenoemde toepassingsgebieden de absolute waarde van de hazard belangrijk is. In dat geval moeten alle onzekerheden (natuurlijke variaties en kennisonzekerheden) meegenomen worden in de hazardanalyse. Voor de twee laatstgenoemde toepassingsgebieden kan een relatieve waarde van de hazard voldoende zijn.

Hieronder wordt per toepassingsgebied nader toegelicht hoe de hazardkaarten of varianten daarop te gebruiken zijn.

Risicoanalyse winningsplan

In het winningsplan moet de mijnbouwonderneming een risicoanalyse aanleveren (Mijnbouwbesluit artikel 24.1p, 2003). De seismische hazard is hiervoor een noodzakelijk ingrediënt. De hazard sluit beter aan op de realiteit, naarmate de relatie tussen productie en seismiciteit schuift van waarneming, via statistische en empirische relaties, richting fysische processen.

Rol van PGA kaart. De seismische hazard is onderdeel van de risicoanalyse van het winningsplan.

Beoordeling en versterking bestaande bouwwerken

Bestaande bouwwerken worden getoetst aan een bepaalde afkeurlimiet. Bij versterkingsmaatregelen voor woningen, dijkverbeteringen, infrastructuur en industrie dient de veiligheid voor langere tijd gewaarborgd te zijn. Voor het niveau van versterking kan eventueel een trend voor de toekomst worden meegenomen om te voorkomen dat versterkingsmaatregelen in een latere fase alsnog uitgebreid moeten worden³.

Bij een niet-stationaire hazard verandert deze in de tijd. Daardoor kunnen sommige bouwwerken na verloop van tijd onder de afkeurlimiet geraken. In het geval dat grote onzekerheden in de hazard na verloop van tijd worden verkleind, is het mogelijk dat sommige bouwwerken niet onder de afkeurlimiet komen. De hazardanalyse moet daarom regelmatig worden bijgesteld en heeft een beperkte geldigheid naar de toekomst.

Rol van PGA kaart. De seismische hazard is onderdeel van de beoordeling van de constructieve veiligheid van bestaande bouwwerken. Bij het toetsen van bestaande bouwwerken aan een individueel risico is het niet voldoende te rekenen

³ eventueel met een maximaal voorziene jaarlijkse belasting voor een specifieke tijdsperiode



Datum

23 november 2015

TNO referentie

AGE 15-10.067

KNMI referentie

KNMI-2015/3209

Blad

5/11

met een hazard met een overschrijdingskans van 10% in 50 jaar. Voor de bepaling van het risico moet de hele verdelingsfunctie van de hazard meegenomen worden.

Ontwerp nieuwbouw

Normen voor aardbevingsbestendigbouwen zijn onder andere gebaseerd op een veiligheidsnorm en een belasting (probabilistische beschrijving van de hazard).

In het geval van niet-stationaire belasting moeten ook mogelijke toe- of afnames van de belasting meegenomen worden. Voor bouwnormen kan bijvoorbeeld een trend voor de toekomst worden meegenomen².

Rol van PGA kaart. De seismische hazard is onderdeel van het aardbevingsbestendigbouwen. Voor de bepaling van het risico moet de hele verdelingsfunctie van de hazard meegenomen worden.

Prioritering in versterkingsopgave

Uitgangspunt voor prioritering is normaalgesproken de relatieve hazard. Hierbij wordt gekeken naar individuele bouwwerken.

Rol van PGA kaart. De seismische hazard kan gebruikt worden voor een relatieve prioritering in de versterkingsopgave.

Communicatie en visualisatie

Op dit moment wordt gewoonlijk de hazardkaart met een overschrijdingskans van 10% in 50 jaar gepresenteerd. Dit is slechts één uitkomst van de hazardanalyse. In hoeverre deze specifieke hazardkaart aansluit bij het beoogde communicatiedoel hangt af van het relevante toepassingsgebied.

Rol van PGA kaart. De seismische hazard is een onderdeel van de communicatie naar belanghebbenden.



Datum
23 november 2015

TNO referentie
AGE 15-10.067

KNMI referentie
KNMI-2015/3209

Blad
6/11

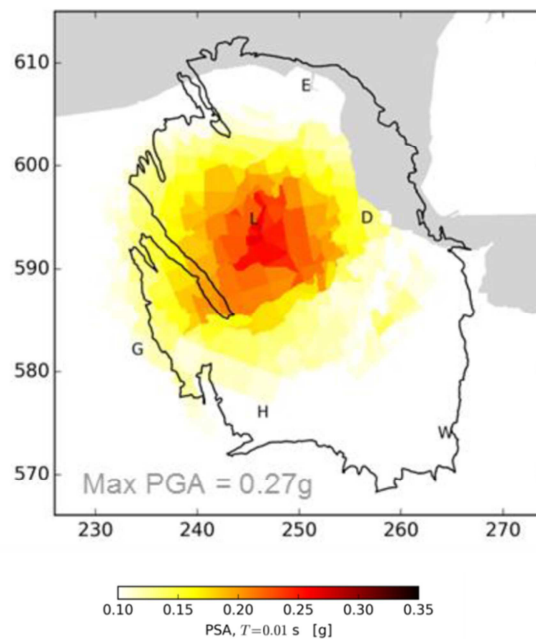
Huidige hazardkaarten

In deze paragraaf wordt ingegaan op de hazardanalyse van het KNMI, respectievelijk de NAM (Figuur 2 en Figuur 3 en Tabel 1). De volgende onderdelen van de PSHA worden nader toegelicht:

- verdeling van het aantal bevingen,
- verdeling van die bevingen naar sterkte (Appendix A),
- relatie tussen grondversnelling en sterkte van de beving (GMPE).



Figuur 2. PGA kaart van KNMI; 10% overschrijdskans in 50 jaar (figure 3 in KNMI 2015).



Figuur 3. PGA kaart NAM: 10% overschrijdskans in 50 jaar (figure 4.10, NAM 2015)



Datum

23 november 2015

TNO referentie

AGE 15-10.067

KNMI referentie

KNMI-2015/3209

Blad

7/11

Uitgangspunten

Het KNMI past een PSHA methode toe. Deze is de internationale standaard voor het bepalen van de seismische hazard, ten gevolge van natuurlijke bevingen. Bij natuurlijke seismiciteit is het aantal bevingen en de verdeling over magnitudes constant⁴. Door gaswinning geïnduceerde bevingen hebben echter een ander karakter⁵: bij voortgaande productie nemen de bevingen toe in frequentie. Het KNMI heeft dit aspect in haar model benaderd door aan te nemen, dat de frequentie van de bevingen over een beperkt aantal jaren (5) constant mag worden beschouwd.

De NAM gebruikt voor de bepaling van het aantal bevingen per jaar een empirisch model⁶. Dit model maakt het mogelijk het effect van verschillende productiescenario's op de frequentie van bevingen door te rekenen. Dit komt omdat het model een relatie legt tussen enerzijds de compactie (samendrukking) en de geometrie van breuken in het gasreservoir en anderzijds de seismiciteit, die is opgetreden.

Tabel 1 geeft een overzicht van de belangrijkste verschillen van de hazardmodellen.

Tabel 1. Overzicht verschil in hazardkaarten NAM en KNMI

	KNMI	NAM
modelkeuze	standaard PSHA	variant PSHA o.b.v. compactie
# bevingen/ jaar:		
- in de tijd	constant o.b.v. gemiddelde afgelopen 5 jaar	variabel bepaald met empirisch model
- in de ruimte	per zone	Rooster
b waarde	per zone	stochastische verdeling
Mmax*	5	verdeling 5,0 tot 6,5
GMPE	versie v1	versie v2
site respons	gemiddelde ondergrond	locatiespecifiek

⁴ Over langere perioden genomen, dit wordt stationair genoemd in vakliteratuur.

⁵ Niet-stationair

⁶ Activity rate model (NAM 2015b)



Datum

23 november 2015

TNO referentie

AGE 15-10.067

KNMI referentie

KNMI-2015/3209

Blad

8/11

Verdeling van het aantal bevingen in ruimte en tijd

Het KNMI heeft gekozen om het gemiddelde over de afgelopen vijf jaar te nemen voor het aantal bevingen en de bevingsdichtheid. Het betreft ca. 23 bevingen per jaar met een magnitude groter dan 1,5. De gebruikte ruimtelijke verdeling is gebaseerd op een viertal zones, waarbinnen een homogene verdeling van het aantal bevingen per oppervlakte-eenheid wordt aangenomen.

De NAM gebruikt het eerder genoemde model om het aantal en de locatie van bevingen te bepalen. Het betreft ca. 30 bevingen per jaar in 2020. In NAM (2015) worden de hazardkaarten gemiddeld over 3- en 5-jaarsperioden gepresenteerd. Voor het NAM model volgt het aantal bevingen de samendrukking⁷ in het gasreservoir.

Verdeling van magnitudes

KNMI

- Het KNMI model maakt gebruik van zones, waarbinnen eenzelfde Gutenberg-Richter karakteristiek wordt verondersteld (b waarde en M_{max}) (Appendix A).
- Op basis van een literatuurstudie (KNMI, 2015) naar geïnduceerde bevingen bij gasvelden elders in de wereld houdt het KNMI voor het Groningen veld een maximale magnitude aan van $M_{max}=5,0$.

NAM

- Het NAM model werkt met een fijnmazig rooster over het Groningen veld.
- Voor elke roostercel wordt een verdelingsfunctie van de b-waarde gebruikt.
- NAM varieert M_{max} tussen de waarden 5,0 en 6,5, met het oog op de onzekerheid in de maximale magnitude voor de bevingen in het Groningenveld.

Relatie tussen grondversnelling en sterkte van de beving

Er zijn verschillende versies van de relatie tussen grondversnelling en sterkte van de beving (GMPE) uitgebracht (Appendix B). Het KNMI gebruikt versie v1 met de effecten van opslinging voor een gemiddelde ondergrond in Groningen. Dat geeft een hazardkaart (Figuur 2) met geleidelijke variatie in PGA.

De NAM gebruikt versie v2 (november 2015). In versie v2 wordt rekening gehouden met lokale effecten van opslinging en demping⁸. Dat geeft een hazardkaart (Figuur 3) met lokale variatie in PGA.

⁷ Of compactie, waarbij de onzekerheden worden meegenomen.

⁸ Niet-lineaire demping van de grondversnelling.



Datum

23 november 2015

TNO referentie

AGE 15-10.067

KNMI referentie

KNMI-2015/3209

Blad

9/11

Referenties

- KNMI 2015 Probabilistic Seismic Hazard Analysis for Induced Earthquakes in Groningen; Update 2015. B. Dost and J. Spetzler, KNMI, October 2015. (<https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/publicatie/probabilistic-seismic-hazard-analysis-for-induced-earthquakes-in-groningen-update-2015>)
- NAM 2015 Hazard and Risk Assessment for induced seismicity in Groningen, interim update 7th November 2015. (<http://feitenencijfers.namplatform.nl/downloadfile/28fc94db-83b1-45be-b1cd-b3f014c21bd2>)
- NAM 2015b An activity rate model of induced seismicity within the Groningen field, S. Bourne and S. Oates, NAM, July 2015. (<http://feitenencijfers.namplatform.nl/downloadfile/c906565b-6b54-4768-874b-b23b46b1ee5e>)



Appendix A: Gutenberg-Richter

Verdeling van magnitudes

De sterkte van een beving wordt uitgedrukt in een magnitude. Er zijn verschillende magnitudeschalen. In PSHA is de schaal van Richter van toepassing.

De Gutenberg-Richter relatie geeft een maat voor de verhouding tussen het aantal kleinere en het aantal grotere bevingen (b-waarde). Een kleine b-waarde betekent relatief meer grote bevingen en vice versa. De ondergrens in de Gutenberg-Richter relatie (M_{\min}) wordt gelegd bij die magnitude, waarvan aangenomen wordt dat alle bevingen van deze magnitude en groter door het netwerk worden geregistreerd. Fysisch gezien moet er voor de sterkte van bevingen een bovengrens (M_{\max}) bestaan.

Datum

23 november 2015

TNO referentie

AGE 15-10.067

KNMI referentie

KNMI-2015/3209

Blad

10/11



Datum

23 november 2015

TNO referentie

AGE 15-10.067

KNMI referentie

KNMI-2015/3209

Blad

11/11

Appendix B: Ontwikkeling GMPE

Er is een GMPE afgeleid voor Groningen en deze relatie heeft een sterke ontwikkeling doorgemaakt. Een eerste versie van deze relatie, v0, is gebruikt in de in 2014 gemaakte PSHA resultaten, waarna in 2015 de v1 versie beschikbaar kwam. De v1 versie is gebaseerd op uitsluitend Groningen data en door vertaald naar grotere magnitudes met behulp van theoretische seismologische modellen, terwijl voor de v0 versie een relatie is gebruikt, gebaseerd op data van andere regio's. In de v0 versie is het model, ontwikkeld voor bevingen met een magnitude groter dan 4, aangepast aan lagere magnitude Groningen data. Het verschil in aanpak tussen v0 en v1 heeft tot resultaat dat de onzekerheden in v1 sterk verkleind zijn ten opzichte van v0.

Intussen is een nieuwe versie van de GMPE geïntroduceerd, v2, waarin rekening is gehouden met verschillen in de ondiepe geologie in de regio. Ook is in v2 rekening gehouden met een niet-lineaire response van de ondergrond.

De v0 versie van de GMPE geeft alleen relaties tussen de maximale versnelling (Peak Ground Acceleration) en magnitude en de maximale snelheid (PGV) en magnitude. Vanaf v1 worden ook relaties gegeven voor spectrale versnellingen (Spectral Acceleration) voor specifieke frequenties. De PGA is gelijk aan de SA voor hoge frequenties (100 Hz). De PGA kaart geeft een indicatie voor de hazard, terwijl de andere parameters, zoals de SA voor andere frequenties ook van belang zijn voor de NPR bouwrichtlijn.

Huidige PGA kaarten

Het KNMI model (oktober 2015) maakt gebruik van de v1 versie van de GMPE. Het NAM model (november 2015) maakt gebruik van de v2 versie. De overgang van de v1 versie naar de v2 versie is relatief eenvoudig en hoeft daarom niet als nadeel van het KNMI model worden gezien.