Risico Analyse Aardgasbevingen Groningen

Staatstoezicht op de Mijnen
Ministerie van Economische Zaken

SAMENVATTING

Deze notitie bevat de kwantificering van het aardbevingsrisico op basis van de resultaten van de onderzoeken 1, 5 en 6, welke in opdracht van de Minister van Economische Zaken zijn uitgevoerd. Hiermee wordt voor de periode 2013-2016 een indicatie van het aardbevingsrisico bij ongewijzigde productie ("market demand" scenario) verkregen voor een "karakteristieke beving" op de locatie Huizinge. Het risico is onvolledig omdat 1) er alleen rekening is gehouden met schade aan gebouwen en letsel ten gevolge van schade aan gebouwen, 2) er in onderzoek 1 geen scenario's zijn doorgerekend voor grondversnellingen groter dan 0,49g terwijl deze wel kunnen optreden, 3) de cumulatieve invloed van alle bevingen in een jaar op verschillende locaties niet is meegenomen in de berekening, 4) er een mogelijkheid is dat een aardbeving met een lagere overschrijdingskans plaatsvindt nabij een dichtbevolkt gebied waarbij meer slachtoffers vallen, 5) de overschrijdingskansen voor grondversnellingen boven de 1g niet bepaald zijn en het risico ten gevolge van een beving met deze grondversnelling niet meegenomen kan worden in de analyse.

Het aardbevingsrisico voor de "karakteristieke beving" op de locatie Huizinge is in de context van het nationale veiligheidsbeleid en internationale veiligheidsbeleid ten aanzien van natuurlijke aardbevingen geplaatst. Bestaand nationaal extern veiligheidsbeleid voor industrie en buisleidingen gaat uit van een wettelijk vastgelegd (BEVI en BEVB) acceptatie criterium voor Plaatsgebonden Risico (PR), alsmede een door de overheid te verantwoorden richtwaarde voor Groepsrisico (GR). Landelijk worden ook andere externe veiligheidsrisico's tegen het PR en GR of vergelijkbare begrippen getoetst, zoals luchthavenveiligheid en overstromingsrisico's. Internationaal bestaat er een breed geaccepteerde richtwaarde voor acceptatie van bescherming tegen aardbevingen.

Het risico op grotere aantallen slachtoffers, het GR, in het gebied beïnvloed door de Huizinge beving is vergelijkbaar met het landelijk groepsrisico bij overstromingen. In vergelijking met de groepsrisico's in de andere externe veiligheidssectoren en Schiphol is het seismisch risico hoog.

Voor aardbevingsrisico geldt dat het risico van overlijden direct gerelateerd is aan het instorten van gebouwen. Om het risico van overlijden van een individu te kunnen kwantificeren wordt voor aardbevingsrisico in plaats van het PR het Lokaal Persoonlijk Risico (LPR) gedefinieerd als: "*de kans op overlijden voor een fictief persoon die zich permanent in of nabij een gebouw van een bepaalde kwetsbaarheidsklasse bevindt*".

Voor 90% van de huizen binnen een straal van 15 km van de Huizinge beving geldt dat het LPR ten gevolge van door gaswinning geïnduceerde aardbevingen tussen de 10^{-5} en 10^{-4} per jaar ligt. Het hoogste LPR in dit gebied, van $6{,}9 \times 10^{-5}$ per jaar, geldt voor een persoon in een huis uit de klasse "niet versterkte bakstenen huizen van vóór 1920". De risico's die bewoners in deze huizen ten gevolge van door gaswinning geïnduceerde aardbevingen lopen zijn hoger dan de bouwcodenormen welke internationaal voor natuurlijke aardbevingen en nationaal voor andere (vergelijkbare) risico's ten gevolge van belastingen op huizen worden aangehouden.

Geconcludeerd wordt dat het seismisch risico voor door gaswinning geïnduceerde aardbevingen met een epicentrum in het gebied tussen Huizinge, Zandeweer en Hoeksmeer in vergelijking met andere risico's in de samenleving hoog is.

1 INTRODUCTIE

In januari 2013 is het Staatstoezicht op de Mijnen gekomen met een analyse van de aardgasbevingen (seismiciteit) in het Groningen gasveld [1]. Hierin werd geconcludeerd dat er voor het Groningen gasveld geen maximale magnitude uit de seismische data kan worden afgeleid. De tot dan toe gehanteerde "maximale magnitude" van 3,9 (in werkelijkheid de magnitude met een overschrijdingskans van 15% voor de gehele levensduur van het veld) moest dan ook worden verlaten, zonder dat een nieuw maximum kon worden bepaald. Het afgelopen jaar zijn er in opdracht van de Minister van Economische Zaken [2] 11 onderzoeken uitgevoerd om onder andere het aardbevingsrisico (seismisch risico), mogelijke mitigerende maatregelen en de gevolgen van deze maatregelen beter in kaart te krijgen. Onderdelen van de seismisch risico analyse zijn in verschillende studies uitgewerkt (onderzoeken 1, 5 en 6). De integratie van deze onderdelen zou in het winningsplan moeten worden gemaakt.

In deze notitie wordt op basis van de resultaten uit de onderzoeken 1, 5 en 6 het aardbevingsrisico boven het Groningen gasveld gekwantificeerd. Het gaat om een indicatie van het risico. Het is op basis van de rapporten niet mogelijk een volledige risico analyse uit te voeren. Tevens is alleen rekening gehouden met schade aan gebouwen en mogelijk letsel ten gevolge van schade aan gebouwen. Risico's ten gevolge van onder andere verzwakking van waterkeringen, schade aan infrastructuur, etc. zijn niet meegenomen in de achterliggende onderzoeken en derhalve ook niet in deze analyse. Tenslotte wordt het aardbevingsrisico in de context van het nationale veiligheidsbeleid en internationale veiligheidsbeleid ten aanzien van natuurlijke aardbevingen geplaatst.

2 AARDBEVINGSRISICO GRONINGEN

Het aardbevingsrisico (seismisch risico) voor gebouwen in een gebied wordt bepaald door de interactie tussen:

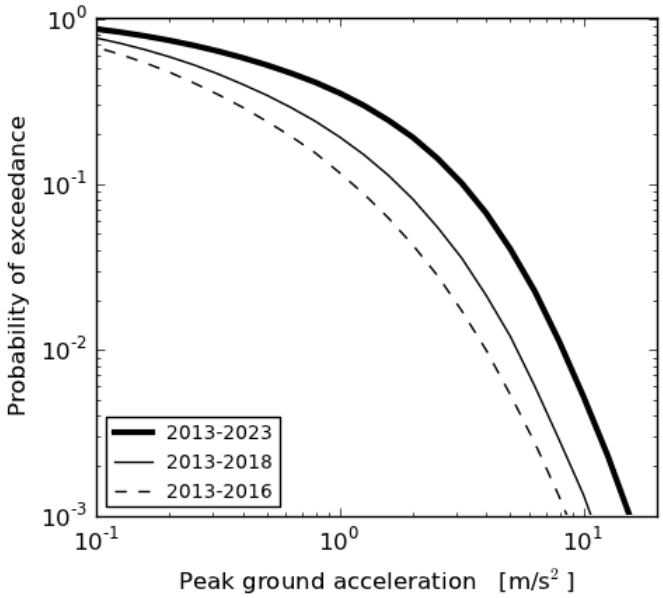
1. Seismisch hazard,
2. De gebouwen welke aan het hazard worden blootgesteld (exposure),
3. De kwetsbaarheid van de gebouwen (vulnerability).

Hieronder worden de verschillende onderdelen en de resultaten daarvoor uit de verschillende studies kort toegelicht. Vervolgens wordt het aardbevingsrisico voor het gebied boven het Groningen gasveld bepaald.

2.1 SEISMISCH HAZARD

In onderzoek 5 [3] is uitgebreid onderzoek gedaan naar de mogelijke maximale magnitude welke in het Groningen gasveld zou kunnen voorkomen. Uit deze studie is vast komen te staan dat het mogelijk is om een fysisch maximum te bepalen, maar geen meest waarschijnlijk maximum. De studie geeft samen met onderzoek 6 [4] tevens een probabilistische seismisch hazard berekening. In deze hazard analyse worden de onzekerheden in de verschillende parameters op een Monte Carlo manier meegenomen [3,4]. Het resultaat van deze berekening is een overschrijdingskansverdeling voor de maximale grondversnelling [Figuur 1] in het gebied. Daarnaast worden voor verschillende overschrijdingskansen kaarten gemaakt met de ruimtelijke verdeling van de grondversnellingen (een

voorbeeld is gegeven in Appendix A). De maximale grondversnelling kan de komende jaren slechts voorkomen in een beperkt gebied boven het Groningen gasveld. In onderzoeken 5 en 6 [3,4] is alleen een berekening gemaakt voor grondversnellingen, aangezien deze voor bevingen met magnitudes tot 4,5-5,5) de mate van schade aan gebouwen bepalen.



Figuur 1: De overschrijdingskansverdeling voor de maximale grondversnelling (peak ground acceleration) boven het Groningen gasveld voor drie verschillende tijdsintervallen: 3, 5 en 10 jaar. (figuur 4.4 [4]).Voor de bepaling van deze kasnverdeling is uitgegaan van het "market demand" productie scenario [4] en het time-decay compatie model met een tijdconstante van 7 jaar [4].

2.2 BLOOTSTELLING (EXPOSURE)

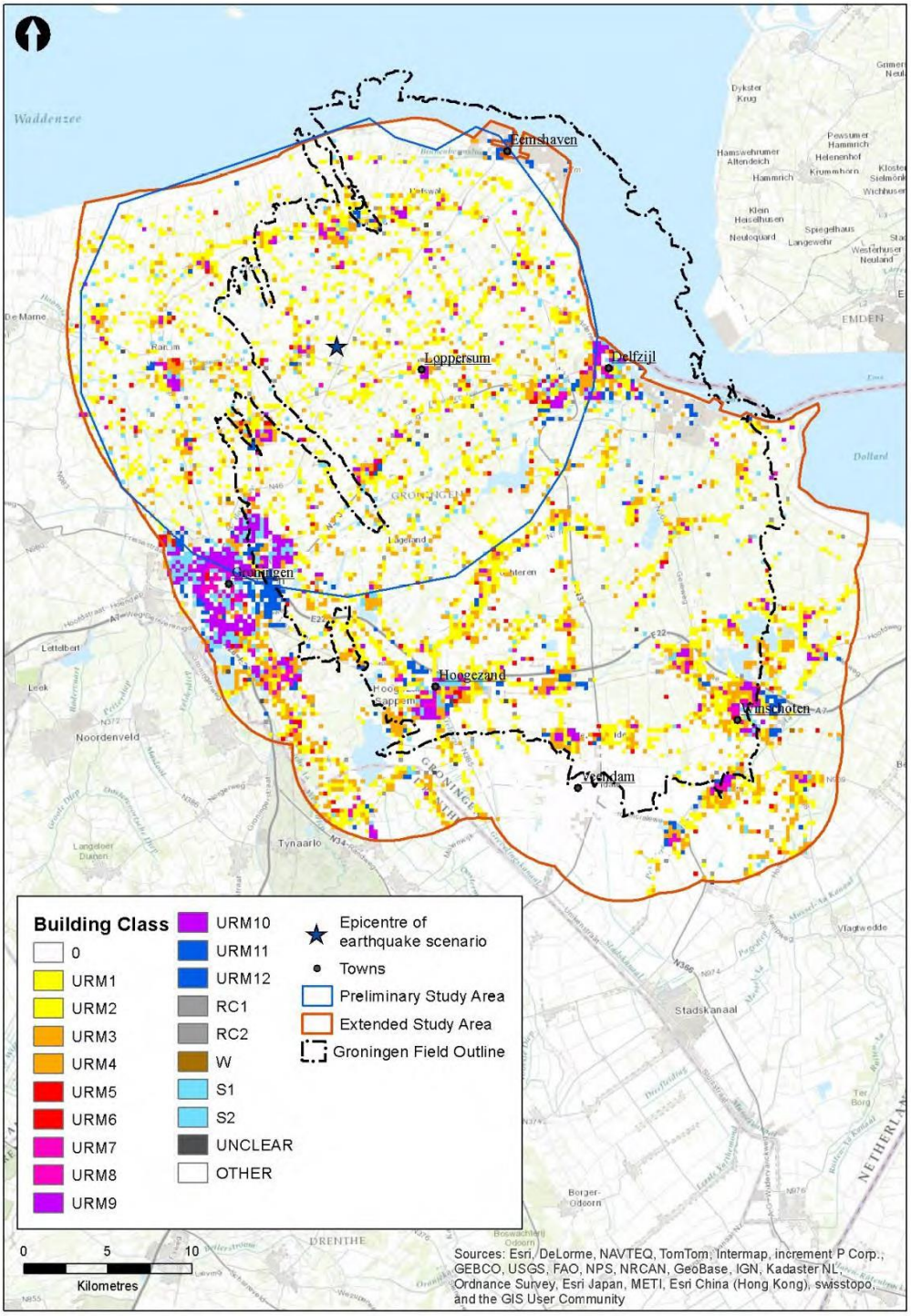
Om de gebouwen, welke aan het hazard worden blootgesteld, in kaart te brengen heeft de firma ARUP in opdracht van NAM [5,6] een uitgebreide database van gebouwen samengesteld. De database bestaat uit twee delen: 1) een gedetailleerde inventarisatie van alle gebouwen binnen een straal van 15 km ten opzichte van de Huizinge beving, 2) een uitbreiding van deze inventarisatie met alle gebouwen binnen een straal van 5 km buiten de rand van het Groningen gasveld. Elk gebouw in de dataset is op basis van zijn kenmerken ingedeeld in een van 19 gebouwtypen. In Figuur 2 is de ruimtelijke verdeling van de verschillende typen gebouwen in de twee datasets weergegeven. Het grootste deel van de gebouwen (90% van de beperkte database en 77% van de uitgebreide database) bestaat uit niet-versterkte bakstenen huizen. Een overzicht van de database is gegeven in Appendix B.

2.3 KWETSBAARHEID VAN GEBOUWEN (VULNERABILITY)

De kwetsbaarheid van een gebouw wordt gedefinieerd als de mate van schade aan een gebouw ten gevolge van een specifieke mate van hazard [5,6]. De mate van schade wordt vaak uitgedrukt in een empirische kwetsbaarheidsfunctie. Hierin wordt de kans op een bepaalde mate van schade uitgezet tegen de hazard. In het geval van een seismisch risico berekening wordt voor het hazard de grondversnelling (pga) gebruikt.

Verschillende typen gebouwen blijken even kwetsbaar voor grondversnellingen te zijn. Dit resulteert in de groepering van de verschillende gebouwtypen. Bijvoorbeeld: de 12 typen voor niet versterkte bakstenen huizen kunnen op basis van hun bouwjaar worden gegroepeerd in 3

kwetsbaarheidsgroepen: huizen van voor 1920, huizen gebouwd tussen 1920 en 1960 en huizen gebouwd na 1960. De kwetsbaarheidsfuncties voor deze 3 groepen wordt gegeven in Appendix B.



Figuur 2: Ruimtelijke verdeling van de verschillende typen huizen in de studie gebieden van ARUP (figuur A.3 [6]). De 12 verschillende niet-versterkte bakstenen huizen (URM) kunnen op basis van bouwperiode worden onderverdeeld in 3 kwetsbaarheidsgroepen: gebouwd voor 1920, gebouwd tussen 1920 en 1960 en gebouwd na 1960. 90% van de bebouwing binnen een straal van 15 km van het epicentrum van de Huizinge beving en 77% van de bebouwing in het gebied tot 5 km van de rand van het Groningen gasveld vallen binnen deze URM categorie. Deze categorie huizen is het meest gevoelig voor schade ten gevolge van aardbevingen.

2.4 SEISMISCH RISICO ANALYSE

Door ARUP [5] is in het kader van onderzoek 1 naar preventieve maatregelen een deterministische seismisch risico analyse uitgevoerd. Een gedetailleerde beschrijving van deze seismisch risico analyse wordt in een aparte achterliggende rapportage beschreven [6]. Een deterministische aanpak geeft voor een “karakteristieke beving” de gevolgen in termen van schade en letsel/dodelijke slachtoffers. Deze aanpak wordt internationaal met name gebruikt om risicomanagementplannen mee te ontwerpen en om te zorgen voor adequate hulpverlening. Het geeft echter geen volledig beeld van het aardbevingsrisico in een gebied. Een volledig beeld kan worden verkregen met behulp van een probabilistische aanpak, waarbij de onzekerheid in de locatie van een beving, de grondversnelling en de kwetsbaarheid van de gebouwen expliciet wordt meegenomen. Deze probabilistische aanpak, zoals wel gebruikt voor de bepaling van de overschrijdingskansen van de grondversnellingen, is op dit moment voor de bepaling van het aardbevingsrisico voor Groningen niet beschikbaar.

ARUP heeft de risico analyse uitgevoerd voor 4 verschillende sterkten van bevingen: M=3,6 (vergelijkbaar met de Huizinge beving), M=4,0 , M=4,5 en M=5. De analyse van ARUP gaat uit van een “karakteristieke aardbeving” op dezelfde locatie als de Huizinge beving van augustus 2012 [5,6]. Het berekende schade- en letselbeeld is dan ook specifiek voor de “karakteristieke beving” op deze locatie. In de hier volgende analyse wordt op basis van de verschillende deterministische scenario’s voor een “karakteristieke beving” op de locatie Huizinge het seismisch risico gekwantificeerd.

2.4.1 Schade- en letselanalyse ARUP [4,5]

Zoals hierboven aangegeven heeft ARUP een analyse uitgevoerd voor 4 verschillende sterkten (magnitudes) van bevingen. Met behulp van een vergelijking tussen magnitude en grondversnelling (de Ground Motion Prediction Equation) [GMPE] bepaalt ARUP voor de verschillende magnitudes de grondversnellingen (pga). Op basis van deze grondversnellingen, het aantal gebouwen en inwoners in het gebied en de kwetsbaarheid van de gebouwen, worden de schades die bij de verschillende magnitudes kunnen ontstaan en het aantal individuen dat gewond kan raken of kan komen te overlijden, bepaald.

ARUP doet deze analyse zowel voor de mediaan (P50) van de GMPE, het gemiddelde van de GMPE (mean), als de mediaan van de GMPE vermeerderd met 1 standaard deviatie (P84).

In de meer gedetailleerde rapportage van ARUP [5] worden ruimtelijke figuren gegeven voor de grondversnellingen behorende bij de verschillende scenario’s. Een voorbeeld is gegeven in Appendix C. Het schade- en letselbeeld bij elk scenario wordt bepaald op basis van deze ruimtelijke distributie. Er is dus maar een beperkt aantal huizen dat aan de maximale grondversnelling wordt blootgesteld (zie ook tabel C1 in Appendix C). De maximale grondversnelling behorend bij elk van de scenario’s heeft ARUP later ter beschikking gesteld (persoonlijke communicatie met NAM/ARUP). In Tabel 1 worden kenmerken van de verschillende door ARUP doorgerekende, deterministische scenario’s en de daarbij behorende maximale grondversnellingen gegeven.

2.4.2 Kwantificering van het seismisch risico

Voor het kwantificeren van het seismisch risico moet het schade- en letselbeeld behorende bij de verschillende deterministische scenario’s (onderzoek 1) worden gekoppeld aan de overschrijdingskansen van de bij de scenario’s horende maximale grondversnellingen (onderzoeken 5 en 6). Hieruit volgt de overschrijdingskans voor het optreden van een bepaald type schade of een bepaald aantal dodelijke slachtoffers in een specifieke tijdsperiode. In deze notitie wordt hiervoor de periode van 3 jaar tussen 2013 en 2016 aangehouden. Dit geeft een goed beeld van het huidige risiconiveau. Daarnaast is het vanwege de op langere termijn sterk toenemende onzekerheden in de resultaten van de verschillende achterliggende studies niet verantwoord om verder vooruit te kijken.

Tabel 1: Maximale grondversnellingen (pga max) behorende bij de verschillende deterministische ARUP scenario's. Daarnaast wordt de overschrijdingskans (PoE) voor de periode 2013-2016 (bepaald uit Figuur 1) behorende bij de maximale pga waarden gegeven. Tenslotte wordt het aantal dodelijke slachtoffers (N) overdag en 's nachts volgende uit de analyse van ARUP gegeven. De GMPE is log-normaal verdeeld. De P50 geeft de mediaan voor de GMPE, de P84 de mediaan + 1 standaard deviatie en de mean het gemiddelde voor de GMPE relatie tussen pga en magnitude (M).

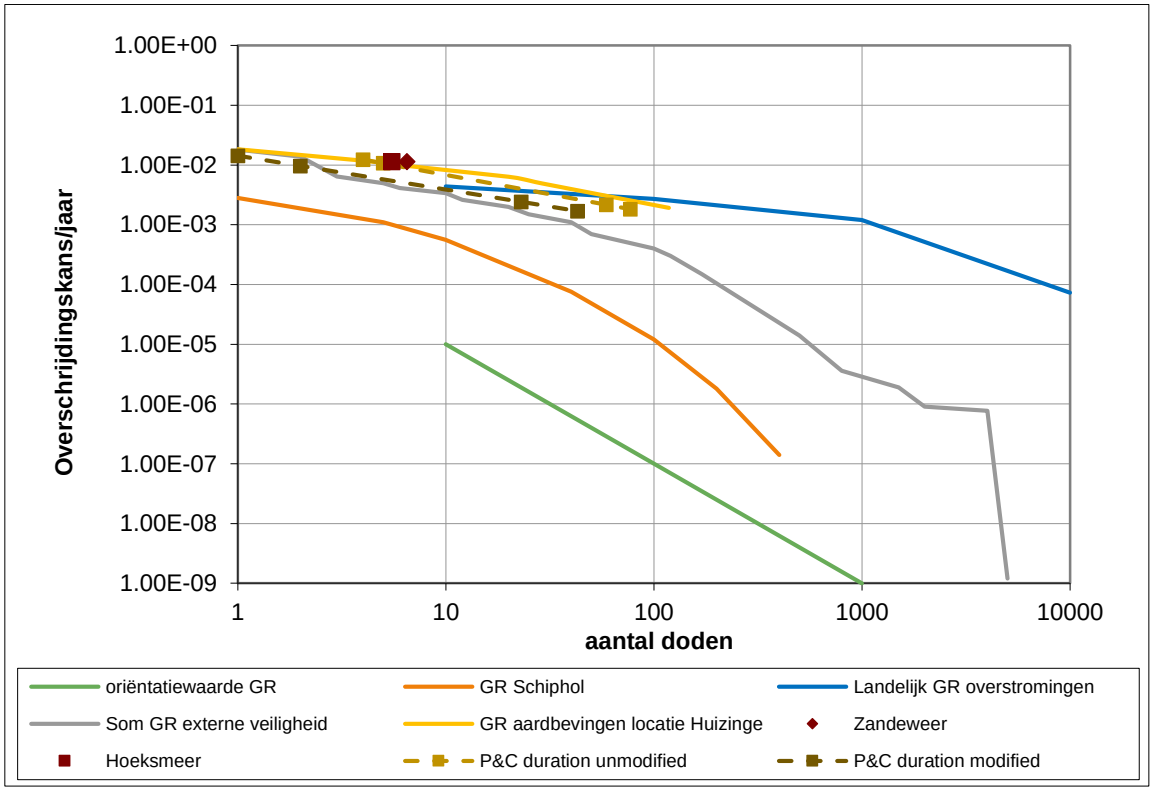
M	GMPE	pga_{max} (g)	PoE_{max}	N dag	N nacht	locatie	fragility curve
3,6	P50	0,08	$1{,}50 \times 10^{-1}$	0	0	Huizinge	ARUP
3,6	P84	0,17	$5{,}52 \times 10^{-2}$	1	0,9	Huizinge	ARUP
4	P50	0,11	$1{,}05 \times 10^{-1}$	0	0	Huizinge	ARUP
4	P84	0,24	$3{,}10 \times 10^{-2}$	5	4	Huizinge	ARUP
4,5	P50	0,17	$5{,}52 \times 10^{-2}$	1	1	Huizinge	ARUP
4,5	P84	0,34	$1{,}53 \times 10^{-2}$	29	26	Huizinge	ARUP
5	P50	0,23	$3{,}44 \times 10^{-2}$	6	5	Huizinge	ARUP
5	P84	0,49	$5{,}95 \times 10^{-3}$	118	106	Huizinge	ARUP
5	mean	0,31	$1{,}86 \times 10^{-2}$	23	20	Huizinge	ARUP
5	P50	0,23	$3{,}44 \times 10^{-2}$	7	6	Zandeweer	ARUP
5	P50	0,23	$3{,}44 \times 10^{-2}$	5	4	Hoeksmeer	ARUP
5	P50	0,23	$3{,}44 \times 10^{-2}$	5	4	Huizinge	P&C duration unmodified
5	P84	0,49	$5{,}95 \times 10^{-3}$	77	59	Huizinge	P&C duration unmodified
5	P50	0,23	$3{,}44 \times 10^{-2}$	2	1	Huizinge	P&C duration modified
5	P84	0,49	$5{,}95 \times 10^{-3}$	43	23	Huizinge	P&C duration modified

De jaarlijkse overschrijdingskans is bepaald onder de aanname dat voor de komende drie jaar het systeem in eerste orde als stationair mag worden beschouwd. In realiteit is het systeem echter niet stationair, maar neemt de overschrijdingskans van een bepaalde grondversnelling bij de voorgenomen productie met de tijd toe. De hier gebruikte aanname betekent dat over de drie jaar bekeken het eerste jaar de overschrijdingskans waarschijnlijk wordt overschat en in het derde jaar wordt onderschat.

ARUP heeft in haar analyse rekening gehouden met het feit dat mensen overdag en 's nachts niet op dezelfde locatie aanwezig zijn en dus niet dezelfde kans lopen om letsel op te lopen. Bij de bepaling van het seismisch risico is er van uitgegaan dat de verhouding tussen dag en nacht 1:1 is. Dit betekent dat de jaarlijkse overschrijdingskans van de maximale grondversnelling voor de helft wordt toegekend aan het aantal dodelijke slachtoffers overdag en voor de helft aan het aantal dodelijke slachtoffers 's nachts. Door deze overschrijdingskansen voor een gelijk aantal slachtoffers te cumuleren wordt de totale curve voor het seismisch risico verkregen. Deze curve is weergegeven in Figuur 3.

Om twee redenen is deze curve onvolledig: 1) er zijn door ARUP geen scenario's doorgerekend voor grondversnellingen groter dan 0,49g terwijl deze wel kunnen optreden (Figuur 1), 2) de curve is specifiek voor een "karakteristieke aardbeving" op de locatie Huizinge. Er kan ook een aardbeving met een lagere overschrijdingskans plaatsvinden nabij een dichtbevolkt gebied waarbij meer

slachtoffers vallen. Het verloop van de curve voor meer dan 118 dodelijke slachtoffers is daardoor niet bekend.



Figuur 3: Het Groepsrisico (GR) voor de aardbevingen in Groningen uitgezet in een F-N-curve. Dit Groepsrisico geldt voor de omgeving van Huizinge wat de komende jaren het gebied met het hoogste aardbevingsrisico is. Ter referentie worden ook de groepsrisico's voor Schiphol [9], het landelijke groepsrisico voor overstromingen [8] en de som van de groepsrisico's voor de externe veiligheidsdomeinen in Nederland gegeven [10].

2.4.3 Gevoeligheidsanalyse

Naast de 9 scenario's voor verschillende grondversnellingen voor een "karakteristieke aardbeving" bij Huizinge heeft ARUP ook een beknopte gevoeligheidsanalyse van het berekende schade- en letselbeeld uitgevoerd [5]. Hierbij is 1) de gevoeligheid voor de locatie van de "karakteristieke beving" en 2) de gevoeligheid van het schade- en letselbeeld van de gebruikte kwetsbaarheidsfunctie bepaald.

De gevoeligheid voor de locatie van de "karakteristieke beving" is vastgesteld door voor één specifieke grondversnelling het schade- en letselbeeld te bepalen voor twee alternatieve locaties: Hoeksmeer en Zandeweer. De resulterende punten zijn weergegeven in Figuur 3. Deze twee specifieke scenario's (punten) laten een vergelijkbaar beeld zien als bepaald voor de locatie Huizinge. Hieruit kan worden afgeleid dat de in deze notitie bepaalde risico's gelden voor aardbevingen met een epicentrum in het gebied waar de overschrijdingskans voor een bepaalde grondversnelling bij benadering gegeven wordt door de curve uit Figuur 1 en het schade- en letselbeeld vergelijkbaar is met een beving op de locatie Huizinge. Dit gebied wordt ongeveer begrensd door de 50% PGA/g contour in Figuur A1a van Appendix A. Voor bevingen buiten dit gebied gelden lagere overschrijdingskansen voor de maximale grondversnellingen en/of andere schadebeelden waardoor ook een ander risico zal ontstaan. Aangezien locaties buiten de bovengenoemde drie niet zijn onderzocht door ARUP is het risico buiten dit gebied op dit moment niet te kwantificeren.

Om de gevoeligheid voor de gebruikte kwetsbaarheidsfunctie te bepalen zijn voor twee grondversnellingen op de locatie Huizinge de gevolgen bepaald met een alternatieve

kwetsbaarheidsfunctie (P&C duration unmodified). De resulterende F-N-curve wordt maar gegeven door vier punten. De geïnterpoleerde curve lijkt een iets lager risico te geven dan de eerder afgeleide F-N-curve voor de locatie Huizinge [Figuur 3]. Naast deze kwetsbaarheidscurve heeft ARUP ook nog scenario's berekend met een tweede alternatieve kwetsbaarheidsfunctie waarin de functie gecorrigeerd is voor de duur van de beving. De andere twee gebruikte kwetsbaarheidsfuncties zijn gebaseerd op data afkomstig van veel sterkere bevingen. Minder sterke bevingen hebben een kortere duur. De F-N-curve voor deze alternatieve kwetsbaarheidsfunctie bestaat eveneens maar uit vier punten. Uit de interpolatie tussen deze punten in Figuur 3 is af te leiden dat de kans op 10 dodelijke slachtoffers of meer ten gevolge van de kortere duur van kleinere bevingen ongeveer halveert. De onzekerheid in deze curven (op basis van 4 punten) is groot. Het geeft dan ook alleen een indicatie van de orde grootte van de onzekerheid in het GR voor een beving bij Huizinge ten gevolge van de onzekerheid in de kwetsbaarheidsfunctie.

3 AARDBEVINGSRISICO GRONINGEN IN PERSPECTIEF

Externe veiligheid omvat risico's die onvrijwillig opgelegd worden. Bestaand extern veiligheidsbeleid voor industrie en buisleidingen gaat uit van een wettelijk vastgelegd (BEVI en BEVB) acceptatie criterium voor Plaatsgebonden Risico (PR), alsmede een door de overheid te verantwoorden richtwaarde voor GroepsRisico (GR). Tevens is hier sprake van een wettelijk vastgelegde rekenwijze voor bepalen van het risico.

Landelijk worden ook andere externe veiligheidsrisico's tegen het PR en GR of vergelijkbare begrippen getoetst, zoals luchthavenveiligheid en overstromingsrisico's. Ondanks de beperkte wettelijke basis hiervoor, blijkt dit toch gangbare praktijk. Voor aardgasbevingen bestaat dergelijke wetgeving nog niet in Nederland. Bovengenoemd acceptatiecriterium en richtwaarde zijn dermate gevestigd, dat het van nut is om het risico op aardgasbevingen daartegen te spiegelen.

Internationaal bestaat wel degelijk een breed geaccepteerde richtwaarde voor acceptatie van bescherming tegen aardbevingen, alsmede een breed geaccepteerde methodologie (Hazus 2.1.) voor het berekenen van risico's van aardbevingen. In dit document is waar mogelijk aansluiting gezocht met deze methodologie.

3.1 GROEPSRISICO

Het groepsrisico geeft de kans per jaar dat in één keer een aantal mensen komt te overlijden ten gevolge van een calamiteit. Het groepsrisico wordt ook wel maatschappelijk risico genoemd: het is een maat voor de maatschappelijke ontwrichting welke het gevolg is van een calamiteit.

Het groepsrisico wordt weergeven in een grafiek waarin de frequentie (per jaar) van het optreden van minimaal een bepaald aantal slachtoffers (N) wordt uitgezet (F-N grafiek). In het risicobeleid ten aanzien van externe veiligheid voor industrie wordt voor het beoordelen van het groepsrisico een oriëntatiewaarde aangehouden[1]. Dit is een lijn in de grafiek die loopt door het punt 10 of meer dodelijke slachtoffers eens per 100.000 jaar ($F=10^{-5}$, N=10), ook wel ankerpunt genoemd. Vervolgens is de aanname dat de maatschappelijke ontwrichting kwadratisch toeneemt met het aantal mensen dat bij een calamiteit om het leven komt. (Hierdoor loopt de lijn dus ook door $F=10^{-7}$, N=100).

Het aardbevingsrisico zoals hierboven bepaald is equivalent aan het groepsrisico en kan direct worden gerepresenteerd in een F-N grafiek. In Figuur 3 is het groepsrisico voor de "karakteristieke beving" bij Huizinge weergegeven. Duidelijk is te zien dat dit seismische groepsrisico aanzienlijk hoger ligt dan de oriëntatiewaarde voor externe veiligheid van inrichtingen.

[1] Let op: Voor transport en buisleidingen geldt een andere oriëntatiewaarde.

Het groepsrisico ten gevolge van aardgasbevingen is de komende drie jaar vergelijkbaar met het landelijke groepsrisico voor overstromingen[2] [8]. Het groepsrisico voor Schiphol [9] is een factor 10 tot 100 lager dan het groepsrisico voor aardbevingen in de omgeving van Huizinge. Het groepsrisico voor geïnduceerde bevingen in de omgeving van Huizinge ligt eveneens boven de totaalcurve van de andere externe veiligheidsrisico's in de samenleving [10]: de kans op grote aantallen slachtoffers is voor de geïnduceerde bevingen hoger dan voor alle andere externe veiligheidsrisico's bij elkaar opgeteld.

Geconcludeerd kan worden dat het groepsrisico in de periode 2013-2016 voor de "karakteristieke beving" bij Huizinge hoog is.

3.2 PLAATSGEBONDEN RISICO

Het plaatsgebonden risico (PR) is een maat voor het risico dat op een bepaalde locatie heerst. Deze wordt ook gehanteerd in het externe veiligheidsbeleid. Dit risico wordt bepaald door de kans op overlijden te berekenen voor een fictief persoon die onbeschermd continu op een specifieke locatie aanwezig is. De wettelijke norm welke voor het PR gehanteerd wordt is PR< 10^{-6}, hetgeen inhoudt dat de fictieve persoon op deze locatie een kans heeft van een op de miljoen om in een jaar te komen te overlijden.

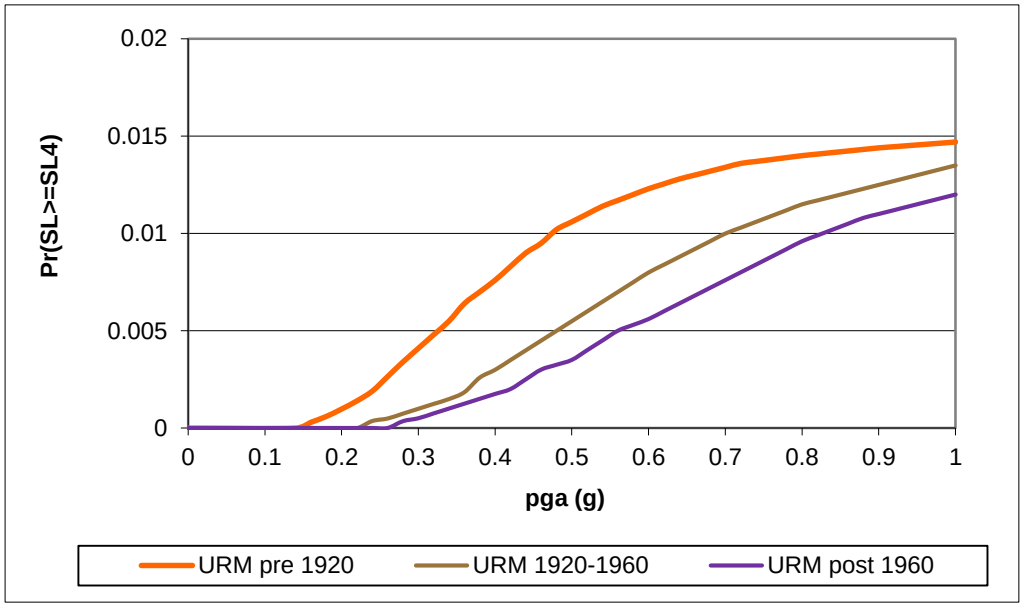
Bij overstromingen wordt in plaats van het PR gebruik gemaakt van het Lokaal Individueel Risico (LIR). Dit is het PR gecorrigeerd voor de mogelijkheid van evacuatie. Het LIR wordt bepaald voor verschillende buurten binnen de dijkringen [8], waarna de maximale waarde als LIR aan de dijkring wordt toegekend. Ook voor het LIR wordt als referentiekader de wettelijke norm van 10^{-6} aangehouden. Voor de meeste dijkringen ligt het LIR tussen de 10^{-5} en 10^{-6} per jaar. Uitzondering hierop is het rivierengebied, waar het LIR hoger is dan 10^{-5}/jaar.

Voor aardbevingsrisico geldt dat het risico van overlijden direct gerelateerd is aan het instorten van gebouwen. Om het risico van overlijden van een individu te kunnen kwantificeren wordt hier voor aardbevingsrisico het Lokaal Persoonlijk Risico (LPR) gedefinieerd als: "*de kans op overlijden voor een fictief persoon die zich permanent in of nabij een gebouw van een bepaalde kwetsbaarheidsklasse bevindt*".

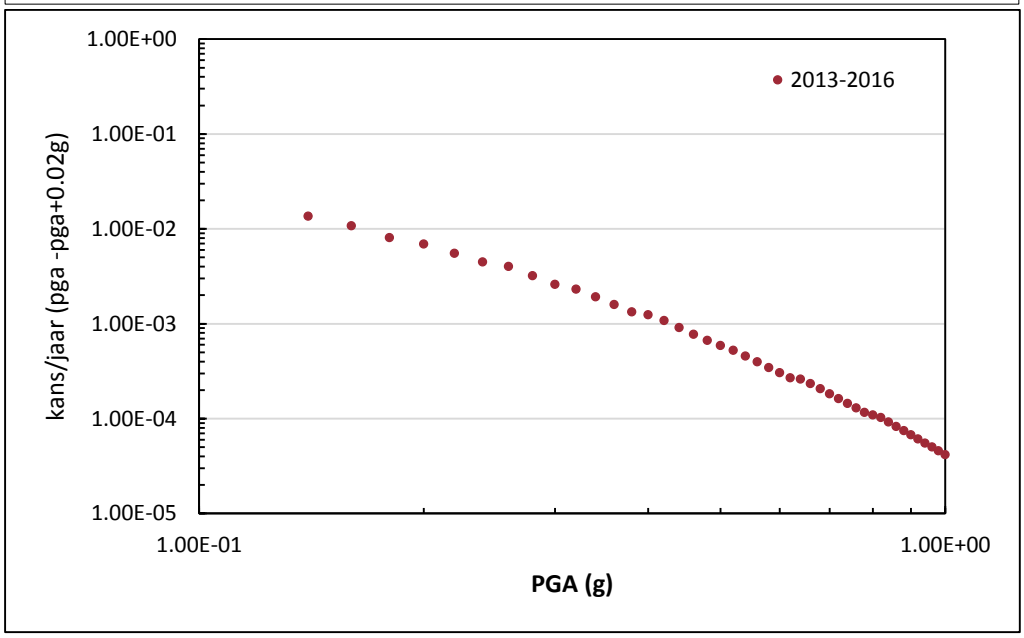
In principe zou, voor een adequate bepaling van het LPR, voor elke locatie binnen de invloedssfeer van een bepaalde aardbeving de kans dat daar iemand kan komen te overlijden bepaald moeten worden (gekoppeld aan een bepaald type huis). In de deterministische analyse van ARUP [5,6] wordt echter uitgegaan van de kans op instorten van een woning bij een bepaalde grondversnelling (gegeven door de kwetsbaarheidsfunctie; zie Appendix B). De kans dat vervolgens een individu kan komen te overlijden (de sterftekans) is gedefinieerd als een fractie van deze kans (HAZUS 2.1). In Figuur 4a wordt voor de drie meeste kwetsbare type gebouwen (niet versterkte bakstenen huizen) de sterftekans als functie van de grondversnelling weergegeven. Deze drie kwetsbaarheidsklassen representeren 90% van het totale huizenbestand in een straal van 15 km van de Huizinge beving en 77% van het huizenbestand in het door aardgasbevingen getroffen gebied.

[2] In deze referentiesituatie zijn de overstromingskansen van de onderscheiden dijkringdelen getalsmatig gelijk gesteld aan de huidige wettelijke normfrequenties in termen van overschrijdingskansen.

a)



b)



Figuur 4: a) Kans dat een individu kan komen te overlijden voor de drie meest kwetsbare woningtypen (niet versterkte bakstenen huizen (URM) onderverdeeld in huizen voor 1920, gebouwd tussen 1920 en 1960 en huizen gebouwd na 1960) ten gevolge van een beving met een bepaalde grondversnelling; b) Jaarlijkse kansdichtheidsfunctie voor een specifieke grondversnelling. De grondversnelling is hier gegeven als een fractie van de zwaartekrachtversnelling (9,81 m/s^2).

Tabel 2: Overzicht van het aardbevingsrisico in Groningen, specifiek voor de omgeving van Huizinge waar de komende jaren het grootste aardbevingsrisico heerst.

Groepsrisico		**Lokaal Persoonlijk Risico**	
F (/jaar)	**N**	**Gebouwtype**	**LPR/jaar**
1,9 x 10^{-2}	1	URM pre 1920	6,9 x 10^{-5}
8,9 x 10^{-3}	10	URM 1920-1960	2,7 x 10^{-5}
2,2 x 10^{-3}	100	URM post 1960	1,8 x 10^{-5}

Op basis van figuur 1 is voor intervallen van 0.02g de jaarlijkse kansdichtheidsfunctie voor de periode 2013-2016 bepaald [Figuur 4b]. Door de sterftekans uit Figuur 4a te vermenigvuldigen met de jaarlijkse kansdichtheidsfunctie uit Figuur 4b en vervolgens te cumuleren over de verschillende grondversnellingsintervallen, kan het jaarlijkse LPR voor een persoon in dit type huizen voor de periode 2013-2016 worden bepaald.

Het hoogste LPR van 6,9 x 10^{-5} per jaar geldt voor een persoon in een huis uit de klasse “niet versterkte bakstenen huizen van vóór 1920”. Voor de overige twee klassen is het LPR 2,7 x 10^{-5}/jaar respectievelijk 1,8 x 10^{-5}/jaar. Een overzicht van het LPR naar gebouwtype is gegeven in Tabel 2.

De resultaten in de onderzoeken 1, 5 en 6 zijn berekend tot een grondversnelling van 1g. In de berekening van het LPR is het risico van bevingen met een grondversnelling groter dan 1g derhalve niet meegenomen. Dit betekend dat het berekende LPR een ondergrens is. Net als bij het groepsrisico dient ook voor het LPR opgemerkt te worden dat het berekende LPR geldt voor het gebied dat ongeveer begrensd wordt door de 50% PGA/g contour in Figuur A1a van Appendix A. Het LPR buiten dit gebied kan op dit moment op basis van de resultaten uit de onderzoeken 1, 5 en 6 niet worden bepaald.

Geconcludeerd kan worden dat 90% van de huizen in de omgeving van Huizinge ten gevolge van door gaswinning geïnduceerde aardbevingen een LPR heeft tussen de 10^{-5} en 10^{-4} per jaar. Dit is een factor 10-100 boven de wettelijke norm voor industriële activiteiten. Bij (woning)bouw wordt op grond van NEN 8700 voor bestaande bebouwing gewerkt met een norm van 10^{-5}/jaar voor belastingen, zoals bijvoorbeeld door een storm, sneeuw of ontploffingen. Geconcludeerd kan worden dat het LPR door gaswinning geïnduceerde aardbevingen voor 90% van de huizen in de omgeving van Huizinge eveneens boven de NEN 8700 bouwnorm voor belastingen uitkomt.

3.3 INTERNATIONALE CRITERIA

Internationaal zijn in verschillende gebouwcodes voorwaarden vastgelegd waar gebouwen in relatie tot seismiciteit aan moeten voldoen. Deze codes zijn opgesteld voor natuurlijke bevingen, maar kunnen en worden ook toegepast voor geïnduceerde bevingen. Voorbeelden van deze codes zijn de “Uniform building code” uit de Verenigde Staten, de “Building standard law” uit Japan en de “Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistence” [7] in Europa.

De Eurocodes zijn de huidige technische standaarden voor het structureel ontwerpen van gebouwen in Europa. Ze zijn verplicht in de 28 landen van de Eurocode zone en vervangen nationale standaarden. Eurocode 8 gaat specifiek in op het aardbevingsbestendig ontwerpen van gebouwen. Elk land dat gebruik maakt van de Eurocode 8 moet een Nationale Annex opstellen, waarin uitgewerkt wordt hoe de code wordt geïmplementeerd in de bouwcodes. Nederland heeft op dit moment nog geen nationale annex.

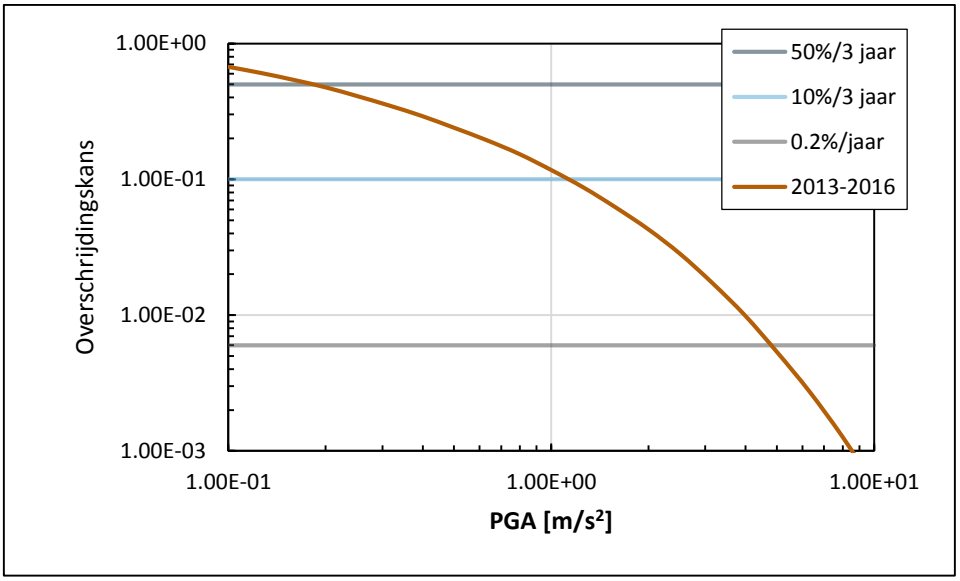
De Eurocode 8 [7] gaat uit van 2 verschillende voorwaarden:

1. “No-collapse”: Het gebouw moet dusdanig ontworpen en gebouwd zijn dat het bij grondbewegingen met een overschrijdingskans groter dan 0,2%/jaar niet mag instorten.
2. “Damage limitation”: Het gebouw moet dusdanig ontworpen en gebouwd zijn dat er bij grondversnellingen met een grotere overschrijdingskans (0,2%/jaar < P < 1,1%/jaar) geen schade mag ontstaan waarvan de kosten disproportioneel groot zijn in vergelijking met de kosten van het bouwwerk zelf.

Het uitgangspunt van de “no-collapse” overschrijdingskans is dat een gebouw tijdens zijn gemiddelde levensduur van 50 jaar 10% kans mag hebben om in te storten. Deze overschrijdingskans als basis voor het ontwerp is als eerste geïntroduceerd in de Verenigde Staten en is wereldwijd in de meeste bouwcodes voor seismiciteit overgenomen. De Eurocode stelt dat bestaande bebouwing aan dezelfde normen moeten voldoen als nieuwe bebouwing [7]. Hiermee is de Eurocode bijzonder conservatief.

Om het risico in Groningen in perspectief te plaatsen is de grondversnelling en het aantal slachtoffers behorende bij de overschrijdingskans van de Eurocode 8 “no-collapse” voorwaarde

bepaald. De grondversnelling behorende bij deze overschrijdingskans is 4,9 m/s^2 (0,5g) [Figuur 5]. Bij deze grondversnelling berekend ARUP [5,6] dat er niet 'geen', maar meer dan 1200 huizen zouden kunnen instorten waarbij overdag 118 dodelijke slachtoffers en 's nachts 106 dodelijke slachtoffers te betreuren zouden kunnen zijn.



Figuur 5: De overschrijdingskans voor de maximale grondversnelling (peak ground acceleration) binnen het Groningen gasveld voor de periode 2013-2016. Tevens is de door NAM in het winningsplan gebruikte 50% overschrijdingskans in de periode van 3 jaar en de 10% overschrijdingskans in de periode van 3 jaar aangegeven. Daarnaast is ook de 0.2%/jaar overschrijdingskans behorende bij de Eurocode 8 norm weergegeven.

4 CONCLUSIE

In deze notitie is het aardbevingsrisico voor de periode 2013-2016 ten gevolge van een "karakteristieke aardbeving" op de locatie van de Huizinge beving bepaald. Dit risico is op een zodanige wijze gepresenteerd dat het vergeleken kan worden met risico's in andere sectoren. Er is vergeleken met de sectoren Externe Veiligheid (gevaarlijke stoffen), Schiphol, overstromingen en de bouwcodes. Uit de analyse volgt dat het risico ten gevolge van door gaswinning geïnduceerde aardbevingen, bepaald voor een "karakteristieke beving" op de locatie van de Huizinge beving, in vergelijking met andere risico's in de maatschappij hoog is.

Het risico op grotere aantallen slachtoffers, het groepsrisico, in het gebied beïnvloed door de Huizinge beving is vergelijkbaar met het landelijk groepsrisico bij overstromingen. In vergelijking met de groepsrisico's in de andere externe veiligheidssectoren en Schiphol is het seismisch risico hoog.

Voor 90% van de huizen binnen een straal van 15 km van de Huizinge beving geldt dat het LPR ten gevolge van door gaswinning geïnduceerde aardbevingen tussen de 10^{-5} en 10^{-4} per jaar ligt. Het hoogste LPR in dit gebied, van 6,9 x 10^{-5} per jaar, geldt voor een persoon in een huis uit de klasse "niet versterkte bakstenen huizen van vóór 1920". De risico's die bewoners in deze huizen ten gevolge van door gaswinning geïnduceerde aardbevingen lopen zijn hoger dan de bouwcodenormen welke internationaal voor natuurlijke aardbevingen en nationaal voor andere (vergelijkbare) risico's ten gevolge van belastingen op huizen worden aangehouden.

5 REFERENTIES

[1] Muntendam-Bos, A.G. and J.A. de Waal (2013) Reassessment of the probability of higher magnitude earthquakes in the Groningen gas field, Report of the State Supervision of Mines, 16 January 2013.

[2] Kamerbrief Minister van Economische Zaken (2013) Toezending stukken naar aanleiding van gedane toezeggingen in Algemeen Overleg gaswinning Groningen, kenmerk: DGETM-EM / 13021701, dd 11 februari 2013.

[3] NAM (2013) Report on Subsurface Aspects of Induced Earthquakes in the Groningen field, October 2013.

[4] NAM (2013) Report to the Technical Guidance Committee (TBO) on production measures – Part 1: Depletion scenarios and hazard analysis, October 2013.

[5] ARUP (2013) Groningen 2013, Structural upgrading strategy, REP/229746/ST001, 13 November 2013.

[6] ARUP (2013) Groningen 2013, Seismic Risk Study – Earthquake scenario-based risk assessment, REP/229746/SR001, 26 November 2013.

[7] CEN (2004) Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings. Technical Report. Comit_e Europ_een de Normalisation, .. Brussels.

[8] Deltares (2011) Analyse van slachtofferrisico's; Waterveiligheid 21e eeuw, 1204144-005-ZWS-0001.

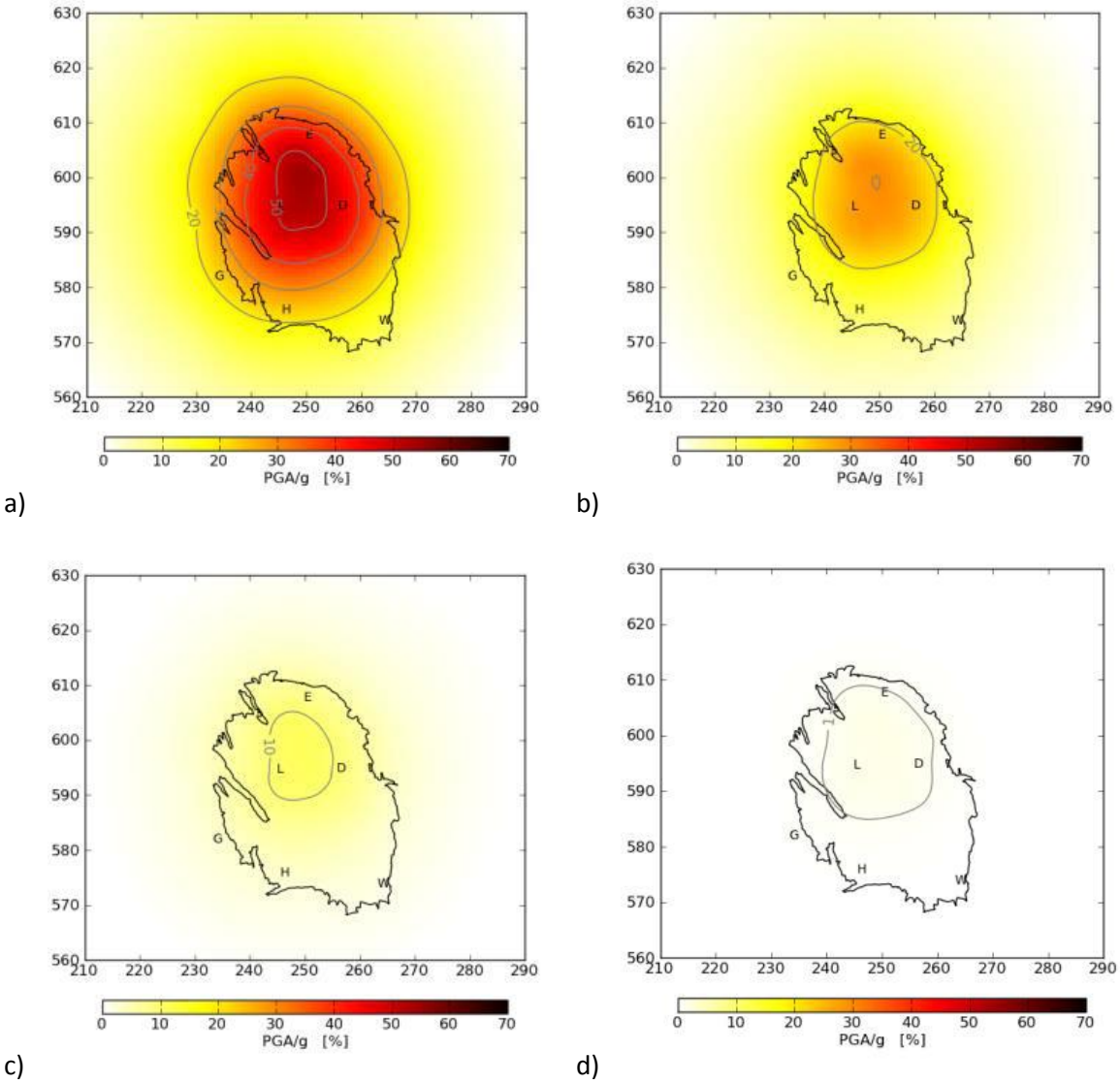
[9] Post, J.G., E.S. Kooi en J. Weijts (2005) Ontwikkeling van het groepsrisico rond Schiphol, 1990-2010 door de ontwikkeling van de luchtvaart en omgeving, RIVM rapport 620100004/2005.

[10] Milieu- en Natuurplanbureau (2004) Risico's in bedijkte termen; een thematische evaluatie van het Nederlandse veiligheidsbeleid tegen overstromen, RIVM rapport 500799002.

6 BEGRIPPENLIJST

Hazard:	Een situatie welke een bedreiging is voor een (mensen-)leven, de gezondheid, een gebouw of de omgeving.
Seismisch hazard:	In het geval van seismisch hazard is de bedreigende situatie een aardbeving. In de weergave van seismisch hazard wordt vaak al de interactie bepaald tussen de bedreigende situatie en de (overschrijdings-)kans dat de bedreigende situatie optreedt. Maatgevend voor de mate van bedreiging is de grondsnelheid en, voor kleinere bevingen (M < 5-5,5) met name bepalend, de grondversnellingen.
Risico:	De interactie tussen het hazard, de kans dat het hazard optreedt en de gevolgen die optreden indien een hazard zich voordoet.
Seismisch risico:	De interactie tussen het seismische hazard en de gevolgen die optreden indien het hazard zich voordoet.
Plaatsgebonden risico:	Maat voor het risico dat op een bepaalde locatie heerst. Dit risico wordt bepaald door de kans op overlijden te berekenen voor een fictief persoon dat onbeschermd continu op een specifieke locatie aanwezig is.
Groepsrisico:	De kans per jaar dat in één keer een groot aantal mensen komt te overlijden ten gevolge van een calamiteit. Het groepsrisico wordt ook wel maatschappelijk risico genoemd: het is een maat voor de maatschappelijke ontwrichting welke het gevolg is van een calamiteit.
Individueel risico:	De kans dat 1 op de x aantal mensen in een jaar komt te overlijden.
Lokaal individueel risico (LIR):	Het plaatsgebonden risico gecorrigeerd voor de mogelijkheid van evacuatie.
Lokaal persoonlijk risico (LPR):	De kans op overlijden voor een fictief persoon die zich permanent onbeschermd in een gebouw van een bepaalde kwetsbaarheidsklasse bevindt.
Kans op overlijden:	De waarschijnlijkheid dat in een bepaalde periode een specifiek aantal mensen overlijdt als gevolg van een aardgasbeving
Overschrijdingskans t.a.v overlijden:	De waarschijnlijkheid dat in een bepaalde periode minimaal een specifiek aantal mensen overlijdt als gevolg van een aardgasbeving
Probabilistisch:	Een berekening waarbij expliciet rekening wordt gehouden met onzekerheden.
Deterministisch:	Een berekening waarbij uitgegaan wordt van specifieke waarden en geen rekening wordt gehouden met onzekerheden.

APPENDIX A

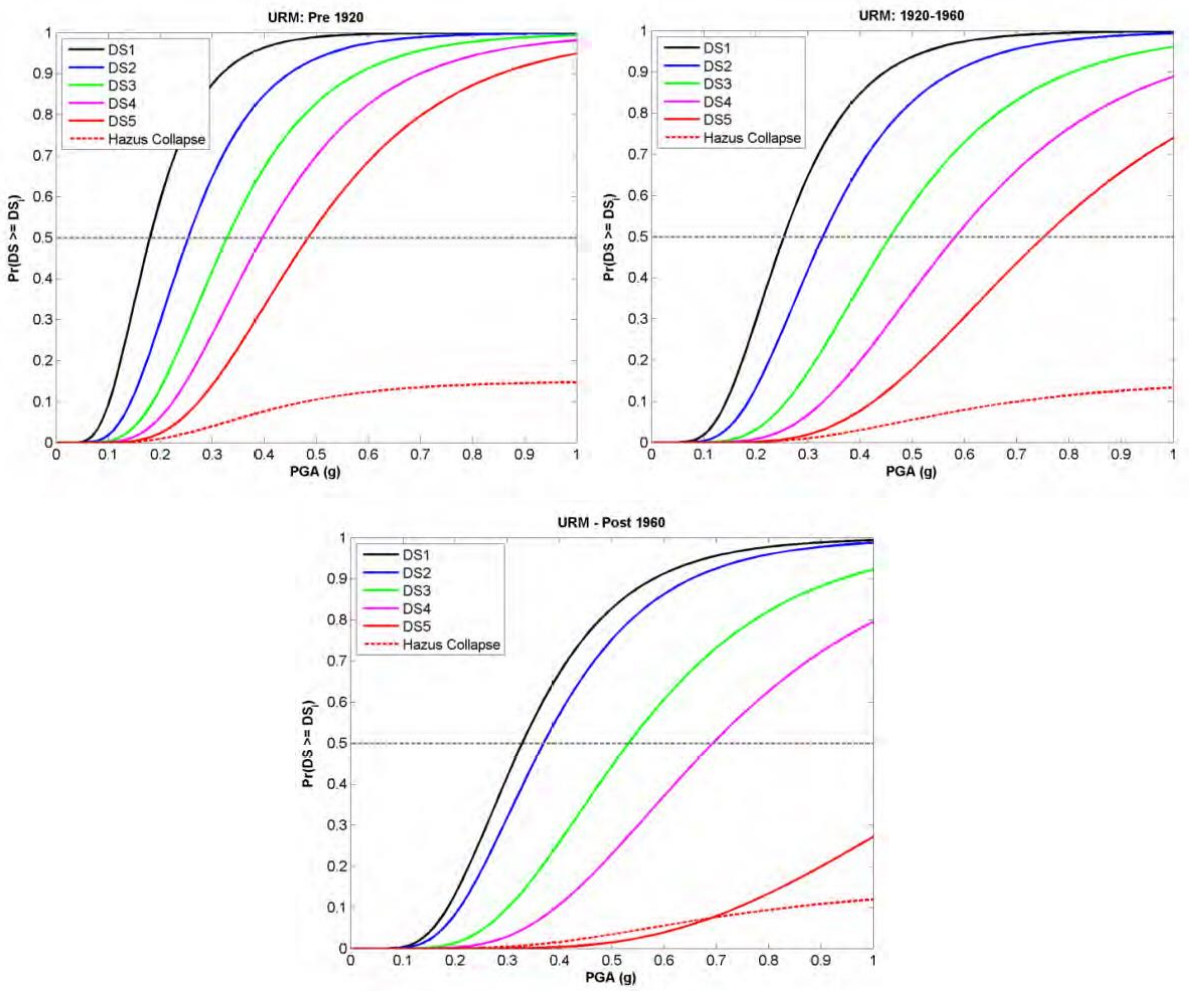


Figuur A1: Grondversnellingskaarten voor de drie jaar van 2013-2016 met a) 0,16%, b) 2%, c) 10% en d) 50% overschrijdingskans. De maximale grondversnelling is a) 0,54g, b) 0,30g, c) 0,12g en d) 0,02g.

APPENDIX B

Tabel B1: Gebouwtypen voor de seismisch risico analyse met de verdeling in het beperkte en uitgebreide gebied.

					15 km database		Extended database	
Material	**Building typology**	**Building type**	**Age**	**Storeys /Height**	**Sub-total**	**Total (%)**	**Sub-total**	**Total**
Unreinforced masonry	Detached/villa/semi-detached, flexible diaphragms	URM1	Pre 1920	1-2	3,299 (5.03%)	57,628 (89%)	7,500 (2.40%)	189,100 (77%)
		URM2		≥3	2,295 (3.5%)		5,200 (2.10%)	
		URM3	1920-1969	1-2	8,062 (12.4%)		23,000 (9.30%)	
		URM4		≥3	2,551 (3.9%)		7,500 (3%)	
	Detached/villa/semi-detached, rigid diaphragms	URM5	Post 1970	1-2	7,729 (11.9%)		23,000 (9.30%)	
		URM6		≥3	2,600 (5%)		6,100 (2.50%)	
	Terraced house, flexible diaphragms	URM7	Pre 1920	1-2	209 (0.3%)		3200 (1.3%)	
		URM8		≥3	404 (0.6%)		8400 (3.4%)	
		URM9	1920 - 1969	1-2	2,569 (4%)		15,000 (6.1%)	
		URM10		≥3	6,645 (10.2%)		31,800 (13%)	
	Terraced house, rigid diaphragms	URM11	Post 1970	1-2	9,608 (14.8%)		27,000 (11%)	
		URM12		≥3	11,656 (18%)		31,400 (12%)	
Reinforced concrete	Concrete bearing wall, rigid diaphragms	RC1	Post 1980	1-3	2,345 (3.6%)	3,498 (5.40%)	6,800 (3%)	10,200 (4%)
		RC2	Post 1970	≥4	1,153 (1.8%)		3,400 (1%)	
Wood	Wooden barns of all ages (with possible non-bearing masonry façade)	W	All	All	78 (0.1%)	78 (0.1%)	600 (0.2%)	600 (0.2%)
Steel	Lightweight steel frame structures (e.g. industrial, building footprint larger than 200 m2)	S1	Post 1960	<15 m	51 (0.1%)	111 (0.20%)	1400 (0.6%)	106 (1%)
	Other steel buildings (steel offices, residential)	S2	Post 1960	>15 m	60 (0.10%)		200 -0.10%	
Unclear	Objects with unknown functions or under construction	UNCL	All	All	3,262 (5%)	3,262 (5%)	44,600 (18%)	3,311 (18%)
Other	To be ignored: (Electricity poles, demolished and non-existing buildings, caravans, docking bays, defence buildings)	OTHER	All	All	353 (0.5%)	353 (0.5%)		
				TOTAL	**64,931**		**246,100**	

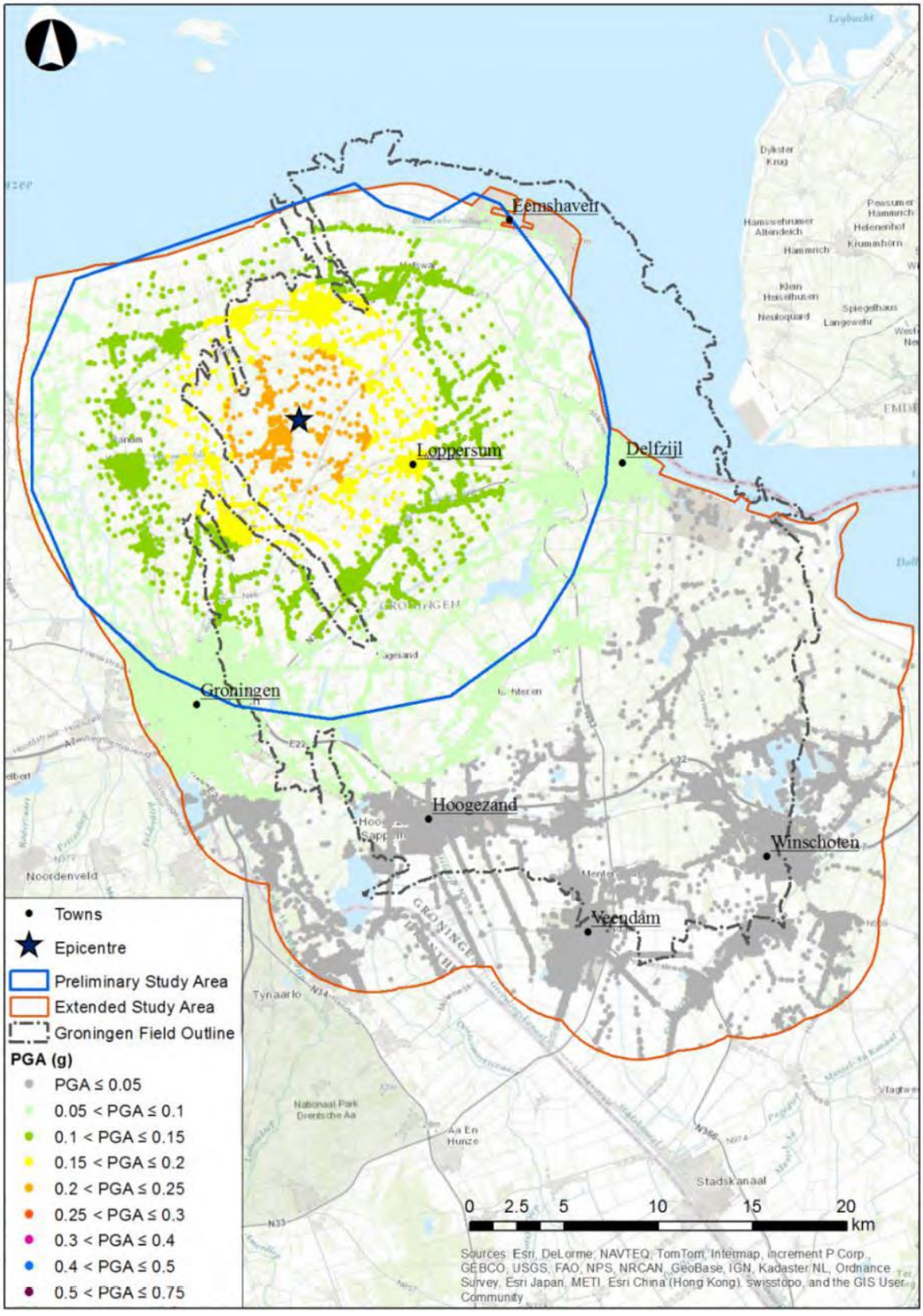


Figuur B1: ARUP kwetsbaarheidscurven voor de drie URM kwetsbaarheidsgroepen voor alle 5 "damage states". De "HAZUS collapse" curve is het resultaat van het toepassen van de HAZUS factor voor het instorten van huizen op de DS4 curve. Deze curve is de basis voor het bepalen van het aantal slachtoffers.

Tabel B2: Omschrijving van de schade- en letselcategorieën zoals gebruikt in de ARUP studies [5,6].

Damage state	classification	Severity (Injury) level	classification
DS1	Slight damage	SL1	injuries that require basic medical aid and could be administered by paraprofessionals. They would need bandages or observations.
DS2	Moderate damage	SL2	injuries requiring a greater level of medical care and use of medical technology (x-rays or surgery) but not expected to progress to a life threatening status.
DS3	Extensive damage	SL3	injuries posing immediate life threatening conditions if not adequately treated.
DS4	Complete damage	SL4	instantaneously killed or mortally injured
DS5	Collapse		

APPENDIX C



Figuur C1: Ruimtelijke verdeling van de grondversnelling voor een beving met magnitude 5 op 3 km diepte op de locatie van het Huizinge epicentrum. De grondversnelling is bepaald met de mediaan van de GMPE relatie van ARUP [3].

Tabel C1: Aantal gebouwen dat bij het scenario weergegeven in Figuur C1 wordt blootgesteld aan een specifieke grondversnelling.

Building Type	**0 ≤ *PGA* < 0.05**	**0.05 ≤ *PGA* < 0.1**	**0.1 ≤ *PGA* < 0.15**	**0.15 ≤ *PGA* < 0.2**	**0.2 ≤ *PGA* < 0.25**
URM: Pre 1920	4307	15735	2352	1412	442
URM: 1920-1960	24395	44534	4411	3132	648
URM: Post 1960	26545	49134	6552	4501	644
RC1	1796	4192	473	315	37
RC2	749	2494	69	62	4
Wood	253	156	109	50	21
S1	478	705	132	62	13
S2	61	121	5	1	2