

CONCEPT

BD1037 | ber\0.001
**Studie naar de impact van
geïnduceerde aardbevingen**

Quicksan aardbevingen gemeente Groningen

Inhoud

Document titel : Studie naar de impact van geïnduceerde aardbevingen
Documentnummer : ber\0.001

Status : Definitief
Datum : 01.04.2014
Project naam : Quickscan aardbevingen gemeente Groningen
Project nummer : BD1037
Client : Gemeente Groningen
Client contact : Dhr. 5.1.2e

Opgesteld door : 5.1.2e
Datum/paraaf : 1/4/14 5.1.2e

Gecontroleerd door : 5.1.2e
Datum/paraaf : 2 apr. 2014 5.1.2e

Goedgekeurd door : 5.1.2e
Datum/paraaf : 3 april 5.1.2e

Revisiegeschiedenis

wijz.	datum	omschrijving	gewijzigde blz.	toegev. blz.	constr.	gecontr.	gezien

Dit rapport bestaat uit 21 pagina's (en 94 pagina's bijlagen)

HaskoningDHV Nederland B.V.
Buildings
George Hintzenweg 85
3068 AX Rotterdam
Postbus 8520
3009 AM Rotterdam
T (088) 348 20 00
F (088) 348 28 01
E info@rhdhv.com
W www.royalhaskoningdhv.com

Template revision 002

Samenvatting en verantwoording

De gemeente Groningen heeft Royal HaskoningDHV gevraagd een QuickScan uit te voeren van wat de verwachte impact is voor de gemeente Groningen, wanneer ter hoogte van Harkstede een aardbeving met verschillende magnitudes optreedt.

Om deze vraag te beantwoorden hebben wij de volgende onderzoeken gedaan:

- Literatuur studie;
- Geotechnische studie naar de invloed van de horizontale afstand naar het epicentrum;
- Kwalitatieve beschouwing van alle risicofactoren;
- Kwantitatieve beschouwing van de impact op gebouwen en mensen;

De conclusies zijn getrokken op basis van alle verzamelde gegevens.

Hierbij zijn aardbevingen beschouwd van resp. 3,9, 4,8 en 5,3 op de schaal van Richter welke aansluiten bij tabel 0,1 in bijlage 1 (technical addendum to the winningsplan Groningen 2013) van het onderzoeksrapport van de NAM naar beperking van het aantal aardbevingen en de sterkte en bijbehorende toetsing door TNO. Hierin staan ook de versnellingen (PGA) aangegeven aan het aardoppervlak.

Voor de aardbeving van 4,8 en 5,3 hebben wij deze versnelling aangehouden en daarbij een schatting gemaakt van de uitdemping richting de stad. Voor de aardbeving van 3,9 is een PGA van 0,06g gegeven. Deze is naar ons oordeel (te) laag. Daarom zijn wij er nu vanuit gegaan dat er geen demping is. Uit nader onderzoek zou kunnen blijken dat de versnellingen in de stad hoger zijn.

Uit de QuickScan blijkt dat de constructies van de gebouwen in Groningen niet zijn ontworpen op aardbevingsbelasting. Zeker bij de zwaardere aardbevingen geldt voor een significant deel van de gebouwen dat de constructie niet bestand is tegen de krachten die bij een aardbeving optreden. Wij gaan er echter vanuit dat overige onderdelen van een gebouw (zoals gevels en binnenwanden) onbedoeld ook bijdragen aan de bestandheid tegen aardbevingen. Dit effect is moeilijk nauwkeurig te kwantificeren. De uitkomst van het onderzoek heeft daardoor geen hoge betrouwbaarheid.

Voor alle gebouwtypen geldt dat wij verwachten dat deze, dankzij deze onbedoelde extra bestandheid, niet zullen instorten bij een aardbeving van 3,9 op de schaal van Richter op de onderzochte afstand. Wel zal er schade optreden aan de gebouwen. Bij de aardbevingen van 4,8 en 5,3 verwachten wij wel dat een aantal gebouwen zullen instorten en ook dat er slachtoffers te betreuren zullen zijn.

Uit onze statistische analyse (kwantitatieve beschouwing) volgt een hogere impact dan die wij in de conclusie presenteren. Vanwege de bevindingen in de literatuurstudie hebben wij onze conclusie meer in lijn gebracht met de resultaten van andere onderzoeken en de geregistreerde impact van eerdere aardbevingen (waaronder die in het zuiden van Nederland). Overigens bleek ook uit andere onderzoeken in Groningen dat de theoretische berekende impact zwaarder is dan de reële verwachting op basis van bekende gegevens over aardbevingen elders.

Wij wijzen er op dat met de QuickScan een zeer voorlopig oordeel hebben gegeven over de verwachte impact van veronderstelde aardbevingen. Wij doen geen uitspraken over de kans van optreden van deze aardbevingen. De conclusie mag dan ook niet zo worden gelezen dat deze impact wordt verwacht.

Lichtere aardbevingen zijn wel een reëel scenario. Wij bevelen daarom aan vervolgonderzoek te doen gericht op de meer risicovolle objecten bij lichte aardbevingen. Hierbij zouden alle ingeschatte parameters voor deze QuickScan moeten worden geverifieerd.

Ook dient het aanbeveling inzicht te verschaffen in hoe schade en slachtoffers samenhangen met bijvoorbeeld het al dan niet in rekening brengen van een aantal niet-bouwkundige en niet-fysische parameters zoals het nemen van voorzorgsmaatregelen en een aantal niet technische aspecten zoals een deugdelijk calamiteitenplan en goede communicatie hierover.

Tot slot is het, om de effecten van een aardbeving op de stad Groningen, in termen van schade en slachtoffers, inzichtelijk te maken het aan te bevelen aanvullend onderzoek te doen naar de effecten van de schade aan essentiële infrastructuur als ondergrondse (water)leidingen en het elektriciteitsnetwerk. De aanvullende indirecte, hoofdzakelijk economische, schade veroorzaakt door schade aan de infrastructuur kan groot zijn.

Inhoudsopgave

Samenvatting en verantwoording.....	1
Inhoudsopgave.....	3
1 Inleiding.....	4
1.1 Beschrijving van het project.....	4
1.2 Aardbevings scenario's.....	5
1.3 Leeswijzer.....	5
1.4 Bronnen.....	6
1.5 Normen.....	6
2 Gegevens stad Groningen.....	7
2.1 Indeling wijken van Groningen.....	7
2.2 Type bebouwing.....	8
2.3 Waarde bebouwing.....	8
3 Kwalitatieve analyse.....	9
4 Kwantitatieve analyse.....	10
4.1 Opzet kwantitatieve analyse.....	10
4.2 Horizontaal elastisch response spectrum.....	11
4.3 Afstand tot epicentrum.....	12
4.4 Resultaten analyse.....	15
4.5 Vergelijking berekende schade met literatuurstudie.....	15
4.6 Analyse slachtoffers op basis van bouwkundige schade.....	17
5 Conclusie.....	18
5.1 Aardbeving van 3,9 op de schaal van Richter:.....	19
5.2 Aardbeving van 4,8 op de schaal van Richter:.....	19
5.3 Aardbeving van 5,3 op de schaal van Richter:.....	19
6 Invloed locatie epicentrum.....	20
Bijlagen	
A Probabilistische analyse gebouwtypen.....	(57 pagina's)
B WOZ waarden gemeente Groningen.....	(13 pagina's)
C Kansverdeling schade aardbevingen.....	(24 pagina's)

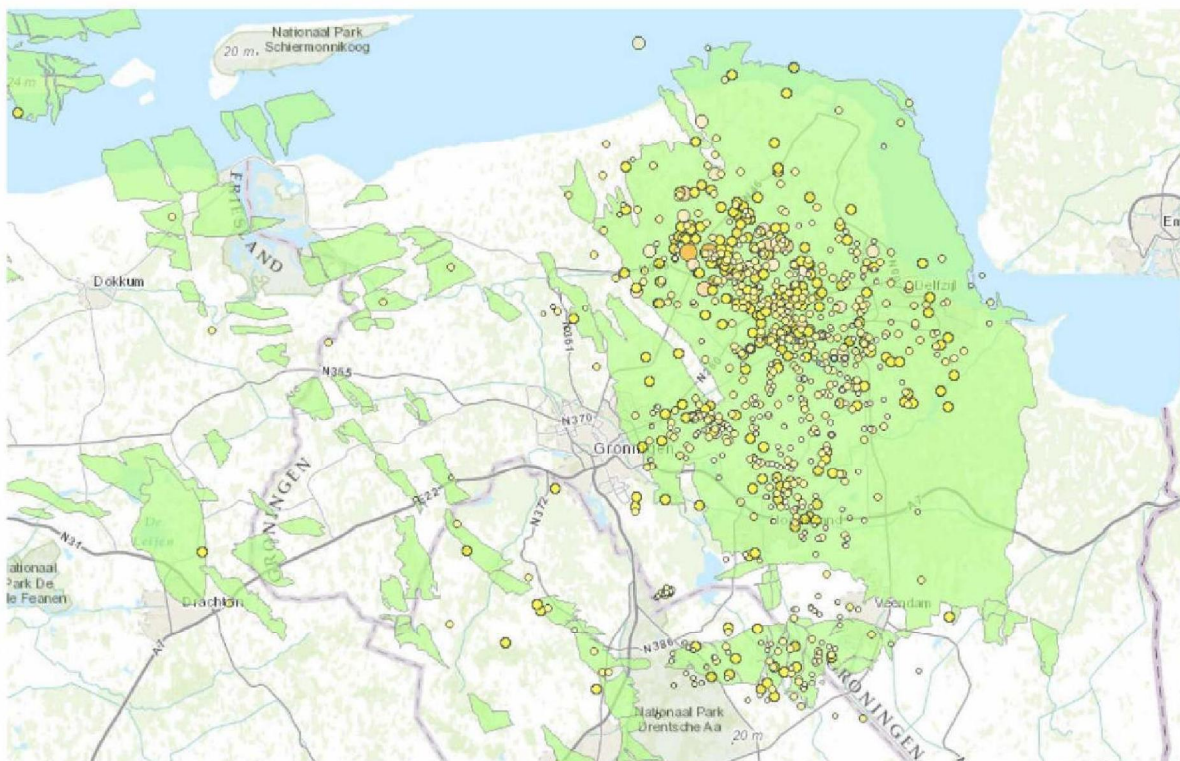
1 Inleiding

1.1 Beschrijving van het project

De gemeente Groningen heeft Royal HaskoningDHV gevraagd een quickscan uit te voeren wat de verwachte impact is voor de gemeente Groningen, wanneer ter hoogte van Harkstede aardbevingen met verschillende magnitudes optreden. Het gaat om een fictieve situatie, bedoeld om het effect van een denkbeeldige zware aardbeving op de stad Groningen te onderzoeken. In deze fictieve situatie wordt aangenomen dat het epicentrum van een aardbeving zich dichterbij de stad Groningen bevindt dan in de verwachtingen van het KNMI en de NAM.

De Rijksoverheid heeft in 2013 laten onderzoeken wat de schade is door aardbevingen. En welke mogelijkheden zijn er om het aantal en de sterkte van de aardbevingen te verkleinen. Ook is onderzocht wat de gevolgen zijn van minder gaswinning en wat de ontwikkelingen zijn op de woningmarkt rond het Groningenveld.

Op basis van deze onderzoeken en verschillende adviezen van onder meer Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) heeft het kabinet een besluit genomen over de gaswinning in Groningen. Door de Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM) is vervolgens op 29 november 2013 een verzoek van wijziging winningsplan ingediend [1] bij het ministerie van Economische Zaken (EZ).



Figuur 1.1 – Overzicht gasvelden en aardbevingen in de regio [bron: NAM platform gaswinning en aardbevingen]

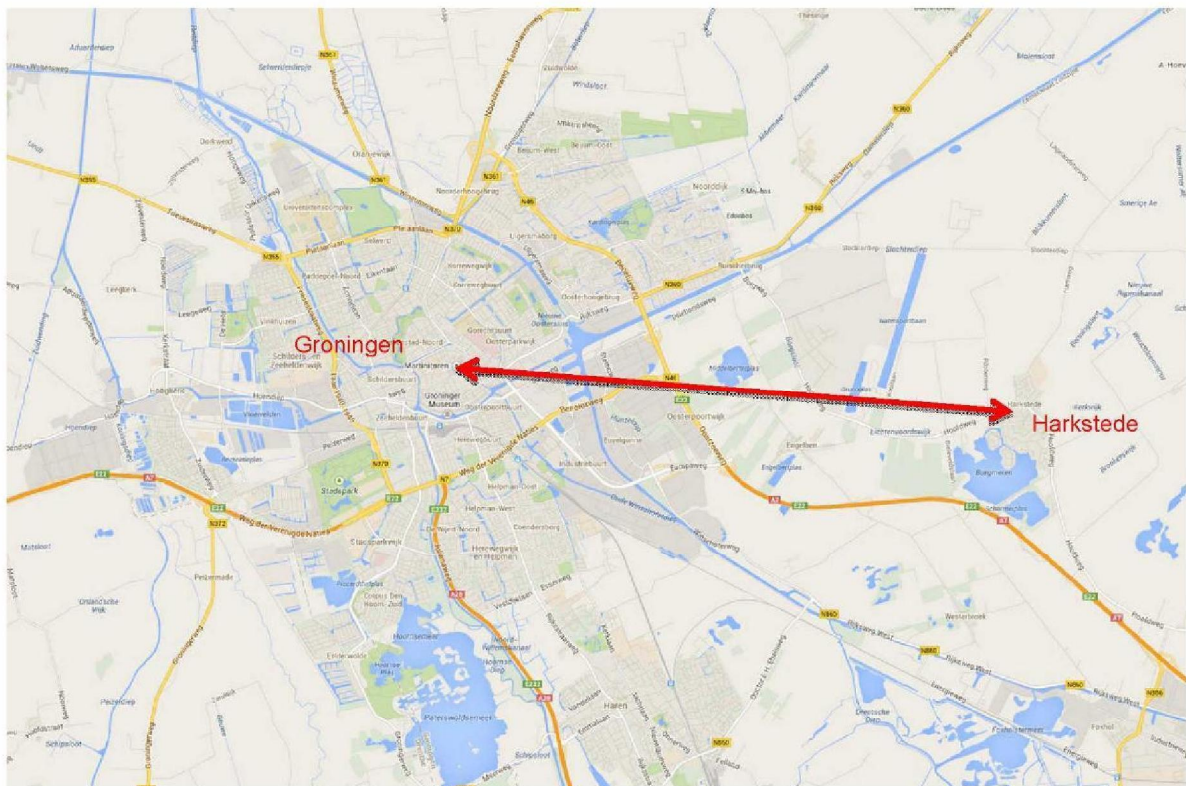
Het *Technical Addendum to the Winningsplan Groningen 2013* [2] omvat een technische analyse van bodemdaling, geïnduceerde aardbevingen en aardbevings gevaar in het Groninger gasveld, gegevens hierin zijn in dit rapport als uitgangspunt aangehouden.

1.2 Aardbevings scenario's

In de opdracht welke verstrekt is aan Royal HaskoningDHV wordt gevraagd uit te gaan van drie scenario's, welke gebaseerd zijn op het Technical Addendum to the Winningsplan Groningen 2013, periode 2013-2023. Deze zijn weergegeven in onderstaand overzicht:

	Kracht [Schaal van Richter]	Maximum PGA [g]
P ₅₀	3,9	0,06
P ₁₀	4,8	0,33
P ₂	5,3	0,67

Deze waarden behoren bij overschrijdingskansen van 50%, 10% en 2% in tien jaar. Hierbij is rekening gehouden met onzekerheden in de "attenuation" modellen en de voorspelbaarheid van geïnduceerde bevingen in relatie tot de compactie van het reservoir gesteente die afhankelijk is van de gasproductie. De waarden voor de kracht en de versnelling zijn gebaseerd op een probabilistische analyse waarbij onderscheid is gemaakt naar de relatieve bijdrage van vier verschillende seismische zones. Er is dus niet sprake van één epicentrum waarvoor alle combinaties van kans, kracht en versnelling gelden. Desondanks worden de verschillende scenario's betrokken op fictieve aardbevingen welke een epicentrum ter plaatse van Harkstede hebben. De afstand van Groningen centrum naar Harkstede is ca. 8,9 km.



Figuur 1.2 – Groningen en Harkstede [bron: Google maps]

1.3 Leeswijzer

Het inhoudelijke deel van het rapport is opgedeeld in een kwalitatieve en een kwantitatieve analyse. Deze zijn respectievelijk in hoofdstuk 3 en 4 opgenomen. Hoofdstuk 1 bevat de inleiding, vraagstelling, toegepaste normen en gegevens. In hoofdstuk 2 zijn enkele gegevens opgenomen van de stad Groningen, waarmee in de opvolgende hoofdstukken analyses zijn uitgevoerd. Het rapport wordt afgesloten met hoofdstuk 5, conclusies en aanbevelingen.

1.4 Bronnen

- [1] Formulier aanvraag wijziging winningsplan bij ministerie van Economische Zaken, NAM, 29.10.2013
- [2] Technical Addendum to the Winningsplan Groningen 2013, NAM, d.d. nov 2013
- [3] Handreiking voor het uitvoeren van studies naar het effect van aardbevingen, TNO en Deltares, doc 1209036-000, d.d. feb 2014
- [4] Structural upgrading study, Groningen 2013, ARUP, doc REP/229746/SU003, d.d. 29.11.2013
- [5] Bouwbesluit 2012, Staatsblad 416, d.d. 01.04.2012

1.5 Normen

In dit rapport is gebruik gemaakt van de volgende constructieve voorschriften:

NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2011	Eurocode: Grondslagen voor het constructief ontwerp
NEN-EN 1990+A1+A1/C2/NB:2011	Nationale bijlage bij Eurocode: Grondslagen voor het constructief ontwerp
NEN-EN 1991-1-1+C1:2011	Eurocode 1: Belastingen op constructies – Deel 1-1: Algemene belastingen – Volumieke gewichten, eigen gewicht en opgelegde belastingen voor gebouwen
NEN-EN 1991-1-1+C1/NB:2011	Nationale bijlage bij Eurocode 1: Belastingen op constructies – Deel 1-1: Algemene belastingen – Volumieke gewichten, eigen gewicht en opgelegde belastingen voor gebouwen
NEN-EN 1991-1-4 +A1+C2:2011	Eurocode 1: Belastingen op constructies – Deel 1-4: Algemene belastingen – Windbelasting
NEN-EN 1991-1-4+A1+C2/NB:2011	Nationale bijlage bij Eurocode 1: Belastingen op constructies – Deel 1-4: Algemene belastingen – Windbelasting
NEN-EN 1992-1-1+C2:2011	Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies – Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen
NEN-EN 1992-1-1+C2/NB:2011	Nationale bijlage bij Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies – Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen
NEN-EN 1993-1-1+C2:2011	Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies – Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen
NEN-EN 1993-1-1+C2/NB:2011	Nationale bijlage bij Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies – Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen
NEN-EN 1993-1-8+C2:2011	Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 1-8: Ontwerp en berekening van verbindingen
NEN-EN 1993-1-8+C2/NB:2011	Nationale bijlage bij Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 1-8: Ontwerp en berekening van verbindingen
NEN-EN 1998-1+A1:2013	Eurocode 8: Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies - Deel 1: Algemene regels, seismische belastingen en regels voor gebouwen
NEN-EN 1998-2:2006	Eurocode 8: Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies - Deel 2: Bruggen
NEN-EN 1998-3:2005	Eurocode 8: Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies - Deel 3: Beoordeling en vernieuwing van gebouwen
NEN-EN 1998-4:2007	Eurocode 8 - Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies - Deel 4: Silo's, opslagtanks en pijpleidingen
NEN-EN 1998-5:2005	Eurocode 8 - Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies - Deel 5: Funderingen, grondkerende constructies en geotechnische aspecten
NEN-EN 1998-6:2005	Eurocode 8: Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies - Deel 6: Torens, masten en schoorstenen

2 Gegevens stad Groningen

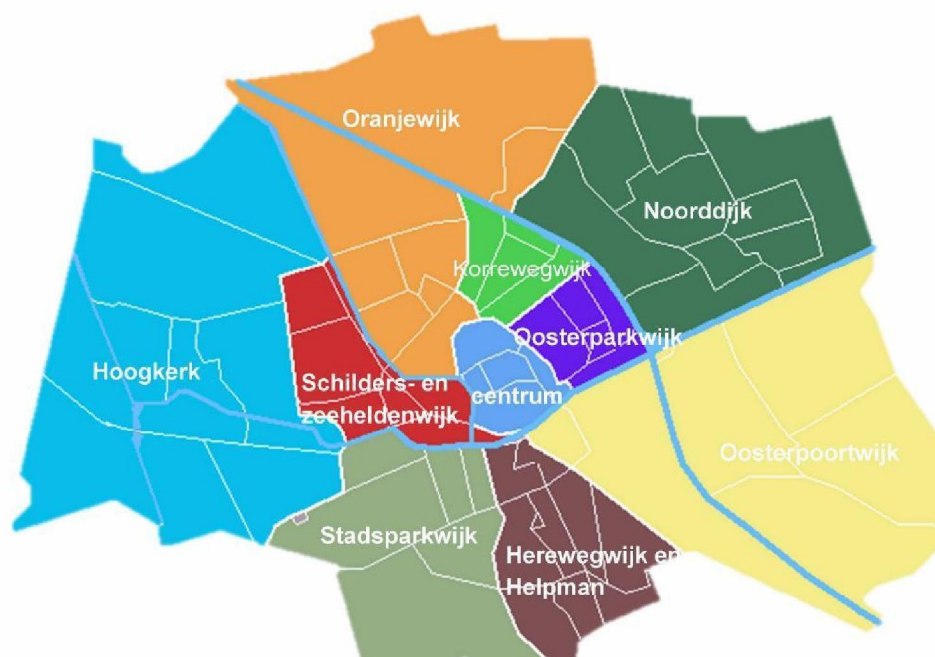
2.1 Indeling wijken van Groningen

Voor de beschouwingen in dit rapport wordt de volgende indeling van de gemeente Groningen gehanteerd, welke door het Centraal Bureau voor de Statistiek is vastgelegd. De gegevens in dit hoofdstuk zijn ook ontleend aan het CBS, en hebben betrekking op de periode 2012. De gemeente Groningen is opgedeeld in 10 wijken:

Tabel 2.1 – Inwoners en oppervlakte van Groningen per wijk

Wijk 00 Binnenstad	17.645 inwoners	171 ha
Wijk 01 Schilders- en Zeeheldenwijk	24.305 inwoners	368 ha
Wijk 02 Oranjewijk	24.005 inwoners	1354 ha
Wijk 03 Korrewegwijk	17.275 inwoners	186 ha
Wijk 04 Oosterparkwijk	11.590 inwoners	189 ha
Wijk 05 Oosterpoortwijk	9.260 inwoners	1765 ha
Wijk 06 Herewegwijk en Helpman	24.520 inwoners	507 ha
Wijk 07 Stadsparkwijk	15.915 inwoners	781 ha
Wijk 08 Hoogkerk	15.750 inwoners	1928 ha
Wijk 09 Noorddijk	32.860 inwoners	1127 ha
Totaal	193.125 inwoners	8375 ha

(2.300 inwoners per km²)



Figuur 2.1 – Indeling van gemeente Groningen in wijken [bron: Wikipedia]

Onderstaande tabel geeft de afstand weer van het centrum van Harkstede naar het hart van de bebouwde gebieden van de verschillende wijken.

Tabel 2.2 – Afstand wijken – Harkstede

	Afstand [km]
Wijk 00 Binnenstad	8,8
Wijk 01 Schilders- en Zeeheldenwijk	9,9
Wijk 02 Oranjewijk	10,7
Wijk 03 Korrewegwijk	9,0
Wijk 04 Oosterparkwijk	8,1
Wijk 05 Oosterpoortwijk	6,3
Wijk 06 Herewegwijk en Helpman	8,3
Wijk 07 Stadsparkwijk	9,9
Wijk 08 Hoogkerk	13,3
Wijk 09 Noorddijk	6,1

2.2 Type bebouwing

In onderstaande tabel zijn de gegevens ten aanzien van de woningen opgenomen.

Tabel 2.3 – Gegevens woningen [bron: Centraal bureau voor de statistiek, maart 2014]

	Aantal woningen	Percentage gestapelde bouw [%]	Percentage leegstand [%]	Percentage woningen van na 2000 [%]	Percentage woningen van voor 2000 [%]
Wijk 00 Binnenstad	6.970	66	8	14	86
Wijk 01 Schilders- en Zeeheldenwijk	9.780	43	4	13	87
Wijk 02 Oranjewijk	11.360	55	4	8	92
Wijk 03 Korrewegwijk	8.205	37	5	12	88
Wijk 04 Oosterparkwijk	6.145	38	3	13	87
Wijk 05 Oosterpoortwijk	4.115	42	4	26	74
Wijk 06 Herewegwijk en Helpman	11.790	60	3	8	92
Wijk 07 Stadsparkwijk	7.555	55	4	18	82
Wijk 08 Hoogkerk	6.060	1	2	36	64
Wijk 09 Noorddijk	14.405	20	2	6	94
Totaal	86.385	42	4	13	87

*Definitie gestapelde bouw: woongebouwen die uit meer dan één bouwlaag bestaan en bestemd zijn voor bewoning door meer dan één huishouden

2.3 Waarde bebouwing

In bijlage B is een overzicht gegeven van de economische waarde van de bebouwing in Groningen. Hiervoor zijn de WOZ-waarden van de bebouwing per wijk gesommeerd. In deze gegevens zijn wel woningen, kantoren, voorzieningen e.d. opgenomen, maar niet constructies zoals infrastructuurlele objecten, kademuren, e.d. Deze laatste zijn dan ook buiten de kwantitatieve analyse gehouden.

De WOZ waarden zijn gebaseerd op type woningen, maar geeft een incompleet beeld van de hoofddragconstructie, materialisatie en afmetingen. Echter voor deze Quicksan zijn deze gegevens afdoende.

3 Kwalitatieve analyse

Wereldwijd treden jaarlijks vele aardbevingen op en er is inmiddels een gevestigde praktijk hoe deze te registreren, voorspellen en daarop te ontwerpen. Het betreft dan vooral zogenaamde tektonische aardbevingen, veroorzaakt door het langs elkaar schuren van gesteentelagen diep onder de grond op breuklijnen. Daarnaast kunnen aardbevingen ook veroorzaakt worden door menselijk handelen, zoals geïnduceerde aardbevingen door gaswinning in de ondergrond. Een belangrijk verschil tussen tektonische en geïnduceerde aardbevingen zit in de duur van de beving: een tektonische aardbeving duurt in de regel enkele minuten, terwijl de geïnduceerde aardbevingen in de provincie Groningen slechts enkele seconden duren. De regelgeving voor het aardbevingsbestendig ontwerp van gebouwen is in Europa vastgelegd in EN 1998. Cruciaal daarbij is de Nationale Bijlage, waarin een zoneringskaart van aan te houden trillingssterktes moet zijn aangegeven voor het betreffende land. Deze Nationale Bijlage bij EN 1998 is in Nederland niet voorhanden.

Hoewel de oorzaak van de aardbeving verschillend kan zijn, komt er in alle gevallen een bepaalde hoeveelheid mechanische energie vrij vanuit de diepe ondergrond die zich aan het oppervlak manifesteert als horizontale en verticale trillingen. Een bodemopbouw bestaande uit slappe grondlagen zal bij dezelfde energievrijgave meer in beweging komen dan een rotsachtige grondopbouw. De meest bekende maat voor de hoeveelheid energie die vrijkomt bij een aardbeving, is de Richterschaal. Dit is een logaritmische schaal en bijgevolg zijn de effecten van zwaardere aardbevingen vele malen groter dan de onderlinge verhouding van de magnitudes op de schaal van Richter. Een verschil van 1 op de schaal van Richter betekent 10 maal zo grote verplaatsingen op maaiveld bij een aardbeving, een verschil van 2 op de schaal van Richter 100 maal zo grote verplaatsingen, etc. De trillingen op maaiveld worden doorgaans geregistreerd als versnellingen en de maximale waarde daarvan, de piekgrondversnelling (PGA), is uitgangspunt voor het ontwerp van gebouwen of de vaststelling van de mogelijke schade aan een constructie. EN 1998-1 typeert gebieden met een PGA van $0.1 \cdot g$ (met g als de zwaartekrachtversnelling) als gebieden met lage seismische activiteit. In zeer zware aardbevingsgebieden komen PGA's van $0.5 \cdot g$ voor.

Bij het ondergaan van een aardbevingsbelasting door een gebouw, spelen de volgende eigenschappen een sleutelrol:

- de massa en de verdeling daarvan over de hoogte
- de verhouding tussen stijfheid en massa, uitgedrukt door de (laagste) eigenfrequentie of (hoogste) eigenperiode
- de aanwezige demping door de gebruikte materialen
- de mate waarin de toegevoegde energie veilig kan worden opgenomen in specifieke gedeeltes van het gebouw
- de geometrie en algehele grootte
- de verwekingsgevoeligheid van de ondergrond

Hoe meer massa in een gebouw, des te groter zijn de krachten op het gebouw tijdens een aardbeving. Massa op grote hoogte werkt daarbij ongunstig. In een bepaald frequentiegebied worden constructies belast door 2,5 maal de waarde van de PGA of meer, terwijl voor zeer lage eigenfrequenties de seismische belasting zeer gering is. Als vuistregel geldt dat stijvere constructies meer seismische belasting te verwerken krijgen, maar vaak ook een grotere sterkte hebben, zodat per saldo de situatie bij een aardbeving niet slechter hoeft te zijn dan bij slappe constructies. Voor gebouwen die trillingen moeizaam uitschakelen, zoals staalconstructies, kan de seismische belasting 30% hoger uitvallen dan voor constructies met een standaard-demping.

De aanwezigheid van energie-dissiperende scharnieren op de juiste plaatsen zorgt voor een belangrijke vergroting van de veiligheid van het gebouw. Bij relatief korte aardbevingen zoals in de provincie Groningen, zal de effectiviteit van dergelijke energiedissipatie beperkt zijn. Typisch Nederlandse architectuur met ongelijkmatige geometrieën en overstekken op grote hoogte is extra kwetsbaar bij een aardbeving. Bij grote gebouwen kan de wisselwerking tussen ondergrond en bovenliggende constructie zodanig zijn, dat de algehele seismische respons verandert, meestal in gunstige zin. Bij een tektonische aardbeving kunnen onder bepaalde voorwaarden grote verschuivingen van de zanderige, verzadigde grond en bovenliggende constructie ontstaan.

4 Kwantitatieve analyse

4.1 Opzet kwantitatieve analyse

De kwantitatieve analyse is indicatief van aard en is gebaseerd op zowel deterministische als probabilistische beginselen. Om in het beschikbare tijdsbestek van deze quickscan kwantitatieve resultaten te kunnen presenteren, is een analyse uitgevoerd op basis van een aantal aannamen. In dit hoofdstuk wordt de opzet van deze berekening beschreven. In bijlage A zijn de berekeningen hiervan opgenomen. In bijlage C zijn de resultaten opgenomen op basis van de waarde gegevens, welke in bijlage B zijn opgenomen.

Op basis van het geldende bouwbesluit [5] in Nederland, kan er vanuit worden gegaan dat gebouwen een minimale betrouwbaarheid hebben, welke in de normen zoals o.a. genoemd in paragraaf 1.5 zijn vastgelegd. In Nederland wordt een gebouw veelal getoetst op enkel een horizontale belasting uit wind. Aardbevingen geven zowel horizontaal als verticaal belastingen op een constructie (versnelling maal meewerkende massa). De verticale belastingen op gebouwen uit permanente en veranderlijke belastingen zijn in het algemeen veel groter dan de horizontale belastingen. We gaan er daarom vanuit dat de gebouwen in Groningen voldoende sterk zijn om de verticale belastingen uit aardbevingen te weerstaan. In deze quickscan wordt een vergelijking op basis van de horizontale belastingen gemaakt.

Er zijn enkele typen gebouwen bepaald, welke een doorsnede van alle gebouwen in Groningen wordt geacht te representeren. De berekeningen zijn uitgevoerd op basis van de volgende typen:

Tabel 4.1 – Gebouwtypen - woningen

Type 01	Rijtjeswoning 2 verdiepingen met zolder, 5 woningen, betonnen hoofddraagconstructie
Type 02	Twee onder een kap, 2 verdiepingen met zolder, betonnen hoofddraagconstructie
Type 03	Gestapelde bouw, rij van 5 woningen, 4 verdiepingen met plat dak, betonnen hoofddraagconstructie
Type 04	Gestapelde bouw, vierkante plattegrond, 4 verd. met plat dak, betonnen hoofddraagconstructie
Type 05	Hoogbouw, rechthoekige plattegrond, 8 verdiepingen, betonnen hoofddraagconstructie
Type 06	Hoogbouw, vierkante plattegrond, 8 verdiepingen, betonnen hoofddraagconstructie
Type 07	Vrijstaande woning, 1 verdieping met zolder, betonnen hoofddraagconstructie

Tabel 4.2 – Gebouwtypen – niet-woningen

Type 08	Kantoor, 3 verdiepingen, 20m x 80m, betonnen hoofddraagconstructie
Type 09	Kantoor, 6 verdiepingen, 20m x 80m, betonnen hoofddraagconstructie
Type 10	Kantoor, 3 verdiepingen, 20m x 80m, stalen hoofddraagconstructie
Type 11	Kantoor, 6 verdiepingen, 20m x 80m, stalen hoofddraagconstructie
Type 12	Industriëel gebouw, 2 verdiepingen, 20m x 80m, stalen hoofddraagconstructie
Type 13	Industriëel gebouw, grote hal, 1 verdieping, 20m x 80m x 15m, stalen hoofddraagconstructie
Type 14	Monumentaal pand, 4 verdiepingen, 30m x 30m, metselwerk hoofddraagconstructie

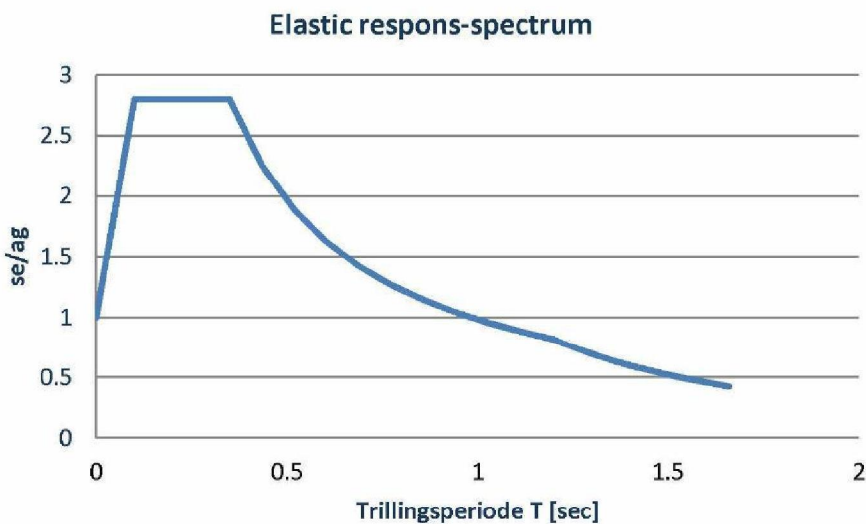
Voor bovenstaande type woningen zijn de diverse factoren welke invloed hebben op het gedrag van de gebouwen bij een aardbeving geschat. Deze factoren betreffen de meewerkende massa, eigenfrequenties van het gebouw, bijdragen van bouwkundige elementen, ontwerp-overcapaciteit, gedrag onder aardbevingsbelastingen en oriëntatie van het gebouw. De gebruikte waarden en de variatie daarin zijn opgenomen in de bijlage. Tevens is rekening gehouden met het veiligheidsniveau waarop het gebouw ontworpen is en de (verticale) belastingen die voortkomen uit het gebruik.

De bepaling van de aardbevingsbelasting op de gebouwtypen is volgens de *lateral force* methode. Dit is de eenvoudigste en grofste methode. De hiermee verkregen resultaten dienen navenant geïnterpreteerd te worden. Bovendien zijn mogelijke verweking (*liquefaction*) van de ondergrond door een aardbeving en daarmee samenhangende zettingen en verlies aan draagkracht niet beschouwd.

4.2 Horizontaal elastisch response spectrum

Omdat de nationale bijlage van Eurocode 8 (NEN-EN 1998-1) nog ontbreekt, is in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken een handreiking geschreven, welke als toevoeging op deze Eurocode 8 [3] gelezen kan worden. Dit rapport is geschreven voor toetsing van constructies in Delfzijl en het Eemsmond gebied. In deze rapportage zijn de gegevens hierin ook op de aardbevingen in stad Groningen toegepast.

Hierin is voor de horizontale componenten van de seismische belasting het onderstaande elastische respons-spectrum gedefinieerd voor de geïnduceerde aardbevingen.



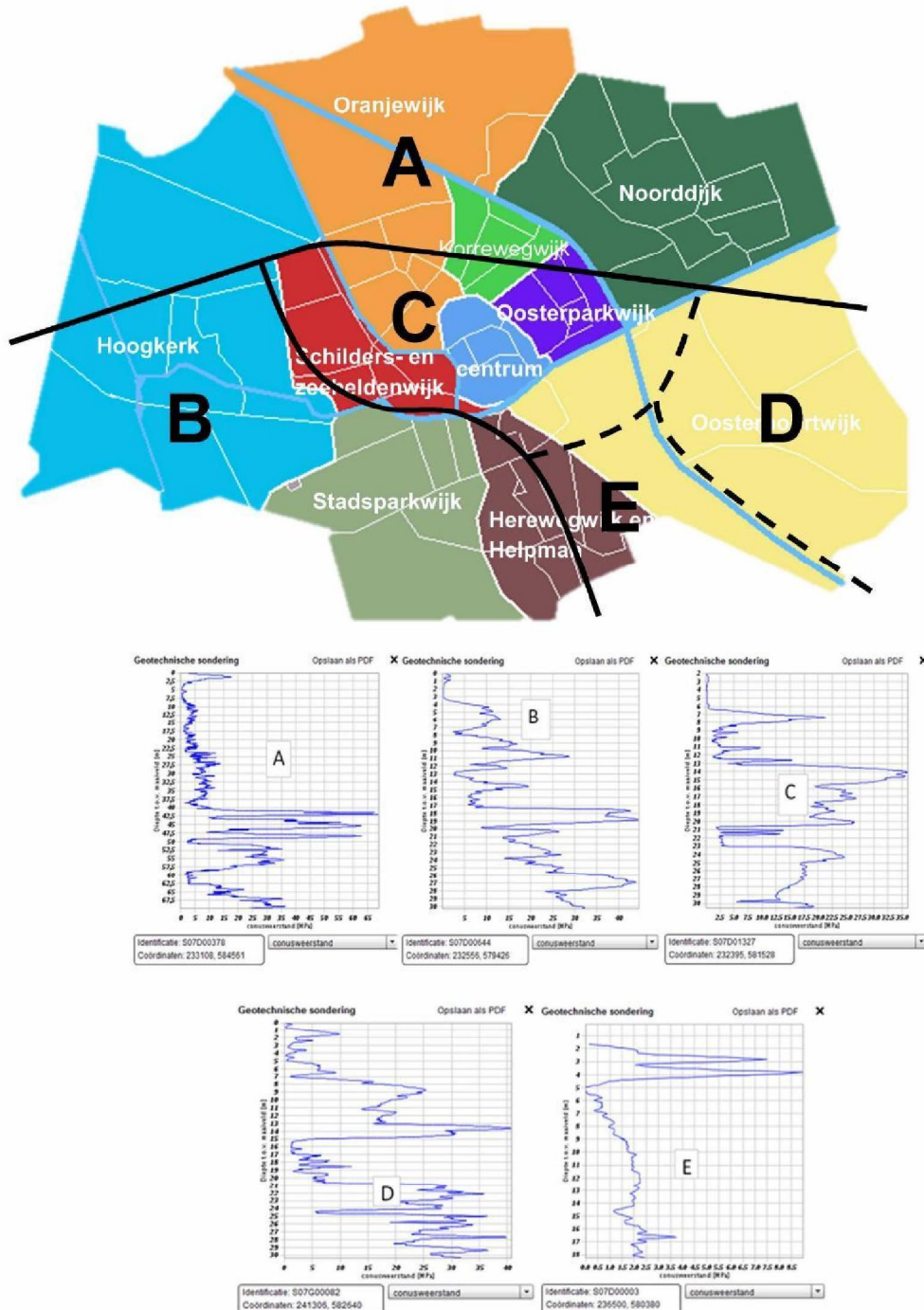
Figuur 4.1 – Elastisch response spectrum, bij een viskeuze demping van 5%.

Bodemfactor	$S = 1,0$
$T_B = 0,10$ s	Ondergrens van de periodes waarvoor de spectrale versnelling constant is
$T_C = 0,35$ s	Bovengrens van de periodes waarvoor de spectrale versnelling constant is
$T_D = 1,20$ s	Periode die het begin aangeeft van de constante verplaatsingsrespons van het spectrum

Voor de verschillende bouwtypen is de eigenfrequentie ingeschat en is de meewerkende massa bepaald. Hiermee kan de horizontale belasting bepaald worden. Aanname bij de berekening is dat het aangrijpingspunt van de horizontale belasting uit aardbevingen zich ongeveer op gelijke hoogte bevindt als het aangrijpingspunt van de windbelasting.

4.3 Afstand tot epicentrum

De aardbevingsanalyse gaat uit van een epicentrum in Harkstede, aan de Oostzijde van de stad Groningen. De gemiddelde afstand tussen Harkstede en Groningen is ca. 8,9 km. Bij het plaatsvinden van een aardbeving met Harkstede als epicentrum, zal de grondversnelling (PGA) over deze afstand kleiner worden, afhankelijk van welke seismische zone(s) de statistisch gezien de grootste relatieve bijdrage hebben bij de beschouwde kracht en versnelling. Om die reden kan de uiteindelijke impact op de gebouwen in Groningen gereduceerd worden. Deze reductie verschilt per wijk, vanwege de significante verschillen in afstand tot Harkstede én per magnitude.



Figuur 4.2 – Indicatieve grondprofiel zones.

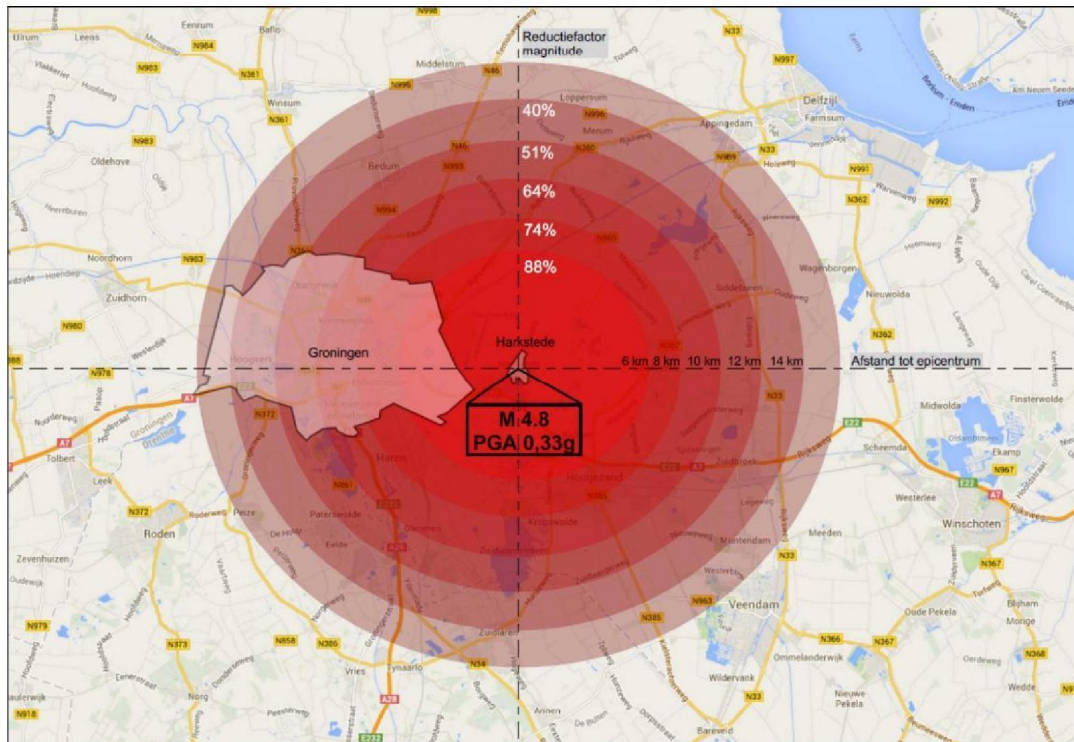
De reductie van de versnelling over een bepaalde afstand is lastig te voorspellen vanwege het complexe gedrag van een aardbeving. Een benadering van de PGA's op maaiveld voor de verschillende afstanden vanaf Harkstede als fictieve bron voor een gemiddeld profiel zijn hieronder weergegeven. In de drie kolommen staan de PGA's gegeven voor de referentie Magnitudes en PGA's.

Tabel 4.1 – Reducties op basis van afstand tot Harkstede

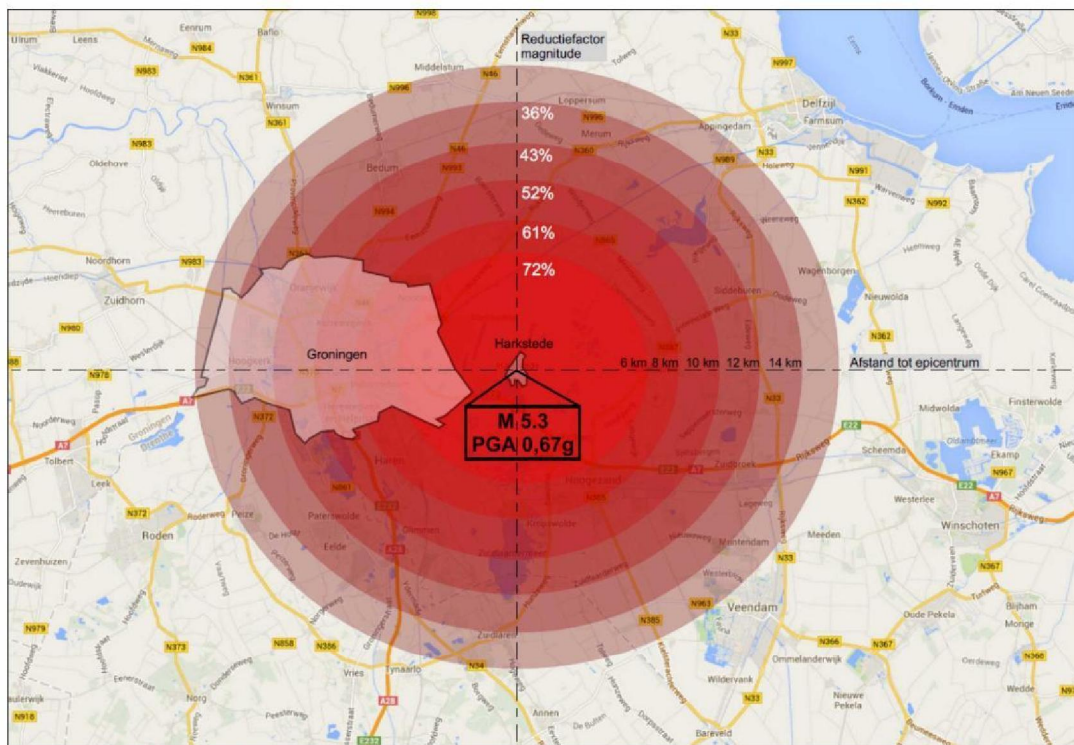
Wijk binnen Stad Groningen	Afstand [km]	Kans voor 50 jaar				
		P50		P10		P2
		Referentie M [-]				
		3,9	4,8	5,3		
Referentie PGA_maaiveld [g]						
0,06 g	0,33 g	0,67 g				
PGA_maaiveld [g]						
Wijk 00 Binnenstad	8,8	0,11 g	0,23 g	70%	0,38 g	57%
Wijk 01 Schilders- en Zeeheldenwijk	9,9	0,09 g	0,20 g	61%	0,35 g	52%
Wijk 02 Oranjewijk	10,7	0,09 g	0,19 g	58%	0,32 g	48%
Wijk 03 Korrewegwijk	9	0,10 g	0,22 g	67%	0,38 g	57%
Wijk 04 Oosterparkwijk	8,1	0,12 g	0,24 g	73%	0,41 g	61%
Wijk 05 Oosterpoortwijk	6,3	0,14 g	0,29 g	88%	0,48 g	72%
Wijk 06 Herewegwijk en Helpman	8,3	0,11 g	0,24 g	73%	0,40 g	60%
Wijk 07 Stadsparkwijk	9,9	0,09 g	0,20 g	61%	0,35 g	52%
Wijk 08 Hoogkerk	13,3	0,06 g	0,15 g	45%	0,26 g	39%
Wijk 09 Noorddijk	6,1	0,14 g	0,29 g	88%	0,48 g	72%

Voor de lichte aardbevingen (PGA = 3,9) is er een significante discrepantie tussen onze eigen PGA analyse en de opgegeven PGA van 0,06g. Door de strijdigheid tussen de uitgangspunten en onze geotechnische berekeningen is grote onzekerheid ontstaan over de kwantitatieve berekening voor de aardbeving van 0,06g. In de berekening is hiervoor een middenweg aangenomen. Omdat wij de conclusies niet alleen op de berekeningen hebben gebaseerd maar tevens op het literatuuronderzoek achten wij deze toch voldoende betrouwbaar voor deze QuickScan. Wij bevelen echter wel aan om nader onderzoek te doen om de onzekerheid weg te nemen. Voor de lichte aardbevingen wordt derhalve geen reductiefactor in rekening genomen.

Voor de zwaardere aardbevingen geeft de tabel weldegelijk reducties aan, waarbij de reductiefactor groter wordt, naarmate de magnitude ook groter is. In de volgende figuren zijn de reducties per PGA geografisch weergegeven.



Figuur 4.3 – Reductiefactor op basis van afstand tot epicentrum voor Magnitude 4,8 PGA 0,33g [bron: Google maps]



Figuur 4.4 – Reductiefactor op basis van afstand tot epicentrum voor Magnitude 5,3 PGA 0,67g [bron: Google maps]

4.4 Resultaten analyse

Op basis van de WOZ waarden van de gebouwen in Groningen is een schatting gemaakt van de schade aan gebouwen. Hiervoor is per wijk bepaald wat de verdeling is van de verschillende bouwtypen. Per bouwtype wordt dan de schade bepaald als som van de berekende waarden voor kans op lichte schade en instorten, waarbij lichte schade is gelijk gesteld aan 10% van de WOZ-waarde en instorten gelijk aan 100% van de WOZ-waarde. Met instorten wordt bedoeld het bezwijken van de hoofdconstructie.

4.5 Vergelijking berekende schade met literatuurstudie

De voorgaande berekening is uitgegaan van de analytische beschouwingen van de weerstand van de bebouwing. De resultaten van deze analyse worden naast gegevens van aardbevingen uit het verleden geplaatst, om een beter inzicht te krijgen in de spreiding van de gebruikte factoren. De volgende overwegingen zijn verwerkt in de toetsing om tot de conclusie te komen.

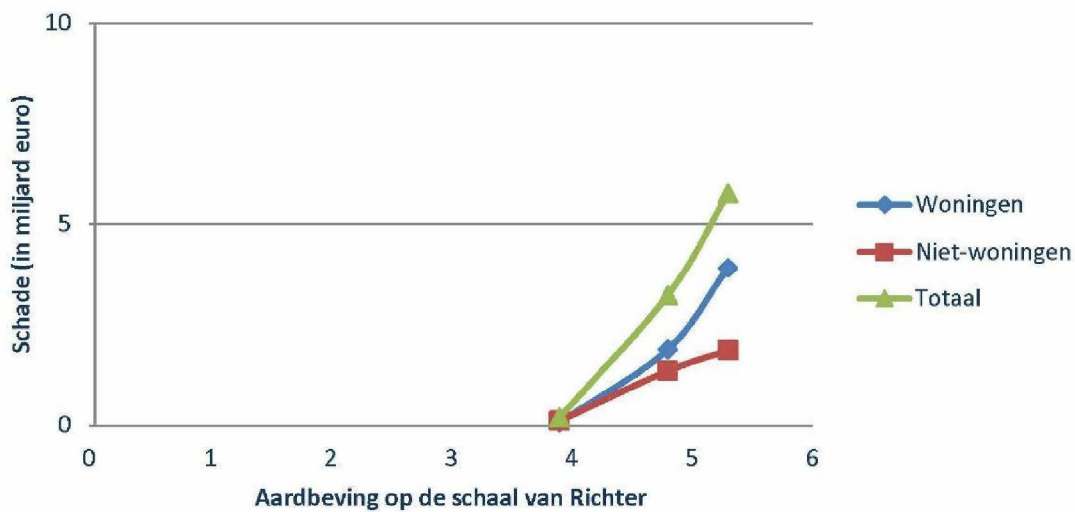
In Nederland is nog geen ervaring met een grote aardbeving waarmee in de berekening gerekend wordt. De maximaal gemeten PGA in Groningen is tot nu toe 0,08 g aan de oppervlakte. De zwaarste geregistreerde beving in Nederland is de aardbeving in Roermond in 1992, welke een PGA van 0,10g à 0,12g aan de oppervlakte kende. Bij die aardbeving is geen enkele serieuze schade aan rijtjeshuizen gesignaleerd. Deze vergelijking sluit aan bij de conclusie van de voorgaande analyse dat de schade bij een beving met een PGA van 0,06g aan de oppervlakte beperkt is.

Rijties woningen zijn zwak in langsrichting, maar ook slap. Het feit dat de penanten klein zijn, kan dan zelfs een voordeel zijn. Bij buitenlands onderzoek is een nagebouwd metselwerk huis (niet naar Nederlands model) op een rocking table ingestort bij ca 0,2 g. De rekentechnische aardbevingssterkte van een rijtjeshuis hangt nogal af van de rekenmethode. Door Arup is een rapport [4] geschreven (het betreft een globale analyse), waarbij een rijtieswoning volgens de berekening instort bij 0,05g bij lineair statische berekening, 0,1g bij een niet-lineaire statisch berekening en 0,3g bij een niet-lineaire dynamische berekening, instort. Dit is in lijn met de resultaten uit de in dit rapport beschreven analyse.

Bij gestapelde bouw is het zogenaamde rocking mechanisme van belang waarbij de draagmuren in zijn geheel een beetje roteren en op de uiterste vezels gaan staan en de vloeren als het ware een beetje opduwen, en vervolgens terugvallen naar de evenwichtsstand.

Bij een aardbeving van 5 op de schaal van Richter in provincie Groningen wordt verwacht dat er 50 woningen instorten. De gevolgen van een aardbeving bij de gemeente Groningen zijn groter door een aantal factoren. De bevolkingsdichtheid in de gemeente Groningen (2.300 inwoners per km²) is een factor 26 groter dan een gemeente in de provincie (bv. Loppersum 90 inwoners per km²). Als we dit vergelijken met de geprojecteerde beving in Harkstede omvat de gemeente Groningen ca. een kwart segment van de straal om het epicentrum, de overige segmenten hebben een bevolkingsdichtheid die gelijk genomen wordt aan Loppersum. Hierdoor zal een beving in Harkstede een factor van (ca. 26 x 25% + 1 x 75% =) 7,3 meer schade en letsel opleveren. De bebouwing in de gemeente Groningen is tevens gevoeliger voor aardbevingen, omdat er een hogere bebouwingsdichtheid en hogere bebouwing is dan in een gemeente in de provincie.

Door deze vergelijking met de bekende gegevens en verwachtingen kan een betere schatting worden gemaakt van de schade. Dit is in onderstaande figuur weergegeven.



Figuur 4.5 – Resultaten verwachte schade in gemeente Groningen

4.6 Analyse slachtoffers op basis van bouwkundige schade

Anders dan bij andere natuurrampen is het aantal gewonden en doden relatief groot ten opzichte van de economische schade. Een voorbeeld is een aardbeving van 5,1 Richter in Spanje, welke 9 doden, 300 gewonden en 1000 beschadigde huizen veroorzaakte. Bevingen in Groningen zijn relatief ondiep en zullen daardoor meer schade aanrichten, vergeleken met bevingen elders.

De geconditioneerde kans op overlijden bij instorten van een huis door een aardbeving kan op 7% worden ingeschat.

Tabel 4.2 – Relaties magnitude, schade en doden[bron: wikipedia]

	Kracht [Richter]	Schatting schade aan gebouwen [milliard euro]	Aantal doden [-]	Verhouding aantal doden per milliard euro schade [-]
2011 Tōhoku aardbeving, Japan	9.0	170.38	10.000	0.017
1995 Great Hanshin aardbeving, Japan	6.9	72.50	6.434	0.011
2008 Sichuan aardbeving, China	8.0	54.38	69.195	0.001
2010 Chili aardbeving, Chili	8.8	18.13	525	0.035
1994 Northridge aardbeving, Verenigde Staten	6.7	14.50	57	0.254
2012 Emilia aardbevings, Italië	6.1	9.57	7	1.367
2011 Christchurch aardbeving, Nieuw-Zeeland	6.3	8.70	182	0.048
1989 Loma Prieta aardbeving, Verenigde Staten	7.0	7.98	63	0.127
1999 aardbeving, Taiwan	7.6	7.25	2.415	0.003
1906 San Francisco aardbeving, Verenigde Staten	7.8	6.89	3.000	0.002

In bovenstaande tabel zijn voor enkele aardbevingen schade en aantal doden weergegeven. Hieruit blijkt dat de verschillen zeer groot zijn.

5 Conclusie

De gebouwen in de stad Groningen zijn niet ontworpen op aardbevingsbelasting. Voor de stabiliteit is ontworpen op de horizontale krachten uit een storm die in veel gevallen aanzienlijk kleiner zijn dan die bij een matige aardbeving.

Bij een aardbevingsbestendig ontwerp van een gebouw zou met de volgende uitgangspunten rekening moeten worden gehouden:

Aardbevingsbestendig ontwerp

Geen gebouwen met langgerekte plattegrond, lengte – breedte verhouding maximaal 1 :4

Geen gebouwen met L-, T- of U-vormige plattegrond (tenzij ontkoppeld)

Plaats de stabiliserende voorzieningen dusdanig dat het rotatiepunt samenvalt met het zwaartepunt

Plaats kolommen recht boven elkaar

Vermijd korte kolommen

Geen grote uitkragingen, maximaal 2 m

Maak stijve vloerschijven

Maak hoofddilataties dusdanig breed dat de gebouwen elkaar bij een aardbeving niet raken

Situatie in Groningen

Rijteswoningen en galerijflats voldoen hier vaak niet aan.

Dit komt in Groningen veelvuldig voor, de hoek wordt juist gebruikt om stabiliseren.

In Groningen zijn de plaatsen afgestemd op de windbelasting, deze komt vaak niet overeen met het zwaartepunt.

Bij overgang van functies zijn er soms overdrachtsconstructies (bv. een balk) toegepast.

Komt voor in prefab. gevelelementen en bij half verdiepte parkeergarages.

Gebouwen met grote vides of houten vloeren voldoen hier vaak niet aan.

De in Nederland gebruikelijke maat van 20 mm is hiervoor onvoldoende.

Wanneer gebouwen op één of meerder punten niet aan deze regels voldoen zullen die tegen minder zware aardbevingen bestand zijn. Daarnaast zijn gebouwen met meerdere woningen vanwege de hoge eisen aan de geluidsisolatie van wanden en vloeren in Nederland relatief zwaar. Dit is ongunstig voor de aardbevingsbestendigheid van die gebouwen. In de stad Groningen zitten in een groot deel van de gebouwen meerdere woningen.

In ieder gebouw zijn, in mindere of meerdere mate, bouwkundige constructies aanwezig zoals gevels, niet dragende wanden, muurafwerking en trappen. Deze verhogen de stabiliteit en kunnen instorting bij een aardbeving voorkomen. Hierbij kan echter wel bouwkundige schade optreden.

Naast dat de constructies sterk genoeg moeten zijn om een aardbeving te weerstaan moeten ze ook robuust zijn gedetailleerd. Wanneer dat niet het geval is kunnen constructieonderdelen, die op zich sterk genoeg zijn, los van elkaar komen met instorting van (een deel) van een gebouw als gevolg. Denk hierbij aan houten balken die ingekast zijn in metselwerk maar daar niet in zijn verankerd of aan prefab. balkonplaten die los op een console liggen. Een deel van de in Nederland gangbare detailleringen is onvoldoende robuust voor aardbevingen.

Als een draagconstructie van een gebouw sterk en robuust genoeg is om een aardbeving te weerstaan kan er nog steeds schade aan het gebouw en gevaar voor personen ontstaan. Bouwkundige elementen en installaties kunnen bezwijken of loskomen doordat deze niet op aardbevingen zijn ontworpen. Onderdelen die slechts een beperkte aardbevingsbestendigheid hebben zijn bijvoorbeeld:

- Dakpannen;
- Gemetselde schoorstenen;
- Gemetselde borstweringen en dakranden;
- Zware gevels of buitenbladen;
- Verlaagde plafonds.

Tot slot kan ook nog gevaar ontstaan door de inrichting van de gebouwen. Hoge zware elementen zouden moeten worden vastgemaakt aan muren om omvallen te voorkomen. Denk hierbij aan dossierkasten in kantoren of boekenkasten in woningen.

Op basis van onze analyses in het kader van deze QuickScan verwachten wij de volgende impact in de gemeente Groningen bij aardbeving van respectievelijk 3,9, 4,8 en 5,3 op de schaal van Richter uitgaande van het epicentrum in Harkstede.

5.1 Aardbeving van 3,9 op de schaal van Richter:

Voor veel gebouwen geldt dat de hoofddraagconstructie sterk genoeg is om de krachten die bij de aardbeving ontstaan op te nemen. Naar schatting zal bij 1/3-deel van de gestapelde woningbouw en een klein deel van de rijtjeswoningen gelden dat de krachten niet volledig door de hoofddraagconstructie kunnen worden opgenomen. De bouwkundige constructies bij deze gebouwen, zoals de niet dragende gevels, zullen naar verwachting voldoende sterk zijn om te voorkomen dat de gebouwen instorten maar bij een deel van deze gebouwen kan hierdoor bouwkundige schade optreden. Deze kan enkele honderden miljoenen euro's bedragen.

Wij verwachten dat de schade aan onderdelen van gebouwen zeer beperkt zal zijn. Het kan niet worden uitgesloten dat er een dakpan losraakt ergens een stuk van een gevel valt. De kans dat er gewonden zullen vallen bij een aardbeving van 3,9 op de schaal van Richter is niet zo groot.

5.2 Aardbeving van 4,8 op de schaal van Richter:

De krachten die ontstaan bij een aardbeving van 4,8 op de schaal van Richter zijn grofweg 5,5 keer zo groot als die bij een aardbeving van 3,9 op de schaal van Richter. Voor de gestapelde woningbouw en rijtjeswoningen geldt dat er dan een reëel gevaar zou zijn dat er gebouwen instorten. Met instorten wordt bedoeld het bezwijken van de hoofddraagconstructie. Dit geldt ook in mindere mate voor twee-onder-een-kapwoningen en in nog mindere mate voor vrijstaande woningen. Wij verwachten dat enkele honderden woningen zouden instorten bij een aardbeving van 4,8 op de schaal van Richter waarbij tientallen fatale slachtoffers en tientallen zwaargewonden zouden kunnen vallen.

De bouwkundige schade bestaat naast de instortingen ook uit een grote hoeveelheid scheuren, verzakkingen en het bezwijken van onderdelen van gebouwen. Hierdoor zou de bouwkundige schade oplopen tot enkele miljarden euro's.

5.3 Aardbeving van 5,3 op de schaal van Richter:

De krachten die ontstaan bij een aardbeving van 5,3 op de schaal van Richter zijn twee keer zo groot als die bij een aardbeving van 4,8 op de schaal van Richter. Voor alle type bebouwing geldt dat er dan een reëel gevaar zou zijn dat er gebouwen instorten. Wij verwachten dat vele honderden gebouwen zouden instorten bij een aardbeving van 5,3 op de schaal van Richter waarbij vele tientallen fatale slachtoffers en vele tientallen zwaargewonden zouden vallen.

Een groot gedeelte van de gebouwen zou bouwkundige schade oplopen. Wij schatten dat de bouwkundige schade vijf miljard euro zal bedragen.

6 Invloed locatie epicentrum

Door de gemeente is een aanvullende vraag gesteld, welke in dit hoofdstuk beantwoord wordt. In het rapport is uitgegaan van een epicentrum bij Harkstede. Wat is de invloed als de beving dichterbij ligt?

Onze schatting is dat wanneer het epicentrum dichterbij de het stadcentrum komt de impact aanzienlijk toeneemt. Wanneer het epicentrum in de binnenstad valt schatten wij dat de impact een factor 6 hoger is dan dat we nu hebben geconcludeerd.

Bijlage A

Probabilistische analyse gebouwtypen

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 01

Blad:

A1 Probabilistische analyse

§A1.1 - Betrouwbaarheidsindex

[NEN-EN 1990, art. B3.2]

In deze berekening wordt gebruik gemaakt van de eerste-orde-betrouwbaarheidsmethoden (FORM), een niveau II probabilistische methode. Dit is de methode c waarvan in de eurocodes gebruik gemaakt wordt.

Voor de weerstand R en het belastingeffect E is de prestatiefunctie g :

$$g = R - E \quad (1.1)$$

Hierbij is de bezwijkgrens $g = R - E = 0$. Voor de stochastische variabelen E en g wordt aangenomen dat deze normaal verdeeld zijn. Voor de stochastische variabele wordt aangenomen dat deze lognormaal verdeeld is. De betrouwbaarheidsindex wordt dan als volgt gedefinieerd:

$$\beta = \mu_g / \sigma_g \quad (1.2)$$

waarbij:

$\beta = 3.8$ is de betrouwbaarheidsindex van dit gebouw

μ_g is de gemiddelde waarde van g en

σ_g is de standaardafwijking.

De kans op falen dat correspondeert met deze betrouwbaarheidsindex kan berekend worden met de cumulatieve dichtheidsfunctie van de normale verdeling.

$$\Phi(x) = \frac{1}{2} [1 + \text{erf}(x/\sqrt{2})] \quad (1.3)$$

$$P_f = 1 - \Phi(x) = 7.23E-05 \quad (1.4)$$

§A1.2 - Belastingeffect E

[NEN-EN 1990, art. C7]

In de berekening wordt de horizontale belasting op het gebouw ten gevolge van wind vergeleken met de horizontale belasting op het gebouw door de horizontale versnellingen ten gevolge van de voorgedefinieerde aardbevingen.

$$\Sigma F_{hor,wind} = 85.8 \text{ kN} \quad \text{Karakteristieke waarde}$$

Over de representatieve waarde wordt in de partiële factoren methode een belastingfactor toegepast

$$\gamma_f = 1.35 [-] \quad \text{Belastingfactor}$$

Hiemee kan de rekenwaarde voor het belastingeffect bepaald worden:

$$E_d = E_{rep} \times \gamma_f = 115.8 \text{ kN} \quad (1.5)$$

§A1.3 - Weerstand R

[NEN-EN 1990, art. C7]

De rekenwaarde van het belastingeffect wordt gelijk gesteld aan de rekenwaarde van de weerstand, het gebouw wordt ontworpen dat het de belasting juist kan weerstaan (volgens de normen).

$$R_d = 115.8 \text{ kN}$$

De weerstand heeft een lognormale verdeling, waarvoor de volgende formule een relatie legt tussen de gemiddelde waarde, standaard deviatie en de rekenwaarde.

$$R_d = \mu_R \exp(-\alpha_R \beta_R V) \quad (1.6)$$

$\beta = 3.8$ is de betrouwbaarheidsindex,

μ_R is de gemiddelde waarde van de weerstand,

α_R is de FORM-gevoeligheidsfactor,

V_R is de variatiecoëfficiënt.

De variatiecoëfficiënt is afhankelijk van het materiaal:

$$V_R = 0.2 [-] \quad \text{Gebaseerd op beton op trek}$$

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 01

Blad:

De gevoeligheidsfactoren zijn gedefinieerd in de eurocodes:

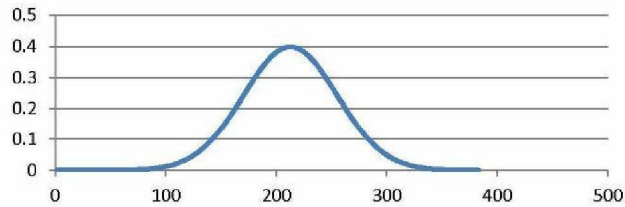
$$\alpha_R = 0.8 [-]$$

De gemiddelde en de standaarddeviatie van de weerstand zijn onbekend, maar kunnen bepaald worden op basis van de voorgaande formule:

$$\exp(\alpha BV - 1.64V) = 0.54 [-]$$

$$\sigma_R = 42.5 \text{ kN}$$

$$\mu_R = 212.7 \text{ kN}$$



§A1.4 - Belastingeffect aardbeving

[NEN-EN 1998]

De meewerkende massa van het gebouw (bij een aardbeving) wordt als volgt geschat:

$$\rho = 380 \text{ kg/m}^3$$

$$V = 2067 \text{ m}^3$$

$$M = 785460 \text{ kg}$$

De berekeningen worden bij het ontwerp in het algemeen lineair elastisch uitgevoerd. Bij grotere belastingen zullen elementen hun vloeisterkte bereiken en kunnen hierna nog plastisch vervormen. Door herverdeling kan er meer belasting opgenomen worden. Dit wordt met de "behaviour factor" in rekening gebracht.

$$q_n = 2.5 [-] \quad \text{Factor welke het (plastische) gedrag in rekening brengt (≥ 1.0)}$$

Met behulp van het elastisch response spectrum, zoals dit is gedefinieerd in NEN-EN 1998-1, en aangevuld met de waarden uit de Handreiking voor het uitvoeren van studies naar het effect van aardbevingen voor het ministerie van Economische Zaken [3]:

$\eta =$	1.0 [-]	Uitgangspunt is een viskeuze demping van 5%
$S =$	1.0 [-]	Bodemfactor volgens [3]
$\gamma =$	2.8 [-]	Factor volgens [3]
$T_B =$	0.10 [-]	Ondergrens constante spectrale versnelling [3]
$T_C =$	0.35 [-]	Bovengrens constante spectrale versnelling [3]
$T_D =$	1.20 [-]	Periode die het begin aangeeft van de constante verplaatsingsrespons van het spectrum [3]

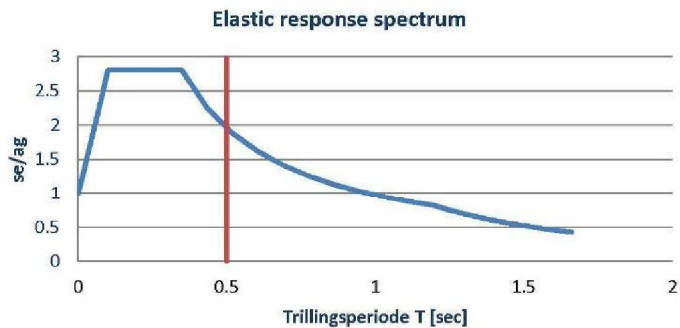
Bij de verschillende voorgedefinieerde aardbevingen zijn de horizontale versnellingen bekend:

Tabel 1.1 - Belastingeffect aardbeving

Aardbeving	[g]	Belasting
P ₅₀	3.9	352 kN
P ₁₀	4.8	1994 kN
P ₂	5.3	4047 kN

Inschatting trillingsperiode:

$$T_e = 0.50 \text{ sec}$$



Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 01

Blad:

5A1.5 - Toetsing

In de vergelijking tussen het belastingeffect van de aardbeving en de weerstand van het gebouw spelen nog enkele aanvullende factoren een rol. Zo wordt de gunstige bijdrage van de bouwkundige wanden en gevel met de volgende factor in rekening gebracht:

$$Y_{\text{bouw}} = 3.0 \quad \text{Factor gunstige bijdrage bouwkundige afwerking en gevel (≥ 1.0)}$$

Een ontwerp van een gebouw wordt in veel gevallen niet volledig uitgenut, er is dus een restcapaciteit aanwezig, welke bij de vraag of een gebouw schade ondervindt bij een aardbeving wel relevant is.

$$Y_{\text{over}} = 2.0 \quad \text{Factor welke de overcapaciteit in rekening brengt (≥ 1.0)}$$

De normale verdeling van de weerstand wordt daarmee gebaseerd op de volgende waarden:

$$\sigma_R = 255.2 \text{ kN}$$

$$\mu_R = 1276.1 \text{ kN}$$

Oriëntatie van de gebouwen ten opzichte van het epicentrum is van belang, daar de sterkte van het gebouw per richting verschilt. Met de volgende factor wordt dit meegenomen in de kansverdeling.

$$p = 1.00 \quad \text{Zwakke as 0 tot 30 graden}$$

$$p = 0.71 \quad \text{Zwakke as 30 tot 60 graden}$$

$$p = 0.25 \quad \text{Zwakke as 60 tot 90 graden}$$

Bij de verschillende aardbevingen is nu een schatting te maken welk percentage van de gebouwen bezwijkt.

Tabel 1.2 - Kans op bezwijken

Aardbeving	g	Kans op bezwijken
P ₆₀	3.9	0.06
P ₁₀	4.8	0.33
P ₂	5.3	0.67

Het bepalen of een gebouw schade heeft, gebeurt op een gelijke wijze, waarbij voor de weerstand enkel de restcapaciteit wordt meegenomen. Bij de andere twee factoren ontstaat immers schade. Voor het onderscheid tussen lichte en zware schade wordt onderscheid gemaakt tussen het in rekening brengen van het plastische gedrag. Indien dit optreedt ontstaat zware schade aan het gebouw.

Tabel 1.3 - Kans op schade

Aardbeving	g	Kans op geen schade	Kans op lichte schade	Kans op bezwijken
P ₆₀	3.9	0.06	97.33 %	2.67 %
P ₁₀	4.8	0.33	18.23 %	25.16 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	28.32 %

5A1.6 - Differentiatie per wijk

Afhankelijk van de afstand tot het epi-centrum is neemt de kracht van de aardbeving af. Hierdoor zal de kans op schade afnemen.

Tabel 1.4 – Reductie ten gevolge van de afstand tot Harstede

Wijk	Afstand [km]	Reductie aardbeving P10 [%]	Reductie aardbeving P2 [%]
Wijk 00 Binnenstad	8.8	70.0	57.0
Wijk 01 Schilders- en Zeeheldenwijk	9.9	61.0	52.0
Wijk 02 Oranjewijk	10.7	58.0	48.0
Wijk 03 Korrewegwijk	9	67.0	57.0
Wijk 04 Oosterparkwijk	8.1	73.0	61.0
Wijk 05 Oosterpoortwijk	6.3	88.0	72.0
Wijk 06 Herewegwijk en Helpman	8.3	73.0	60.0
Wijk 07 Stadsparkwijk	9.9	61.0	52.0
Wijk 08 Hoogkerk	13.3	45.0	39.0
Wijk 09 Noorddijk	6.1	88.0	72.0

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 01

Blad:

SA1.7 - Samenvatting resultaten

Tabel 1.5 - Kans op schade per wijk

Aardbeving	g	Kans op geen schade	Kans op lichte schade	Kans op bezijken	
Wijk 00					
P ₅₀	3.9	0.06	97.33 %	2.67 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	31.44 %	41.60 %	26.95 %
P ₂	5.3	0.67	8.60 %	27.37 %	64.04 %
Wijk 01					
P ₅₀	3.9	0.06	97.33 %	2.67 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	32.62 %	52.09 %	15.29 %
P ₂	5.3	0.67	14.62 %	25.44 %	59.94 %
Wijk 02					
P ₅₀	3.9	0.06	97.33 %	2.67 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	32.87 %	55.27 %	11.85 %
P ₂	5.3	0.67	19.86 %	25.29 %	54.85 %
Wijk 03					
P ₅₀	3.9	0.06	97.33 %	2.67 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	31.94 %	45.09 %	22.98 %
P ₂	5.3	0.67	8.60 %	27.37 %	64.04 %
Wijk 04					
P ₅₀	3.9	0.06	97.33 %	2.67 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	30.82 %	38.34 %	30.85 %
P ₂	5.3	0.67	4.92 %	29.34 %	65.74 %
Wijk 05					
P ₅₀	3.9	0.06	97.33 %	2.67 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	25.31 %	27.54 %	47.15 %
P ₂	5.3	0.67	0.54 %	32.29 %	67.16 %
Wijk 06					
P ₅₀	3.9	0.06	97.33 %	2.67 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	30.82 %	38.34 %	30.85 %
P ₂	5.3	0.67	5.73 %	28.86 %	65.41 %
Wijk 07					
P ₅₀	3.9	0.06	97.33 %	2.67 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	32.62 %	52.09 %	15.29 %
P ₂	5.3	0.67	14.62 %	25.44 %	59.94 %
Wijk 08					
P ₅₀	3.9	0.06	97.33 %	2.67 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	37.00 %	60.51 %	2.49 %
P ₂	5.3	0.67	29.06 %	32.69 %	38.26 %
Wijk 09					
P ₅₀	3.9	0.06	97.33 %	2.67 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	25.31 %	27.54 %	47.15 %
P ₂	5.3	0.67	0.54 %	32.29 %	67.16 %

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 02

Blad:

A2 Probabilistische analyse

§A2.1 - Betrouwbaarheidsindex

[NEN-EN 1990, art. B3.2]

In deze berekening wordt gebruik gemaakt van de eerste-orde-betrouwbaarheidsmethoden (FORM), een niveau II probabilistische methode. Dit is de methode c waarvan in de eurocodes gebruik gemaakt wordt.

Voor de weerstand R en het belastingeffect E is de prestatiefunctie g :

$$g = R - E \quad (1.1)$$

Hierbij is de bezwijkgrens $g = R - E = 0$. Voor de stochastische variabelen E en g wordt aangenomen dat deze normaal verdeeld zijn. Voor de stochastische variabele wordt aangenomen dat deze lognormaal verdeeld is. De betrouwbaarheidsindex wordt dan als volgt gedefinieerd:

$$\beta = \mu_g / \sigma_g \quad (1.2)$$

waarbij:

$\beta = 3.8$ is de betrouwbaarheidsindex van dit gebouw

μ_g is de gemiddelde waarde van g en

σ_g is de standaardafwijking.

De kans op falen dat correspondeert met deze betrouwbaarheidsindex kan berekend worden met de cumulatieve dichtheidsfunctie van de normale verdeling.

$$\Phi(x) = \frac{1}{2} [1 + \operatorname{erf}(x/\sqrt{2})] \quad (1.3)$$

$$P_f = 1 - \Phi(x) = 7.23E-05 \quad (1.4)$$

§A2.2 - Belastingeffect E

[NEN-EN 1990, art. C7]

In de berekening wordt de horizontale belasting op het gebouw ten gevolge van wind vergeleken met de horizontale belasting op het gebouw door de horizontale versnellingen ten gevolge van de voorgedefinieerde aardbevingen.

$$\Sigma F_{hor,wind} = 75.3 \text{ kN} \quad \text{Karakteristieke waarde}$$

Over de representatieve waarde wordt in de partiële factoren methode een belastingfactor toegepast

$$\gamma_f = 1.35 [-] \quad \text{Belastingfactor}$$

Hiemee kan de rekenwaarde voor het belastingeffect bepaald worden:

$$E_d = E_{rep} \times \gamma_f = 101.7 \text{ kN} \quad (1.5)$$

§A2.3 - Weerstand R

[NEN-EN 1990, art. C7]

De rekenwaarde van het belastingeffect wordt gelijk gesteld aan de rekenwaarde van de weerstand, het gebouw wordt ontworpen dat het de belasting juist kan weerstaan (volgens de normen).

$$R_d = 101.7 \text{ kN}$$

De weerstand heeft een lognormale verdeling, waarvoor de volgende formule een relatie legt tussen de gemiddelde waarde, standaard deviatie en de rekenwaarde.

$$R_d = \mu_R \exp(-\alpha_R \beta_R V) \quad (1.6)$$

$\beta = 3.8$ is de betrouwbaarheidsindex,

μ_R is de gemiddelde waarde van de weerstand,

α_R is de FORM-gevoeligheidsfactor,

V_R is de variatiecoëfficiënt.

De variatiecoëfficiënt is afhankelijk van het materiaal:

$$V_R = 0.2 [-] \quad \text{Gebaseerd op beton op trek}$$

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 02

Blad:

De gevoeligheidsfactoren zijn gedefinieerd in de eurocodes:

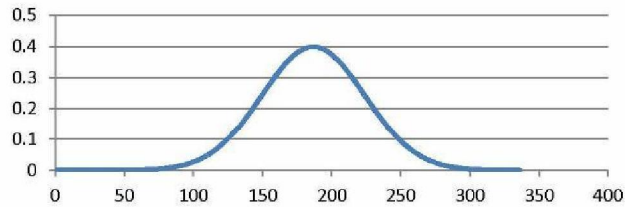
$$\alpha_R = 0.8 [-]$$

De gemiddelde en de standaarddeviatie van de weerstand zijn onbekend, maar kunnen bepaald worden op basis van de voorgaande formule:

$$\exp(\alpha_B V - 1.64 V) = 0.54 [-]$$

$$\sigma_R = 37.3 \text{ kN}$$

$$\mu_R = 186.7 \text{ kN}$$



§A2.4 - Belastingeffect aardbeving

[NEN-EN 1998]

De meewerkende massa van het gebouw (bij een aardbeving) wordt als volgt geschat:

$$\rho = 440 \text{ kg/m}^3$$

$$V = 826.8 \text{ m}^3$$

$$M = 363792 \text{ kg}$$

De berekeningen worden bij het ontwerp in het algemeen lineair elastisch uitgevoerd. Bij grotere belastingen zullen elementen hun vloeisterkte bereiken en kunnen hierna nog plastisch vervormen. Door herverdeling kan er meer belasting opgenomen worden. Dit wordt met de "behaviour factor" in rekening gebracht.

$$q_n = 2.5 [-] \quad \text{Factor welke het (plastische) gedrag in rekening brengt (≥ 1.0)}$$

Met behulp van het elastisch response spectrum, zoals dit is gedefinieerd in NEN-EN 1998-1, en aangevuld met de waarden uit de Handreiking voor het uitvoeren van studies naar het effect van aardbevingen voor het ministerie van Economische Zaken [3]:

$\eta =$	1.0 [-]	Uitgangspunt is een viskeuze demping van 5%
$S =$	1.0 [-]	Bodemfactor volgens [3]
$\gamma =$	2.8 [-]	Factor volgens [3]
$T_B =$	0.10 [-]	Ondergrens constante spectrale versnelling [3]
$T_C =$	0.35 [-]	Bovengrens constante spectrale versnelling [3]
$T_D =$	1.20 [-]	Periode die het begin aangeeft van de constante verplaatsingsrespons van het spectrum [3]

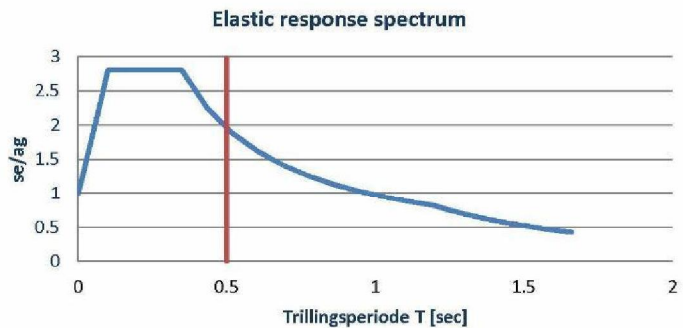
Bij de verschillende voorgedefinieerde aardbevingen zijn de horizontale versnellingen bekend:

Tabel 1.1 - Belastingeffect aardbeving

Aardbeving	[g]	Belasting
P ₅₀	3.9	168 kN
P ₁₀	4.8	923 kN
P ₂	5.3	1875 kN

Inschatting trillingsperiode:

$$T_e = 0.50 \text{ sec}$$



Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 02

Blad:

5A2.5 - Toetsing

In de vergelijking tussen het belastingeffect van de aardbeving en de weerstand van het gebouw spelen nog enkele aanvullende factoren een rol. Zo wordt de gunstige bijdrage van de bouwkundige wanden en gevel met de volgende factor in rekening gebracht:

$$Y_{\text{bouw}} = 3.0 \text{ [-]} \quad \text{Factor gunstige bijdrage bouwkundige afwerking en gevel (≥ 1.0)}$$

Een ontwerp van een gebouw wordt in veel gevallen niet volledig uitgenut, er is dus een restcapaciteit aanwezig, welke bij de vraag of een gebouw schade ondervindt bij een aardbeving wel relevant is.

$$Y_{\text{over}} = 2.0 \text{ [-]} \quad \text{Factor welke de overcapaciteit in rekening brengt (≥ 1.0)}$$

De normale verdeling van de weerstand wordt daarmee gebaseerd op de volgende waarden:

$$\sigma_R = 224.1 \text{ kN}$$

$$\mu_R = 1120.4 \text{ kN}$$

Oriëntatie van de gebouwen ten opzichte van het epicentrum is van belang, daar de sterkte van het gebouw per richting verschilt. Met de volgende factor wordt dit meegenomen in de kansverdeling.

$$p = 1.00 \text{ [-]} \quad \text{Zwakke as 0 tot 30 graden}$$

$$p = 0.71 \text{ [-]} \quad \text{Zwakke as 30 tot 60 graden}$$

$$p = 0.25 \text{ [-]} \quad \text{Zwakke as 60 tot 90 graden}$$

Bij de verschillende aardbevingen is nu een schatting te maken welk percentage van de gebouwen bezwijkt.

Tabel 1.2 - Kans op bezwijken

Aardbeving	g	Kans op bezwijken
P ₆₀	3.9	0.06
P ₁₀	4.8	0.33
P ₂	5.3	0.67

Het bepalen of een gebouw schade heeft, gebeurt op een gelijke wijze, waarbij voor de weerstand enkel de restcapaciteit wordt meegenomen. Bij de andere twee factoren ontstaat immers schade. Voor het onderscheid tussen lichte en zware schade wordt onderscheid gemaakt tussen het in rekening brengen van het plastische gedrag. Indien dit optreedt ontstaat zware schade aan het gebouw.

Tabel 1.3 - Kans op schade

Aardbeving	g	Kans op geen schade	Kans op lichte schade	Kans op bezwijken
P ₆₀	3.9	0.06	99.97 %	0.03 %
P ₁₀	4.8	0.33	33.45 %	59.61 %
P ₂	5.3	0.67	13.66 %	25.63 %

5A2.6 - Differentiatie per wijk

Afhankelijk van de afstand tot het epi-centrum is neemt de kracht van de aardbeving af. Hierdoor zal de kans op schade afnemen.

Tabel 1.4 – Reductie ten gevolge van de afstand tot Harstede

Wijk	Afstand [km]	Reductie aardbeving P10 [%]	Reductie aardbeving P2 [%]
Wijk 00 Binnenstad	8.8	70.0	57.0
Wijk 01 Schilders- en Zeeheldenwijk	9.9	61.0	52.0
Wijk 02 Oranjewijk	10.7	58.0	48.0
Wijk 03 Korrewegwijk	9	67.0	57.0
Wijk 04 Oosterparkwijk	8.1	73.0	61.0
Wijk 05 Oosterpoortwijk	6.3	88.0	72.0
Wijk 06 Herewegwijk en Helpman	8.3	73.0	60.0
Wijk 07 Stadsparkwijk	9.9	61.0	52.0
Wijk 08 Hoogkerk	13.3	45.0	39.0
Wijk 09 Noorddijk	6.1	88.0	72.0

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 02

Blad:

SA2.7 - Samenvatting resultaten

Tabel 1.5 - Kans op schade per wijk

Aardbeving	g	Kans op geen schade	Kans op lichte schade	Kans op bezijken	
Wijk 00					
P ₅₀	3.9	0.06	99.97 %	0.03 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	49.12 %	50.26 %	0.62 %
P ₂	5.3	0.67	32.62 %	52.04 %	15.34 %
Wijk 01					
P ₅₀	3.9	0.06	99.97 %	0.03 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	60.35 %	39.41 %	0.24 %
P ₂	5.3	0.67	33.08 %	57.42 %	9.50 %
Wijk 02					
P ₅₀	3.9	0.06	99.97 %	0.03 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	64.85 %	34.98 %	0.17 %
P ₂	5.3	0.67	33.72 %	60.35 %	5.93 %
Wijk 03					
P ₅₀	3.9	0.06	99.97 %	0.03 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	52.53 %	47.02 %	0.46 %
P ₂	5.3	0.67	32.62 %	52.04 %	15.34 %
Wijk 04					
P ₅₀	3.9	0.06	99.97 %	0.03 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	46.02 %	53.14 %	0.84 %
P ₂	5.3	0.67	32.16 %	47.07 %	20.77 %
Wijk 05					
P ₅₀	3.9	0.06	99.97 %	0.03 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	35.87 %	61.05 %	3.07 %
P ₂	5.3	0.67	29.72 %	34.39 %	35.88 %
Wijk 06					
P ₅₀	3.9	0.06	99.97 %	0.03 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	46.02 %	53.14 %	0.84 %
P ₂	5.3	0.67	32.29 %	48.33 %	19.37 %
Wijk 07					
P ₅₀	3.9	0.06	99.97 %	0.03 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	60.35 %	39.41 %	0.24 %
P ₂	5.3	0.67	33.08 %	57.42 %	9.50 %
Wijk 08					
P ₅₀	3.9	0.06	99.97 %	0.03 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	86.66 %	13.31 %	0.03 %
P ₂	5.3	0.67	40.69 %	57.82 %	1.49 %
Wijk 09					
P ₅₀	3.9	0.06	99.97 %	0.03 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	35.87 %	61.05 %	3.07 %
P ₂	5.3	0.67	29.72 %	34.39 %	35.88 %

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 03

Blad:

A3 Probabilistische analyse

§A3.1 - Betrouwbaarheidsindex

[NEN-EN 1990, art. B3.2]

In deze berekening wordt gebruik gemaakt van de eerste-orde-betrouwbaarheidsmethoden (FORM), een niveau II probabilistische methode. Dit is de methode c waarvan in de eurocodes gebruik gemaakt wordt.

Voor de weerstand R en het belastingeffect E is de prestatiefunctie g :

$$g = R - E \quad (1.1)$$

Hierbij is de bezwijkgrens $g = R - E = 0$. Voor de stochastische variabelen E en g wordt aangenomen dat deze normaal verdeeld zijn. Voor de stochastische variabele wordt aangenomen dat deze lognormaal verdeeld is. De betrouwbaarheidsindex wordt dan als volgt gedefinieerd:

$$\beta = \mu_g / \sigma_g \quad (1.2)$$

waarbij:

$\beta = 3.8$ is de betrouwbaarheidsindex van dit gebouw

μ_g is de gemiddelde waarde van g en

σ_g is de standaardafwijking.

De kans op falen dat correspondeert met deze betrouwbaarheidsindex kan berekend worden met de cumulatieve dichtheidsfunctie van de normale verdeling.

$$\Phi(x) = \frac{1}{2} [1 + \operatorname{erf}(x/\sqrt{2})] \quad (1.3)$$

$$P_f = 1 - \Phi(x) = 7.23E-05 \quad (1.4)$$

§A3.2 - Belastingeffect E

[NEN-EN 1990, art. C7]

In de berekening wordt de horizontale belasting op het gebouw ten gevolge van wind vergeleken met de horizontale belasting op het gebouw door de horizontale versnellingen ten gevolge van de voorgedefinieerde aardbevingen.

$$\Sigma F_{hor,wind} = 138.1 \text{ kN} \quad \text{Karakteristieke waarde}$$

Over de representatieve waarde wordt in de partiële factoren methode een belastingfactor toegepast

$$\gamma_f = 1.5 \text{ [-]} \quad \text{Belastingfactor}$$

Hiemee kan de rekenwaarde voor het belastingeffect bepaald worden:

$$E_d = E_{rep} \times \gamma_f = 207.1 \text{ kN} \quad (1.5)$$

§A3.3 - Weerstand R

[NEN-EN 1990, art. C7]

De rekenwaarde van het belastingeffect wordt gelijk gesteld aan de rekenwaarde van de weerstand, het gebouw wordt ontworpen dat het de belasting juist kan weerstaan (volgens de normen).

$$R_d = 207.1 \text{ kN}$$

De weerstand heeft een lognormale verdeling, waarvoor de volgende formule een relatie legt tussen de gemiddelde waarde, standaard deviatie en de rekenwaarde.

$$R_d = \mu_R \exp(-\alpha_R \beta_R V) \quad (1.6)$$

$\beta = 3.8$ is de betrouwbaarheidsindex,

μ_R is de gemiddelde waarde van de weerstand,

α_R is de FORM-gevoeligheidsfactor,

V_R is de variatiecoëfficiënt.

De variatiecoëfficiënt is afhankelijk van het materiaal:

$$V_R = 0.15 \text{ [-]} \quad \text{Gebaseerd op beton op trek}$$

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 03

Blad:

De gevoeligheidsfactoren zijn gedefinieerd in de eurocodes:

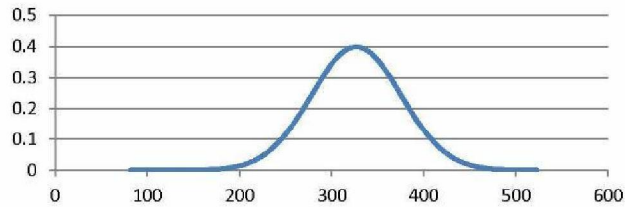
$$\alpha_R = 0.8 [-]$$

De gemiddelde en de standaarddeviatie van de weerstand zijn onbekend, maar kunnen bepaald worden op basis van de voorgaande formule:

$$\exp(\alpha \beta V - 1.64 V) = 0.63 [-]$$

$$\sigma_R = 49.0 \text{ kN}$$

$$\mu_R = 326.7 \text{ kN}$$



§A3.4 - Belastingeffect aardbeving

[NEN-EN 1998]

De meewerkende massa van het gebouw (bij een aardbeving) wordt als volgt geschat:

$$\rho = 480 \text{ kg/m}^3$$

$$V = 3480 \text{ m}^3$$

$$M = 1670400 \text{ kg}$$

De berekeningen worden bij het ontwerp in het algemeen lineair elastisch uitgevoerd. Bij grotere belastingen zullen elementen hun vloeisterkte bereiken en kunnen hierna nog plastisch vervormen. Door herverdeling kan er meer belasting opgenomen worden. Dit wordt met de "behaviour factor" in rekening gebracht.

$$q_a = 3.5 [-] \quad \text{Factor welke het (plastische) gedrag in rekening brengt (≥ 1.0)}$$

Met behulp van het elastisch response spectrum, zoals dit is gedefinieerd in NEN-EN 1998-1, en aangevuld met de waarden uit de Handreiking voor het uitvoeren van studies naar het effect van aardbevingen voor het ministerie van Economische Zaken [3]:

$\eta =$	1.0 [-]	Uitgangspunt is een viskeuze demping van 5%
$S =$	1.0 [-]	Bodemfactor volgens [3]
$\gamma =$	2.8 [-]	Factor volgens [3]
$T_B =$	0.10 [-]	Ondergrens constante spectrale versnelling [3]
$T_C =$	0.35 [-]	Bovengrens constante spectrale versnelling [3]
$T_D =$	1.20 [-]	Periode die het begin aangeeft van de constante verplaatsingsrespons van het spectrum [3]

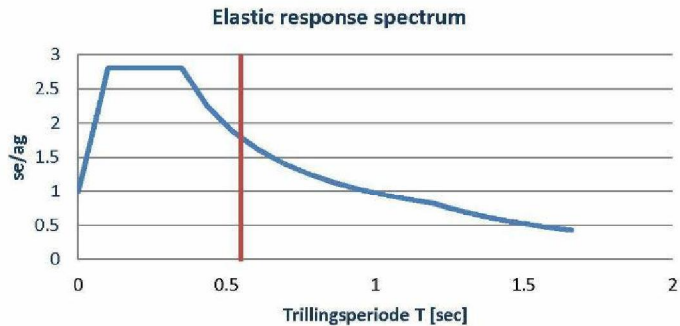
Bij de verschillende voorgedefinieerde aardbevingen zijn de horizontale versnellingen bekend:

Tabel 1.1 - Belastingeffect aardbeving

Aardbeving	[g]	Belasting
P ₅₀	3.9	501 kN
P ₁₀	4.8	2753 kN
P ₂	5.3	5589 kN

Inschatting trillingsperiode:

$$T_e = 0.55 \text{ sec}$$



Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 03

Blad:

5A3.5 - Toetsing

In de vergelijking tussen het belastingeffect van de aardbeving en de weerstand van het gebouw spelen nog enkele aanvullende factoren een rol. Zo wordt de gunstige bijdrage van de bouwkundige wanden en gevel met de volgende factor in rekening gebracht:

$$Y_{\text{bouw}} = 2.5 \text{ [-]} \quad \text{Factor gunstige bijdrage bouwkundige afwerking en gevel (≥ 1.0)}$$

Een ontwerp van een gebouw wordt in veel gevallen niet volledig uitgenut, er is dus een restcapaciteit aanwezig, welke bij de vraag of een gebouw schade ondervindt bij een aardbeving wel relevant is.

$$Y_{\text{over}} = 2.0 \text{ [-]} \quad \text{Factor welke de overcapaciteit in rekening brengt (≥ 1.0)}$$

De normale verdeling van de weerstand wordt daarmee gebaseerd op de volgende waarden:

$$\sigma_R = 245.0 \text{ kN}$$

$$\mu_R = 1633.6 \text{ kN}$$

Oriëntatie van de gebouwen ten opzichte van het epicentrum is van belang, daar de sterkte van het gebouw per richting verschilt. Met de volgende factor wordt dit meegenomen in de kansverdeling.

$$p = 1.00 \text{ [-]} \quad \text{Zwakke as 0 tot 30 graden}$$

$$p = 0.71 \text{ [-]} \quad \text{Zwakke as 30 tot 60 graden}$$

$$p = 0.25 \text{ [-]} \quad \text{Zwakke as 60 tot 90 graden}$$

Bij de verschillende aardbevingen is nu een schatting te maken welk percentage van de gebouwen bezwijkt.

Tabel 1.2 - Kans op bezwijken

Aardbeving	g	Kans op bezwijken
P ₆₀	3.9	0.06
P ₁₀	4.8	0.33
P ₂	5.3	0.67

Het bepalen of een gebouw schade heeft, gebeurt op een gelijke wijze, waarbij voor de weerstand enkel de restcapaciteit wordt meegenomen. Bij de andere twee factoren ontstaat immers schade. Voor het onderscheid tussen lichte en zware schade wordt onderscheid gemaakt tussen het in rekening brengen van het plastische gedrag. Indien dit optreedt ontstaat zware schade aan het gebouw.

Tabel 1.3 - Kans op schade

Aardbeving	g	Kans op geen schade	Kans op lichte schade	Kans op bezwijken
P ₆₀	3.9	0.06	75.37 %	24.63 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.03 %	36.66 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	27.75 %

5A3.6 - Differentiatie per wijk

Afhankelijk van de afstand tot het epi-centrum is neemt de kracht van de aardbeving af. Hierdoor zal de kans op schade afnemen.

Tabel 1.4 – Reductie ten gevolge van de afstand tot Harstede

Wijk	Afstand [km]	Reductie aardbeving P10 [%]	Reductie aardbeving P2 [%]
Wijk 00 Binnenstad	8.8	70.0	57.0
Wijk 01 Schilders- en Zeeheldenwijk	9.9	61.0	52.0
Wijk 02 Oranjewijk	10.7	58.0	48.0
Wijk 03 Korrewegwijk	9	67.0	57.0
Wijk 04 Oosterparkwijk	8.1	73.0	61.0
Wijk 05 Oosterpoortwijk	6.3	88.0	72.0
Wijk 06 Herewegwijk en Helpman	8.3	73.0	60.0
Wijk 07 Stadsparkwijk	9.9	61.0	52.0
Wijk 08 Hoogkerk	13.3	45.0	39.0
Wijk 09 Noorddijk	6.1	88.0	72.0

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 03

Blad:

SA3.7 - Samenvatting resultaten

Tabel 1.5 - Kans op schade per wijk

Aardbeving	g	Kans op geen schade	Kans op lichte schade	Kans op bezijken	
Wijk 00					
P ₅₀	3.9	0.06	75.37 %	24.63 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	13.84 %	52.20 %	33.96 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	33.51 %	66.49 %
Wijk 01					
P ₅₀	3.9	0.06	75.37 %	24.63 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	24.95 %	54.77 %	20.28 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	34.75 %	65.25 %
Wijk 02					
P ₅₀	3.9	0.06	75.37 %	24.63 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	27.76 %	56.91 %	15.33 %
P ₂	5.3	0.67	0.06 %	37.98 %	61.96 %
Wijk 03					
P ₅₀	3.9	0.06	75.37 %	24.63 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	17.73 %	52.44 %	29.82 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	33.51 %	66.49 %
Wijk 04					
P ₅₀	3.9	0.06	75.37 %	24.63 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	10.17 %	52.15 %	37.68 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	33.33 %	66.67 %
Wijk 05					
P ₅₀	3.9	0.06	75.37 %	24.63 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.79 %	45.00 %	54.22 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	33.16 %	66.84 %
Wijk 06					
P ₅₀	3.9	0.06	75.37 %	24.63 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	10.17 %	52.15 %	37.68 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	33.36 %	66.64 %
Wijk 07					
P ₅₀	3.9	0.06	75.37 %	24.63 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	24.95 %	54.77 %	20.28 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	34.75 %	65.25 %
Wijk 08					
P ₅₀	3.9	0.06	75.37 %	24.63 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	32.92 %	65.26 %	1.82 %
P ₂	5.3	0.67	4.40 %	50.92 %	44.68 %
Wijk 09					
P ₅₀	3.9	0.06	75.37 %	24.63 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.79 %	45.00 %	54.22 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	33.16 %	66.84 %

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 04

Blad:

A4 Probabilistische analyse

§A4.1 - Betrouwbaarheidsindex

[NEN-EN 1990, art. B3.2]

In deze berekening wordt gebruik gemaakt van de eerste-orde-betrouwbaarheidsmethoden (FORM), een niveau II probabilistische methode. Dit is de methode c waarvan in de eurocodes gebruik gemaakt wordt.

Voor de weerstand R en het belastingeffect E is de prestatiefunctie g :

$$g = R - E \quad (1.1)$$

Hierbij is de bezwijkgrens $g = R - E = 0$. Voor de stochastische variabelen E en g wordt aangenomen dat deze normaal verdeeld zijn. Voor de stochastische variabele wordt aangenomen dat deze lognormaal verdeeld is. De betrouwbaarheidsindex wordt dan als volgt gedefinieerd:

$$\beta = \mu_g / \sigma_g \quad (1.2)$$

waarbij:

$\beta = 3.8$ is de betrouwbaarheidsindex van dit gebouw

μ_g is de gemiddelde waarde van g en

σ_g is de standaardafwijking.

De kans op falen dat correspondeert met deze betrouwbaarheidsindex kan berekend worden met de cumulatieve dichtheidsfunctie van de normale verdeling.

$$\Phi(x) = \frac{1}{2} [1 + \text{erf}(x/\sqrt{2})] \quad (1.3)$$

$$P_f = 1 - \Phi(x) = 7.23E-05 \quad (1.4)$$

§A4.2 - Belastingeffect E

[NEN-EN 1990, art. C7]

In de berekening wordt de horizontale belasting op het gebouw ten gevolge van wind vergeleken met de horizontale belasting op het gebouw door de horizontale versnellingen ten gevolge van de voorgedefinieerde aardbevingen.

$$\Sigma F_{hor,wind} = 210.9 \text{ kN} \quad \text{Karakteristieke waarde}$$

Over de representatieve waarde wordt in de partiële factoren methode een belastingfactor toegepast

$$\gamma_f = 1.5 [-] \quad \text{Belastingfactor}$$

Hiemee kan de rekenwaarde voor het belastingeffect bepaald worden:

$$E_d = E_{rep} \times \gamma_f = 316.3 \text{ kN} \quad (1.5)$$

§A4.3 - Weerstand R

[NEN-EN 1990, art. C7]

De rekenwaarde van het belastingeffect wordt gelijk gesteld aan de rekenwaarde van de weerstand, het gebouw wordt ontworpen dat het de belasting juist kan weerstaan (volgens de normen).

$$R_d = 316.3 \text{ kN}$$

De weerstand heeft een lognormale verdeling, waarvoor de volgende formule een relatie legt tussen de gemiddelde waarde, standaard deviatie en de rekenwaarde.

$$R_d = \mu_R \exp(-\alpha_R \beta_R V) \quad (1.6)$$

$\beta = 3.8$ is de betrouwbaarheidsindex,

μ_R is de gemiddelde waarde van de weerstand,

α_R is de FORM-gevoeligheidsfactor,

V_R is de variatiecoëfficiënt.

De variatiecoëfficiënt is afhankelijk van het materiaal:

$$V_R = 0.15 [-] \quad \text{Gebaseerd op beton op trek}$$

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 04

Blad:

De gevoeligheidsfactoren zijn gedefinieerd in de eurocodes:

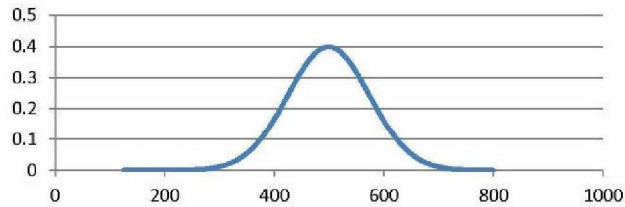
$$\alpha_R = 0.8 [-]$$

De gemiddelde en de standaarddeviatie van de weerstand zijn onbekend, maar kunnen bepaald worden op basis van de voorgaande formule:

$$\exp(\alpha_B V - 1.64V) = 0.63 [-]$$

$$\sigma_R = 74.9 \text{ kN}$$

$$\mu_R = 499.1 \text{ kN}$$



§A4.4 - Belastingeffect aardbeving

[NEN-EN 1998]

De meewerkende massa van het gebouw (bij een aardbeving) wordt als volgt geschat:

$$\rho = 480 \text{ kg/m}^3$$

$$V = 2505.6 \text{ m}^3$$

$$M = 1202688 \text{ kg}$$

De berekeningen worden bij het ontwerp in het algemeen lineair elastisch uitgevoerd. Bij grotere belastingen zullen elementen hun vloeisterkte bereiken en kunnen hierna nog plastisch vervormen. Door herverdeling kan er meer belasting opgenomen worden. Dit wordt met de "behaviour factor" in rekening gebracht.

$$q_n = 3.5 [-] \quad \text{Factor welke het (plastische) gedrag in rekening brengt (≥ 1.0)}$$

Met behulp van het elastisch response spectrum, zoals dit is gedefinieerd in NEN-EN 1998-1, en aangevuld met de waarden uit de Handreiking voor het uitvoeren van studies naar het effect van aardbevingen voor het ministerie van Economische Zaken [3]:

$\eta =$	1.0 [-]	Uitgangspunt is een viskeuze demping van 5%
$S =$	1.0 [-]	Bodemfactor volgens [3]
$\gamma =$	2.8 [-]	Factor volgens [3]
$T_B =$	0.10 [-]	Ondergrens constante spectrale versnelling [3]
$T_C =$	0.35 [-]	Bovengrens constante spectrale versnelling [3]
$T_D =$	1.20 [-]	Periode die het begin aangeeft van de constante verplaatsingsrespons van het spectrum [3]

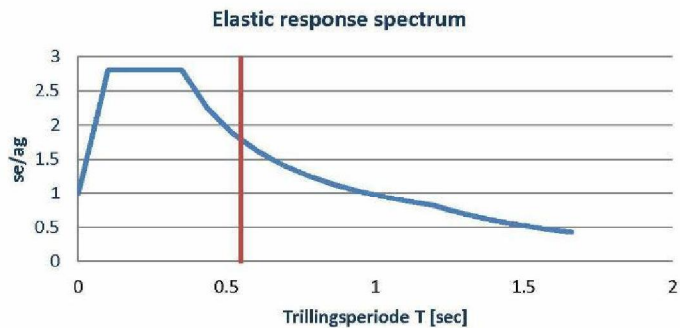
Bij de verschillende voorgedefinieerde aardbevingen zijn de horizontale versnellingen bekend:

Tabel 1.1 - Belastingeffect aardbeving

Aardbeving	[g]	Belasting
P ₅₀	3.9	350 kN
P ₁₀	4.8	1982 kN
P ₂	5.3	4024 kN

Inschatting trillingsperiode:

$$T_e = 0.55 \text{ sec}$$



Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 04

Blad:

5A4.5 - Toetsing

In de vergelijking tussen het belastingeffect van de aardbeving en de weerstand van het gebouw spelen nog enkele aanvullende factoren een rol. Zo wordt de gunstige bijdrage van de bouwkundige wanden en gevel met de volgende factor in rekening gebracht:

$$Y_{bouw} = 2.0 \quad \text{Factor gunstige bijdrage bouwkundige afwerking en gevel (≥ 1.0)}$$

Een ontwerp van een gebouw wordt in veel gevallen niet volledig uitgenut, er is dus een restcapaciteit aanwezig, welke bij de vraag of een gebouw schade ondervindt bij een aardbeving wel relevant is.

$$Y_{over} = 2.0 \quad \text{Factor welke de overcapaciteit in rekening brengt (≥ 1.0)}$$

De normale verdeling van de weerstand wordt daarmee gebaseerd op de volgende waarden:

$$\sigma_R = 299.5 \text{ kN}$$

$$\mu_R = 1996.4 \text{ kN}$$

Oriëntatie van de gebouwen ten opzichte van het epicentrum is van belang, daar de sterkte van het gebouw per richting verschilt. Met de volgende factor wordt dit meegenomen in de kansverdeling.

$$p = 1.00 \quad \text{Zwakke as 0 tot 30 graden}$$

$$p = 0.71 \quad \text{Zwakke as 30 tot 60 graden}$$

$$p = 0.25 \quad \text{Zwakke as 60 tot 90 graden}$$

Bij de verschillende aardbevingen is nu een schatting te maken welk percentage van de gebouwen bezwijkt.

Tabel 1.2 - Kans op bezwijken

Aardbeving	g	Kans op bezwijken
P ₆₀	3.9	0.06
P ₁₀	4.8	0.33
P ₂	5.3	0.67

Het bepalen of een gebouw schade heeft, gebeurt op een gelijke wijze, waarbij voor de weerstand enkel de restcapaciteit wordt meegenomen. Bij de andere twee factoren ontstaat immers schade. Voor het onderscheid tussen lichte en zware schade wordt onderscheid gemaakt tussen het in rekening brengen van het plastische gedrag. Indien dit optreedt ontstaat zware schade aan het gebouw.

Tabel 1.3 - Kans op schade

Aardbeving	g	Kans op geen schade	Kans op lichte schade	Kans op bezwijken
P ₆₀	3.9	0.06	99.76 %	0.24 %
P ₁₀	4.8	0.33	26.97 %	56.21 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	33.39 %

5A4.6 - Differentiatie per wijk

Afhankelijk van de afstand tot het epi-centrum is neemt de kracht van de aardbeving af. Hierdoor zal de kans op schade afnemen.

Tabel 1.4 – Reductie ten gevolge van de afstand tot Harstede

Wijk	Afstand [km]	Reductie aardbeving P10 [%]	Reductie aardbeving P2 [%]
Wijk 00 Binnenstad	8.8	70.0	57.0
Wijk 01 Schilders- en Zeeheldenwijk	9.9	61.0	52.0
Wijk 02 Oranjewijk	10.7	58.0	48.0
Wijk 03 Korrewegwijk	9	67.0	57.0
Wijk 04 Oosterparkwijk	8.1	73.0	61.0
Wijk 05 Oosterpoortwijk	6.3	88.0	72.0
Wijk 06 Herewegwijk en Helpman	8.3	73.0	60.0
Wijk 07 Stadsparkwijk	9.9	61.0	52.0
Wijk 08 Hoogkerk	13.3	45.0	39.0
Wijk 09 Noorddijk	6.1	88.0	72.0

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 04

Blad:

SA4.7 - Samenvatting resultaten

Tabel 1.5 - Kans op schade per wijk

Aardbeving	g	Kans op geen schade	Kans op lichte schade	Kans op bezijken	
Wijk 00					
P ₅₀	3.9	0.06	99.76 %	0.24 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	33.18 %	66.10 %	0.71 %
P ₂	5.3	0.67	16.19 %	52.30 %	31.51 %
Wijk 01					
P ₅₀	3.9	0.06	99.76 %	0.24 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	33.32 %	66.54 %	0.15 %
P ₂	5.3	0.67	23.65 %	54.07 %	22.28 %
Wijk 02					
P ₅₀	3.9	0.06	99.76 %	0.24 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	33.39 %	66.53 %	0.08 %
P ₂	5.3	0.67	28.22 %	57.37 %	14.40 %
Wijk 03					
P ₅₀	3.9	0.06	99.76 %	0.24 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	33.24 %	66.32 %	0.43 %
P ₂	5.3	0.67	16.19 %	52.30 %	31.51 %
Wijk 04					
P ₅₀	3.9	0.06	99.76 %	0.24 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	33.09 %	65.78 %	1.13 %
P ₂	5.3	0.67	10.21 %	52.15 %	37.64 %
Wijk 05					
P ₅₀	3.9	0.06	99.76 %	0.24 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	31.39 %	61.76 %	6.85 %
P ₂	5.3	0.67	1.20 %	46.53 %	52.28 %
Wijk 06					
P ₅₀	3.9	0.06	99.76 %	0.24 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	33.09 %	65.78 %	1.13 %
P ₂	5.3	0.67	11.62 %	52.18 %	36.20 %
Wijk 07					
P ₅₀	3.9	0.06	99.76 %	0.24 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	33.32 %	66.54 %	0.15 %
P ₂	5.3	0.67	23.65 %	54.07 %	22.28 %
Wijk 08					
P ₅₀	3.9	0.06	99.76 %	0.24 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	41.35 %	58.65 %	0.00 %
P ₂	5.3	0.67	32.71 %	64.67 %	2.62 %
Wijk 09					
P ₅₀	3.9	0.06	99.76 %	0.24 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	31.39 %	61.76 %	6.85 %
P ₂	5.3	0.67	1.20 %	46.53 %	52.28 %

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 05

Blad:

A5 Probabilistische analyse

§A5.1 - Betrouwbaarheidsindex

[NEN-EN 1990, art. B3.2]

In deze berekening wordt gebruik gemaakt van de eerste-orde-betrouwbaarheidsmethoden (FORM), een niveau II probabilistische methode. Dit is de methode c waarvan in de eurocodes gebruik gemaakt wordt.

Voor de weerstand R en het belastingeffect E is de prestatiefunctie g :

$$g = R - E \quad (1.1)$$

Hierbij is de bezwijkgrens $g = R - E = 0$. Voor de stochastische variabelen E en g wordt aangenomen dat deze normaal verdeeld zijn. Voor de stochastische variabele wordt aangenomen dat deze lognormaal verdeeld is. De betrouwbaarheidsindex wordt dan als volgt gedefinieerd:

$$\beta = \mu_g / \sigma_g \quad (1.2)$$

waarbij:

$\beta = 3.8$ is de betrouwbaarheidsindex van dit gebouw

μ_g is de gemiddelde waarde van g en

σ_g is de standaardafwijking.

De kans op falen dat correspondeert met deze betrouwbaarheidsindex kan berekend worden met de cumulatieve dichtheidsfunctie van de normale verdeling.

$$\Phi(x) = \frac{1}{2} [1 + \operatorname{erf}(x/\sqrt{2})] \quad (1.3)$$

$$P_f = 1 - \Phi(x) = 7.23E-05 \quad (1.4)$$

§A5.2 - Belastingeffect E

[NEN-EN 1990, art. C7]

In de berekening wordt de horizontale belasting op het gebouw ten gevolge van wind vergeleken met de horizontale belasting op het gebouw door de horizontale versnellingen ten gevolge van de voorgedefinieerde aardbevingen.

$$\Sigma F_{hor,wind} = 348.7 \text{ kN} \quad \text{Karakteristieke waarde}$$

Over de representatieve waarde wordt in de partiële factoren methode een belastingfactor toegepast

$$\gamma_f = 1.5 [-] \quad \text{Belastingfactor}$$

Hiemee kan de rekenwaarde voor het belastingeffect bepaald worden:

$$E_d = E_{rep} \times \gamma_f = 523.0 \text{ kN} \quad (1.5)$$

§A5.3 - Weerstand R

[NEN-EN 1990, art. C7]

De rekenwaarde van het belastingeffect wordt gelijk gesteld aan de rekenwaarde van de weerstand, het gebouw wordt ontworpen dat het de belasting juist kan weerstaan (volgens de normen).

$$R_d = 523.0 \text{ kN}$$

De weerstand heeft een lognormale verdeling, waarvoor de volgende formule een relatie legt tussen de gemiddelde waarde, standaard deviatie en de rekenwaarde.

$$R_d = \mu_R \exp(-\alpha_R \beta_R V) \quad (1.6)$$

$\beta = 3.8$ is de betrouwbaarheidsindex,

μ_R is de gemiddelde waarde van de weerstand,

α_R is de FORM-gevoeligheidsfactor,

V_R is de variatiecoëfficiënt.

De variatiecoëfficiënt is afhankelijk van het materiaal:

$$V_R = 0.15 [-] \quad \text{Gebaseerd op beton op trek}$$

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 05

Blad:

De gevoeligheidsfactoren zijn gedefinieerd in de eurocodes:

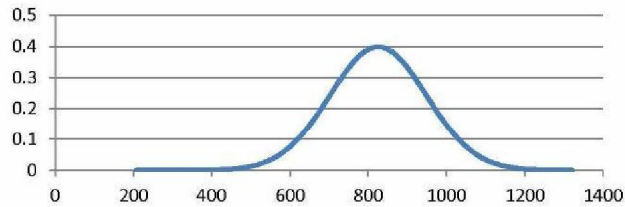
$$\alpha_R = 0.8 [-]$$

De gemiddelde en de standaarddeviatie van de weerstand zijn onbekend, maar kunnen bepaald worden op basis van de voorgaande formule:

$$\exp(\alpha R V - 1.64 V) = 0.63 [-]$$

$$\sigma_R = 123.8 \text{ kN}$$

$$\mu_R = 825.2 \text{ kN}$$



§A5.4 - Belastingeffect aardbeving

[NEN-EN 1998]

De meewerkende massa van het gebouw (bij een aardbeving) wordt als volgt geschat:

$$\rho = 480 \text{ kg/m}^3$$

$$V = 6960 \text{ m}^3$$

$$M = 3340800 \text{ kg}$$

De berekeningen worden bij het ontwerp in het algemeen lineair elastisch uitgevoerd. Bij grotere belastingen zullen elementen hun vloeisterkte bereiken en kunnen hierna nog plastisch vervormen. Door herverdeling kan er meer belasting opgenomen worden. Dit wordt met de "behaviour factor" in rekening gebracht.

$$q_n = 3.5 [-] \quad \text{Factor welke het (plastische) gedrag in rekening brengt (≥ 1.0)}$$

Met behulp van het elastisch response spectrum, zoals dit is gedefinieerd in NEN-EN 1998-1, en aangevuld met de waarden uit de Handreiking voor het uitvoeren van studies naar het effect van aardbevingen voor het ministerie van Economische Zaken [3]:

$\eta =$	1.0 [-]	Uitgangspunt is een viskeuze demping van 5%
$S =$	1.0 [-]	Bodemfactor volgens [3]
$\gamma =$	2.8 [-]	Factor volgens [3]
$T_B =$	0.10 [-]	Ondergrens constante spectrale versnelling [3]
$T_C =$	0.35 [-]	Bovengrens constante spectrale versnelling [3]
$T_D =$	1.20 [-]	Periode die het begin aangeeft van de constante verplaatsingsrespons van het spectrum [3]

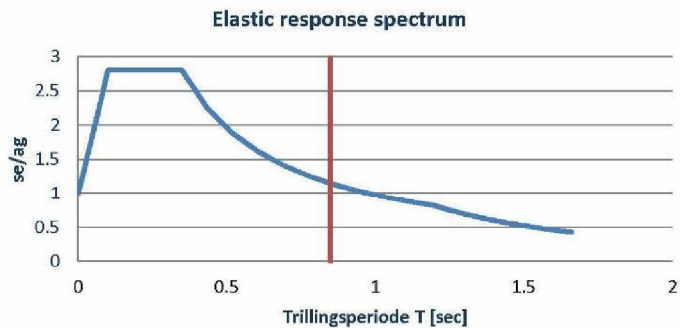
Bij de verschillende voorgedefinieerde aardbevingen zijn de horizontale versnellingen bekend:

Tabel 1.1 - Belastingeffect aardbeving

Aardbeving	[g]	Belasting
P ₅₀	3.9	648 kN
P ₁₀	4.8	3563 kN
P ₂	5.3	7233 kN

Inschatting trillingsperiode:

$$T_e = 0.85 \text{ sec}$$



Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 05

Blad:

5A5.5 - Toetsing

In de vergelijking tussen het belastingeffect van de aardbeving en de weerstand van het gebouw spelen nog enkele aanvullende factoren een rol. Zo wordt de gunstige bijdrage van de bouwkundige wanden en gevel met de volgende factor in rekening gebracht:

$$Y_{bouw} = 1.5 \quad \text{Factor gunstige bijdrage bouwkundige afwerking en gevel (≥ 1.0)}$$

Een ontwerp van een gebouw wordt in veel gevallen niet volledig uitgenut, er is dus een restcapaciteit aanwezig, welke bij de vraag of een gebouw schade ondervindt bij een aardbeving wel relevant is.

$$Y_{over} = 2.0 \quad \text{Factor welke de overcapaciteit in rekening brengt (≥ 1.0)}$$

De normale verdeling van de weerstand wordt daarmee gebaseerd op de volgende waarden:

$$\sigma_R = 371.3 \text{ kN}$$

$$\mu_R = 2475.5 \text{ kN}$$

Oriëntatie van de gebouwen ten opzichte van het epicentrum is van belang, daar de sterkte van het gebouw per richting verschilt. Met de volgende factor wordt dit meegenomen in de kansverdeling.

$$p = 1.00 \quad \text{Zwakke as 0 tot 30 graden}$$

$$p = 0.71 \quad \text{Zwakke as 30 tot 60 graden}$$

$$p = 0.25 \quad \text{Zwakke as 60 tot 90 graden}$$

Bij de verschillende aardbevingen is nu een schatting te maken welk percentage van de gebouwen bezwijkt.

Tabel 1.2 - Kans op bezwijken

Aardbeving	g	Kans op bezwijken
P ₆₀	3.9	0.06
P ₁₀	4.8	0.33
P ₂	5.3	0.67

Het bepalen of een gebouw schade heeft, gebeurt op een gelijke wijze, waarbij voor de weerstand enkel de restcapaciteit wordt meegenomen. Bij de andere twee factoren ontstaat immers schade. Voor het onderscheid tussen lichte en zware schade wordt onderscheid gemaakt tussen het in rekening brengen van het plastische gedrag. Indien dit optreedt ontstaat zware schade aan het gebouw.

Tabel 1.3 - Kans op schade

Aardbeving	g	Kans op geen schade	Kans op lichte schade	Kans op bezwijken
P ₆₀	3.9	0.06	90.11 %	9.89 %
P ₁₀	4.8	0.33	1.40 %	47.10 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	32.13 %

5A5.6 - Differentiatie per wijk

Afhankelijk van de afstand tot het epi-centrum is neemt de kracht van de aardbeving af. Hierdoor zal de kans op schade afnemen.

Tabel 1.4 – Reductie ten gevolge van de afstand tot Harstede

Wijk	Afstand [km]	Reductie aardbeving P10 [%]	Reductie aardbeving P2 [%]
Wijk 00 Binnenstad	8.8	70.0	57.0
Wijk 01 Schilders- en Zeeheldenwijk	9.9	61.0	52.0
Wijk 02 Oranjewijk	10.7	58.0	48.0
Wijk 03 Korrewegwijk	9	67.0	57.0
Wijk 04 Oosterparkwijk	8.1	73.0	61.0
Wijk 05 Oosterpoortwijk	6.3	88.0	72.0
Wijk 06 Herewegwijk en Helpman	8.3	73.0	60.0
Wijk 07 Stadsparkwijk	9.9	61.0	52.0
Wijk 08 Hoogkerk	13.3	45.0	39.0
Wijk 09 Noorddijk	6.1	88.0	72.0

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 05

Blad:

SA5.7 - Samenvatting resultaten

Tabel 1.5 - Kans op schade per wijk

Aardbeving	g	Kans op geen schade	Kans op lichte schade	Kans op bezijken	
Wijk 00					
P ₅₀	3.9	0.06	90.11 %	9.89 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	26.18 %	55.58 %	18.24 %
P ₂	5.3	0.67	0.04 %	37.23 %	62.73 %
Wijk 01					
P ₅₀	3.9	0.06	90.11 %	9.89 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	31.30 %	61.59 %	7.12 %
P ₂	5.3	0.67	0.47 %	43.21 %	56.32 %
Wijk 02					
P ₅₀	3.9	0.06	90.11 %	9.89 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	32.13 %	63.26 %	4.61 %
P ₂	5.3	0.67	2.16 %	48.69 %	49.15 %
Wijk 03					
P ₅₀	3.9	0.06	90.11 %	9.89 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	28.38 %	57.53 %	14.09 %
P ₂	5.3	0.67	0.04 %	37.23 %	62.73 %
Wijk 04					
P ₅₀	3.9	0.06	90.11 %	9.89 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	23.49 %	54.00 %	22.51 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	34.70 %	65.29 %
Wijk 05					
P ₅₀	3.9	0.06	90.11 %	9.89 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	7.85 %	51.98 %	40.17 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	33.33 %	66.67 %
Wijk 06					
P ₅₀	3.9	0.06	90.11 %	9.89 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	23.49 %	54.00 %	22.51 %
P ₂	5.3	0.67	0.01 %	35.16 %	64.83 %
Wijk 07					
P ₅₀	3.9	0.06	90.11 %	9.89 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	31.30 %	61.59 %	7.12 %
P ₂	5.3	0.67	0.47 %	43.21 %	56.32 %
Wijk 08					
P ₅₀	3.9	0.06	90.11 %	9.89 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	33.27 %	66.41 %	0.32 %
P ₂	5.3	0.67	16.92 %	52.36 %	30.72 %
Wijk 09					
P ₅₀	3.9	0.06	90.11 %	9.89 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	7.85 %	51.98 %	40.17 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	33.33 %	66.67 %

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 06

Blad:

A6 Probabilistische analyse

§A6.1 - Betrouwbaarheidsindex

[NEN-EN 1990, art. B3.2]

In deze berekening wordt gebruik gemaakt van de eerste-orde-betrouwbaarheidsmethoden (FORM), een niveau II probabilistische methode. Dit is de methode c waarvan in de eurocodes gebruik gemaakt wordt.

Voor de weerstand R en het belastingeffect E is de prestatiefunctie g :

$$g = R - E \quad (1.1)$$

Hierbij is de bezwijkgrens $g = R - E = 0$. Voor de stochastische variabelen E en g wordt aangenomen dat deze normaal verdeeld zijn. Voor de stochastische variabele wordt aangenomen dat deze lognormaal verdeeld is. De betrouwbaarheidsindex wordt dan als volgt gedefinieerd:

$$\beta = \mu_g / \sigma_g \quad (1.2)$$

waarbij:

$\beta = 3.8$ is de betrouwbaarheidsindex van dit gebouw

μ_g is de gemiddelde waarde van g en

σ_g is de standaardafwijking.

De kans op falen dat correspondeert met deze betrouwbaarheidsindex kan berekend worden met de cumulatieve dichtheidsfunctie van de normale verdeling.

$$\Phi(x) = \frac{1}{2} [1 + \text{erf}(x/\sqrt{2})] \quad (1.3)$$

$$P_f = 1 - \Phi(x) = 7.23E-05 \quad (1.4)$$

§A6.2 - Belastingeffect E

[NEN-EN 1990, art. C7]

In de berekening wordt de horizontale belasting op het gebouw ten gevolge van wind vergeleken met de horizontale belasting op het gebouw door de horizontale versnellingen ten gevolge van de voorgedefinieerde aardbevingen.

$$\Sigma F_{hor,wind} = 541.8 \text{ kN} \quad \text{Karakteristieke waarde}$$

Over de representatieve waarde wordt in de partiële factoren methode een belastingfactor toegepast

$$\gamma_f = 1.5 [-] \quad \text{Belastingfactor}$$

Hiemee kan de rekenwaarde voor het belastingeffect bepaald worden:

$$E_d = E_{rep} \times \gamma_f = 812.7 \text{ kN} \quad (1.5)$$

§A6.3 - Weerstand R

[NEN-EN 1990, art. C7]

De rekenwaarde van het belastingeffect wordt gelijk gesteld aan de rekenwaarde van de weerstand, het gebouw wordt ontworpen dat het de belasting juist kan weerstaan (volgens de normen).

$$R_d = 812.7 \text{ kN}$$

De weerstand heeft een lognormale verdeling, waarvoor de volgende formule een relatie legt tussen de gemiddelde waarde, standaard deviatie en de rekenwaarde.

$$R_d = \mu_R \exp(-\alpha_R \beta_R V) \quad (1.6)$$

$\beta = 3.8$ is de betrouwbaarheidsindex,

μ_R is de gemiddelde waarde van de weerstand,

α_R is de FORM-gevoeligheidsfactor,

V_R is de variatiecoëfficiënt.

De variatiecoëfficiënt is afhankelijk van het materiaal:

$$V_R = 0.15 [-] \quad \text{Gebaseerd op beton op trek}$$

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 06

Blad:

De gevoeligheidsfactoren zijn gedefinieerd in de eurocodes:

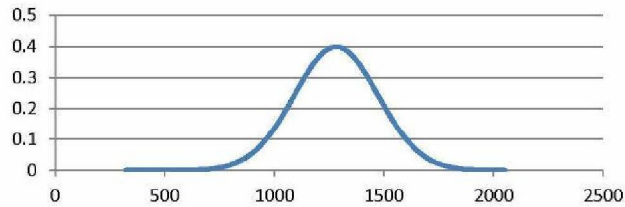
$$\alpha_R = 0.8 [-]$$

De gemiddelde en de standaarddeviatie van de weerstand zijn onbekend, maar kunnen bepaald worden op basis van de voorgaande formule:

$$\exp(\alpha R V - 1.64 V) = 0.63 [-]$$

$$\sigma_R = 192.3 \text{ kN}$$

$$\mu_R = 1282.2 \text{ kN}$$



§A6.4 - Belastingeffect aardbeving

[NEN-EN 1998]

De meewerkende massa van het gebouw (bij een aardbeving) wordt als volgt geschat:

$$\rho = 480 \text{ kg/m}^3$$

$$V = 5011.2 \text{ m}^3$$

$$M = 2405376 \text{ kg}$$

De berekeningen worden bij het ontwerp in het algemeen lineair elastisch uitgevoerd. Bij grotere belastingen zullen elementen hun vloeisterkte bereiken en kunnen hierna nog plastisch vervormen. Door herverdeling kan er meer belasting opgenomen worden. Dit wordt met de "behaviour factor" in rekening gebracht.

$$q_n = 3.5 [-] \quad \text{Factor welke het (plastische) gedrag in rekening brengt (≥ 1.0)}$$

Met behulp van het elastisch response spectrum, zoals dit is gedefinieerd in NEN-EN 1998-1, en aangevuld met de waarden uit de Handreiking voor het uitvoeren van studies naar het effect van aardbevingen voor het ministerie van Economische Zaken [3]:

$\eta =$	1.0 [-]	Uitgangspunt is een viskeuze demping van 5%
$S =$	1.0 [-]	Bodemfactor volgens [3]
$\gamma =$	2.8 [-]	Factor volgens [3]
$T_B =$	0.10 [-]	Ondergrens constante spectrale versnelling [3]
$T_C =$	0.35 [-]	Bovengrens constante spectrale versnelling [3]
$T_D =$	1.20 [-]	Periode die het begin aangeeft van de constante verplaatsingsrespons van het spectrum [3]

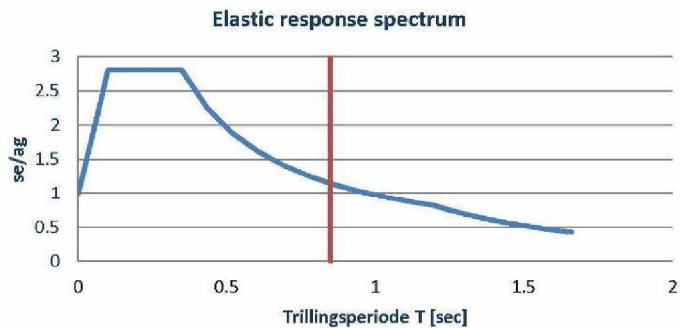
Bij de verschillende voorgedefinieerde aardbevingen zijn de horizontale versnellingen bekend:

Tabel 1.1 - Belastingeffect aardbeving

Aardbeving	[g]	Belasting
P ₅₀	3.9	456 kN
P ₁₀	4.8	2565 kN
P ₂	5.3	5208 kN

Inschatting trillingsperiode:

$$T_e = 0.85 \text{ sec}$$



Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 06

Blad:

5A6.5 - Toetsing

In de vergelijking tussen het belastingeffect van de aardbeving en de weerstand van het gebouw spelen nog enkele aanvullende factoren een rol. Zo wordt de gunstige bijdrage van de bouwkundige wanden en gevel met de volgende factor in rekening gebracht:

$$Y_{\text{bouw}} = 1.5 \text{ [-]} \quad \text{Factor gunstige bijdrage bouwkundige afwerking en gevel (≥ 1.0)}$$

Een ontwerp van een gebouw wordt in veel gevallen niet volledig uitgenut, er is dus een restcapaciteit aanwezig, welke bij de vraag of een gebouw schade ondervindt bij een aardbeving wel relevant is.

$$Y_{\text{over}} = 2.0 \text{ [-]} \quad \text{Factor welke de overcapaciteit in rekening brengt (≥ 1.0)}$$

De normale verdeling van de weerstand wordt daarmee gebaseerd op de volgende waarden:

$$\sigma_R = 577.0 \text{ kN}$$

$$\mu_R = 3846.5 \text{ kN}$$

Oriëntatie van de gebouwen ten opzichte van het epicentrum is van belang, daar de sterkte van het gebouw per richting verschilt. Met de volgende factor wordt dit meegenomen in de kansverdeling.

$$p = 1.00 \text{ [-]} \quad \text{Zwakke as 0 tot 30 graden}$$

$$p = 0.71 \text{ [-]} \quad \text{Zwakke as 30 tot 60 graden}$$

$$p = 0.25 \text{ [-]} \quad \text{Zwakke as 60 tot 90 graden}$$

Bij de verschillende aardbevingen is nu een schatting te maken welk percentage van de gebouwen bezwijkt.

Tabel 1.2 - Kans op bezwijken

Aardbeving	g	Kans op bezwijken
P ₆₀	3.9	0.06
P ₁₀	4.8	0.33
P ₂	5.3	0.67

Het bepalen of een gebouw schade heeft, gebeurt op een gelijke wijze, waarbij voor de weerstand enkel de restcapaciteit wordt meegenomen. Bij de andere twee factoren ontstaat immers schade. Voor het onderscheid tussen lichte en zware schade wordt onderscheid gemaakt tussen het in rekening brengen van het plastische gedrag. Indien dit optreedt ontstaat zware schade aan het gebouw.

Tabel 1.3 - Kans op schade

Aardbeving	g	Kans op geen schade	Kans op lichte schade	Kans op bezwijken
P ₆₀	3.9	0.06	100.00 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	33.24 %	66.31 %
P ₂	5.3	0.67	3.64 %	50.40 %

5A6.6 - Differentiatie per wijk

Afhankelijk van de afstand tot het epi-centrum is neemt de kracht van de aardbeving af. Hierdoor zal de kans op schade afnemen.

Tabel 1.4 – Reductie ten gevolge van de afstand tot Harstede

Wijk	Afstand [km]	Reductie aardbeving P10 [%]	Reductie aardbeving P2 [%]
Wijk 00 Binnenstad	8.8	70.0	57.0
Wijk 01 Schilders- en Zeeheldenwijk	9.9	61.0	52.0
Wijk 02 Oranjewijk	10.7	58.0	48.0
Wijk 03 Korrewegwijk	9	67.0	57.0
Wijk 04 Oosterparkwijk	8.1	73.0	61.0
Wijk 05 Oosterpoortwijk	6.3	88.0	72.0
Wijk 06 Herewegwijk en Helpman	8.3	73.0	60.0
Wijk 07 Stadsparkwijk	9.9	61.0	52.0
Wijk 08 Hoogkerk	13.3	45.0	39.0
Wijk 09 Noorddijk	6.1	88.0	72.0

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 06

Blad:

SA6.7 - Samenvatting resultaten

Tabel 1.5 - Kans op schade per wijk

Aardbeving	g	Kans op geen schade	Kans op lichte schade	Kans op bezijken	
Wijk 00					
P ₅₀	3.9	0.06	100.00 %	0.00 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	38.34 %	61.65 %	0.01 %
P ₂	5.3	0.67	32.83 %	65.00 %	2.18 %
Wijk 01					
P ₅₀	3.9	0.06	100.00 %	0.00 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	49.48 %	50.52 %	0.00 %
P ₂	5.3	0.67	33.16 %	66.02 %	0.82 %
Wijk 02					
P ₅₀	3.9	0.06	100.00 %	0.00 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	54.05 %	45.95 %	0.00 %
P ₂	5.3	0.67	33.27 %	66.40 %	0.33 %
Wijk 03					
P ₅₀	3.9	0.06	100.00 %	0.00 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	41.35 %	58.65 %	0.00 %
P ₂	5.3	0.67	32.83 %	65.00 %	2.18 %
Wijk 04					
P ₅₀	3.9	0.06	100.00 %	0.00 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	36.20 %	63.79 %	0.01 %
P ₂	5.3	0.67	32.26 %	63.55 %	4.19 %
Wijk 05					
P ₅₀	3.9	0.06	100.00 %	0.00 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	33.36 %	66.54 %	0.10 %
P ₂	5.3	0.67	27.88 %	57.03 %	15.09 %
Wijk 06					
P ₅₀	3.9	0.06	100.00 %	0.00 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	36.20 %	63.79 %	0.01 %
P ₂	5.3	0.67	32.44 %	63.97 %	3.59 %
Wijk 07					
P ₅₀	3.9	0.06	100.00 %	0.00 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	49.48 %	50.52 %	0.00 %
P ₂	5.3	0.67	33.16 %	66.02 %	0.82 %
Wijk 08					
P ₅₀	3.9	0.06	100.00 %	0.00 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	77.52 %	22.48 %	0.00 %
P ₂	5.3	0.67	34.01 %	65.96 %	0.03 %
Wijk 09					
P ₅₀	3.9	0.06	100.00 %	0.00 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	33.36 %	66.54 %	0.10 %
P ₂	5.3	0.67	27.88 %	57.03 %	15.09 %

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 07

Blad:

A7 Probabilistische analyse

§A7.1 - Betrouwbaarheidsindex

[NEN-EN 1990, art. B3.2]

In deze berekening wordt gebruik gemaakt van de eerste-orde-betrouwbaarheidsmethoden (FORM), een niveau II probabilistische methode. Dit is de methode c waarvan in de eurocodes gebruik gemaakt wordt.

Voor de weerstand R en het belastingeffect E is de prestatiefunctie g :

$$g = R - E \quad (1.1)$$

Hierbij is de bezwijkgrens $g = R - E = 0$. Voor de stochastische variabelen E en g wordt aangenomen dat deze normaal verdeeld zijn. Voor de stochastische variabele wordt aangenomen dat deze lognormaal verdeeld is. De betrouwbaarheidsindex wordt dan als volgt gedefinieerd:

$$\beta = \mu_g / \sigma_g \quad (1.2)$$

waarbij:

$\beta = 3.8$ is de betrouwbaarheidsindex van dit gebouw

μ_g is de gemiddelde waarde van g en

σ_g is de standaardafwijking.

De kans op falen dat correspondeert met deze betrouwbaarheidsindex kan berekend worden met de cumulatieve dichtheidsfunctie van de normale verdeling.

$$\Phi(x) = \frac{1}{2} [1 + \operatorname{erf}(x/\sqrt{2})] \quad (1.3)$$

$$P_f = 1 - \Phi(x) = 7.23E-05 \quad (1.4)$$

§A7.2 - Belastingeffect E

[NEN-EN 1990, art. C7]

In de berekening wordt de horizontale belasting op het gebouw ten gevolge van wind vergeleken met de horizontale belasting op het gebouw door de horizontale versnellingen ten gevolge van de voorgedefinieerde aardbevingen.

$$\Sigma F_{hor,wind} = 39.1 \text{ kN} \quad \text{Karakteristieke waarde}$$

Over de representatieve waarde wordt in de partiële factoren methode een belastingfactor toegepast

$$\gamma_f = 1.35 [-] \quad \text{Belastingfactor}$$

Hiemee kan de rekenwaarde voor het belastingeffect bepaald worden:

$$E_d = E_{rep} \times \gamma_f = 52.7 \text{ kN} \quad (1.5)$$

§A7.3 - Weerstand R

[NEN-EN 1990, art. C7]

De rekenwaarde van het belastingeffect wordt gelijk gesteld aan de rekenwaarde van de weerstand, het gebouw wordt ontworpen dat het de belasting juist kan weerstaan (volgens de normen).

$$R_d = 52.7 \text{ kN}$$

De weerstand heeft een lognormale verdeling, waarvoor de volgende formule een relatie legt tussen de gemiddelde waarde, standaard deviatie en de rekenwaarde.

$$R_d = \mu_R \exp(-\alpha_R \beta_R V) \quad (1.6)$$

$\beta = 3.8$ is de betrouwbaarheidsindex,

μ_R is de gemiddelde waarde van de weerstand,

α_R is de FORM-gevoeligheidsfactor,

V_R is de variatiecoëfficiënt.

De variatiecoëfficiënt is afhankelijk van het materiaal:

$$V_R = 0.2 [-] \quad \text{Gebaseerd op beton op trek}$$

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 07

Blad:

De gevoeligheidsfactoren zijn gedefinieerd in de eurocodes:

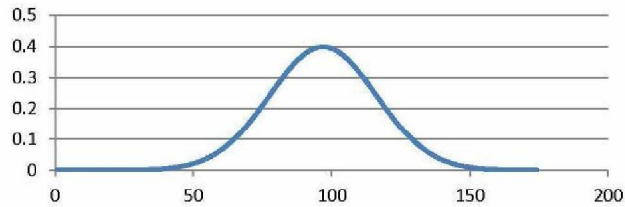
$$\alpha_R = 0.8 [-]$$

De gemiddelde en de standaarddeviatie van de weerstand zijn onbekend, maar kunnen bepaald worden op basis van de voorgaande formule:

$$\exp(\alpha R V - 1.64 V) = 0.54 [-]$$

$$\sigma_R = 19.4 \text{ kN}$$

$$\mu_R = 96.9 \text{ kN}$$



§A7.4 - Belastingeffect aardbeving

[NEN-EN 1998]

De meewerkende massa van het gebouw (bij een aardbeving) wordt als volgt geschat:

$$\rho = 510 \text{ kg/m}^3$$

$$V = 259.7 \text{ m}^3$$

$$M = 132447 \text{ kg}$$

De berekeningen worden bij het ontwerp in het algemeen lineair elastisch uitgevoerd. Bij grotere belastingen zullen elementen hun vloeisterkte bereiken en kunnen hierna nog plastisch vervormen. Door herverdeling kan er meer belasting opgenomen worden. Dit wordt met de "behaviour factor" in rekening gebracht.

$$q_n = 2.5 [-] \quad \text{Factor welke het (plastische) gedrag in rekening brengt (≥ 1.0)}$$

Met behulp van het elastisch response spectrum, zoals dit is gedefinieerd in NEN-EN 1998-1, en aangevuld met de waarden uit de Handreiking voor het uitvoeren van studies naar het effect van aardbevingen voor het ministerie van Economische Zaken [3]:

$\eta =$	1.0 [-]	Uitgangspunt is een viskeuze demping van 5%
$S =$	1.0 [-]	Bodemfactor volgens [3]
$\gamma =$	2.8 [-]	Factor volgens [3]
$T_B =$	0.10 [-]	Ondergrens constante spectrale versnelling [3]
$T_C =$	0.35 [-]	Bovengrens constante spectrale versnelling [3]
$T_D =$	1.20 [-]	Periode die het begin aangeeft van de constante verplaatsingsrespons van het spectrum [3]

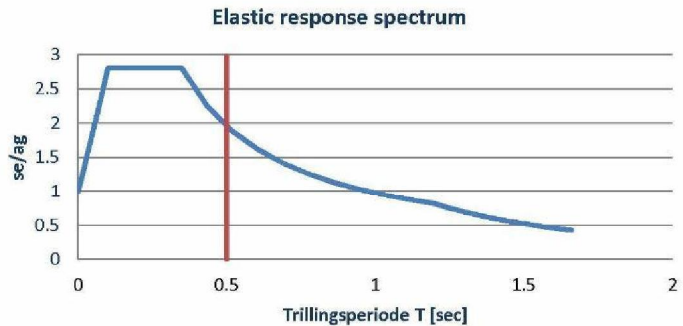
Bij de verschillende voorgedefinieerde aardbevingen zijn de horizontale versnellingen bekend:

Tabel 1.1 - Belastingeffect aardbeving

Aardbeving	[g]	Belasting
P ₅₀	3.9	61 kN
P ₁₀	4.8	336 kN
P ₂	5.3	682 kN

Inschatting trillingsperiode:

$$T_e = 0.50 \text{ sec}$$



Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 07

Blad:

5A7.5 - Toetsing

In de vergelijking tussen het belastingeffect van de aardbeving en de weerstand van het gebouw spelen nog enkele aanvullende factoren een rol. Zo wordt de gunstige bijdrage van de bouwkundige wanden en gevel met de volgende factor in rekening gebracht:

$$Y_{\text{bouw}} = 3.0 \quad \text{Factor gunstige bijdrage bouwkundige afwerking en gevel (≥ 1.0)}$$

Een ontwerp van een gebouw wordt in veel gevallen niet volledig uitgenut, er is dus een restcapaciteit aanwezig, welke bij de vraag of een gebouw schade ondervindt bij een aardbeving wel relevant is.

$$Y_{\text{over}} = 2.0 \quad \text{Factor welke de overcapaciteit in rekening brengt (≥ 1.0)}$$

De normale verdeling van de weerstand wordt daarmee gebaseerd op de volgende waarden:

$$\sigma_R = 116.3 \text{ kN}$$

$$\mu_R = 581.3 \text{ kN}$$

Oriëntatie van de gebouwen ten opzichte van het epicentrum is van belang, daar de sterkte van het gebouw per richting verschilt. Met de volgende factor wordt dit meegenomen in de kansverdeling.

$$p = 1.00 \quad \text{Zwakke as 0 tot 30 graden}$$

$$p = 0.71 \quad \text{Zwakke as 30 tot 60 graden}$$

$$p = 0.25 \quad \text{Zwakke as 60 tot 90 graden}$$

Bij de verschillende aardbevingen is nu een schatting te maken welk percentage van de gebouwen bezwijkt.

Tabel 1.2 - Kans op bezwijken

Aardbeving	g	Kans op bezwijken
P ₆₀	3.9	0.06
P ₁₀	4.8	0.33
P ₂	5.3	0.67

Het bepalen of een gebouw schade heeft, gebeurt op een gelijke wijze, waarbij voor de weerstand enkel de restcapaciteit wordt meegenomen. Bij de andere twee factoren ontstaat immers schade. Voor het onderscheid tussen lichte en zware schade wordt onderscheid gemaakt tussen het in rekening brengen van het plastische gedrag. Indien dit optreedt ontstaat zware schade aan het gebouw.

Tabel 1.3 - Kans op schade

Aardbeving	g	Kans op geen schade	Kans op lichte schade	Kans op bezwijken
P ₆₀	3.9	0.06	100.00 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	48.92 %	50.44 %
P ₂	5.3	0.67	30.28 %	36.18 %

5A7.6 - Differentiatie per wijk

Afhankelijk van de afstand tot het epi-centrum is neemt de kracht van de aardbeving af. Hierdoor zal de kans op schade afnemen.

Tabel 1.4 – Reductie ten gevolge van de afstand tot Harstede

Wijk	Afstand [km]	Reductie aardbeving P10 [%]	Reductie aardbeving P2 [%]
Wijk 00 Binnenstad	8.8	70.0	57.0
Wijk 01 Schilders- en Zeeheldenwijk	9.9	61.0	52.0
Wijk 02 Oranjewijk	10.7	58.0	48.0
Wijk 03 Korrewegwijk	9	67.0	57.0
Wijk 04 Oosterparkwijk	8.1	73.0	61.0
Wijk 05 Oosterpoortwijk	6.3	88.0	72.0
Wijk 06 Herewegwijk en Helpman	8.3	73.0	60.0
Wijk 07 Stadsparkwijk	9.9	61.0	52.0
Wijk 08 Hoogkerk	13.3	45.0	39.0
Wijk 09 Noorddijk	6.1	88.0	72.0

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 07

Blad:

SA7.7 - Samenvatting resultaten

Tabel 1.5 - Kans op schade per wijk

Aardbeving	g	Kans op geen schade	Kans op lichte schade	Kans op bezijken	
Wijk 00					
P ₅₀	3.9	0.06	100.00 %	0.00 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	79.94 %	20.00 %	0.05 %
P ₂	5.3	0.67	39.28 %	58.94 %	1.78 %
Wijk 01					
P ₅₀	3.9	0.06	100.00 %	0.00 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	89.75 %	10.23 %	0.02 %
P ₂	5.3	0.67	44.97 %	54.10 %	0.93 %
Wijk 02					
P ₅₀	3.9	0.06	100.00 %	0.00 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	92.31 %	7.67 %	0.02 %
P ₂	5.3	0.67	50.91 %	48.57 %	0.53 %
Wijk 03					
P ₅₀	3.9	0.06	100.00 %	0.00 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	83.48 %	16.48 %	0.04 %
P ₂	5.3	0.67	39.28 %	58.94 %	1.78 %
Wijk 04					
P ₅₀	3.9	0.06	100.00 %	0.00 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	76.28 %	23.65 %	0.07 %
P ₂	5.3	0.67	36.29 %	60.88 %	2.83 %
Wijk 05					
P ₅₀	3.9	0.06	100.00 %	0.00 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	59.28 %	40.46 %	0.26 %
P ₂	5.3	0.67	33.25 %	58.68 %	8.07 %
Wijk 06					
P ₅₀	3.9	0.06	100.00 %	0.00 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	76.28 %	23.65 %	0.07 %
P ₂	5.3	0.67	36.91 %	60.56 %	2.53 %
Wijk 07					
P ₅₀	3.9	0.06	100.00 %	0.00 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	89.75 %	10.23 %	0.02 %
P ₂	5.3	0.67	44.97 %	54.10 %	0.93 %
Wijk 08					
P ₅₀	3.9	0.06	100.00 %	0.00 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	98.54 %	1.46 %	0.00 %
P ₂	5.3	0.67	68.80 %	31.08 %	0.12 %
Wijk 09					
P ₅₀	3.9	0.06	100.00 %	0.00 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	59.28 %	40.46 %	0.26 %
P ₂	5.3	0.67	33.25 %	58.68 %	8.07 %

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 08

Blad:

A8 Probabilistische analyse

§A8.1 - Betrouwbaarheidsindex

[NEN-EN 1990, art. B3.2]

In deze berekening wordt gebruik gemaakt van de eerste-orde-betrouwbaarheidsmethoden (FORM), een niveau II probabilistische methode. Dit is de methode c waarvan in de eurocodes gebruik gemaakt wordt.

Voor de weerstand R en het belastingeffect E is de prestatiefunctie g :

$$g = R - E \quad (1.1)$$

Hierbij is de bezwijkgrens $g = R - E = 0$. Voor de stochastische variabelen E en g wordt aangenomen dat deze normaal verdeeld zijn. Voor de stochastische variabele wordt aangenomen dat deze lognormaal verdeeld is. De betrouwbaarheidsindex wordt dan als volgt gedefinieerd:

$$\beta = \mu_g / \sigma_g \quad (1.2)$$

waarbij:

$\beta = 3.8$ is de betrouwbaarheidsindex van dit gebouw

μ_g is de gemiddelde waarde van g en

σ_g is de standaardafwijking.

De kans op falen dat correspondeert met deze betrouwbaarheidsindex kan berekend worden met de cumulatieve dichtheidsfunctie van de normale verdeling.

$$\Phi(x) = \frac{1}{2} [1 + \operatorname{erf}(x/\sqrt{2})] \quad (1.3)$$

$$P_f = 1 - \Phi(x) = 7.23E-05 \quad (1.4)$$

§A8.2 - Belastingeffect E

[NEN-EN 1990, art. C7]

In de berekening wordt de horizontale belasting op het gebouw ten gevolge van wind vergeleken met de horizontale belasting op het gebouw door de horizontale versnellingen ten gevolge van de voorgedefinieerde aardbevingen.

$$\Sigma F_{hor,wind} = 221.1 \text{ kN} \quad \text{Karakteristieke waarde}$$

Over de representatieve waarde wordt in de partiële factoren methode een belastingfactor toegepast

$$\gamma_f = 1.5 [-] \quad \text{Belastingfactor}$$

Hiemee kan de rekenwaarde voor het belastingeffect bepaald worden:

$$E_d = E_{rep} \times \gamma_f = 331.7 \text{ kN} \quad (1.5)$$

§A8.3 - Weerstand R

[NEN-EN 1990, art. C7]

De rekenwaarde van het belastingeffect wordt gelijk gesteld aan de rekenwaarde van de weerstand, het gebouw wordt ontworpen dat het de belasting juist kan weerstaan (volgens de normen).

$$R_d = 331.7 \text{ kN}$$

De weerstand heeft een lognormale verdeling, waarvoor de volgende formule een relatie legt tussen de gemiddelde waarde, standaard deviatie en de rekenwaarde.

$$R_d = \mu_R \exp(-\alpha_R \beta_R V) \quad (1.6)$$

$\beta = 3.8$ is de betrouwbaarheidsindex,

μ_R is de gemiddelde waarde van de weerstand,

α_R is de FORM-gevoeligheidsfactor,

V_R is de variatiecoëfficiënt.

De variatiecoëfficiënt is afhankelijk van het materiaal:

$$V_R = 0.15 [-] \quad \text{Gebaseerd op beton op trek}$$

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 08

Blad:

De gevoeligheidsfactoren zijn gedefinieerd in de eurocodes:

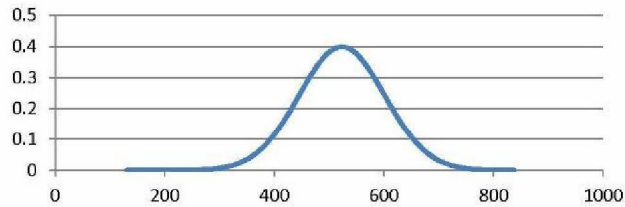
$$\alpha_R = 0.8 [-]$$

De gemiddelde en de standaarddeviatie van de weerstand zijn onbekend, maar kunnen bepaald worden op basis van de voorgaande formule:

$$\exp(\alpha R V - 1.64 V) = 0.63 [-]$$

$$\sigma_R = 78.5 \text{ kN}$$

$$\mu_R = 523.3 \text{ kN}$$



§A8.4 - Belastingeffect aardbeving

[NEN-EN 1998]

De meewerkende massa van het gebouw (bij een aardbeving) wordt als volgt geschat:

$$\rho = 360 \text{ kg/m}^3$$

$$V = 13920 \text{ m}^3$$

$$M = 5011200 \text{ kg}$$

De berekeningen worden bij het ontwerp in het algemeen lineair elastisch uitgevoerd. Bij grotere belastingen zullen elementen hun vloeisterkte bereiken en kunnen hierna nog plastisch vervormen. Door herverdeling kan er meer belasting opgenomen worden. Dit wordt met de "behaviour factor" in rekening gebracht.

$$q_n = 3.0 [-] \quad \text{Factor welke het (plastische) gedrag in rekening brengt (≥ 1.0)}$$

Met behulp van het elastisch response spectrum, zoals dit is gedefinieerd in NEN-EN 1998-1, en aangevuld met de waarden uit de Handreiking voor het uitvoeren van studies naar het effect van aardbevingen voor het ministerie van Economische Zaken [3]:

$\eta =$	1.0 [-]	Uitgangspunt is een viskeuze demping van 5%
$S =$	1.0 [-]	Bodemfactor volgens [3]
$\gamma =$	2.8 [-]	Factor volgens [3]
$T_B =$	0.10 [-]	Ondergrens constante spectrale versnelling [3]
$T_C =$	0.35 [-]	Bovengrens constante spectrale versnelling [3]
$T_D =$	1.20 [-]	Periode die het begin aangeeft van de constante verplaatsingsrespons van het spectrum [3]

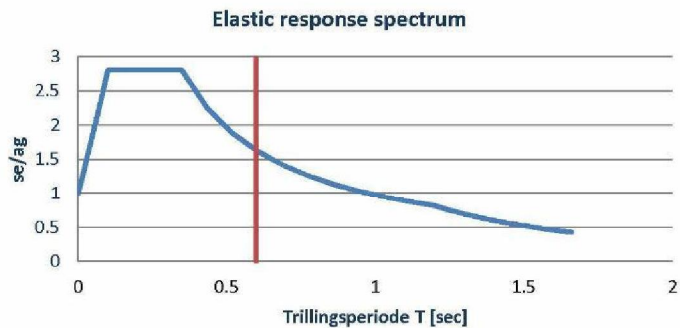
Bij de verschillende voorgedefinieerde aardbevingen zijn de horizontale versnellingen bekend:

Tabel 1.1 - Belastingeffect aardbeving

Aardbeving	[g]	Belasting
P ₅₀	3.9	1606 kN
P ₁₀	4.8	8832 kN
P ₂	5.3	17932 kN

Inschatting trillingsperiode:

$$T_e = 0.60 \text{ sec}$$



Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 08

Blad:

5A8.5 - Toetsing

In de vergelijking tussen het belastingeffect van de aardbeving en de weerstand van het gebouw spelen nog enkele aanvullende factoren een rol. Zo wordt de gunstige bijdrage van de bouwkundige wanden en gevel met de volgende factor in rekening gebracht:

$$Y_{\text{bouw}} = 2.0 \text{ [-]} \quad \text{Factor gunstige bijdrage bouwkundige afwerking en gevel (≥ 1.0)}$$

Een ontwerp van een gebouw wordt in veel gevallen niet volledig uitgenut, er is dus een restcapaciteit aanwezig, welke bij de vraag of een gebouw schade ondervindt bij een aardbeving wel relevant is.

$$Y_{\text{over}} = 2.0 \text{ [-]} \quad \text{Factor welke de overcapaciteit in rekening brengt (≥ 1.0)}$$

De normale verdeling van de weerstand wordt daarmee gebaseerd op de volgende waarden:

$$\sigma_R = 314.0 \text{ kN}$$

$$\mu_R = 2093.1 \text{ kN}$$

Oriëntatie van de gebouwen ten opzichte van het epicentrum is van belang, daar de sterkte van het gebouw per richting verschilt. Met de volgende factor wordt dit meegenomen in de kansverdeling.

$$p = 1.00 \text{ [-]} \quad \text{Zwakke as 0 tot 30 graden}$$

$$p = 0.71 \text{ [-]} \quad \text{Zwakke as 30 tot 60 graden}$$

$$p = 0.25 \text{ [-]} \quad \text{Zwakke as 60 tot 90 graden}$$

Bij de verschillende aardbevingen is nu een schatting te maken welk percentage van de gebouwen bezwijkt.

Tabel 1.2 - Kans op bezwijken

Aardbeving	g	Kans op bezwijken
P ₆₀	3.9	0.06
P ₁₀	4.8	0.33
P ₂	5.3	0.67

Het bepalen of een gebouw schade heeft, gebeurt op een gelijke wijze, waarbij voor de weerstand enkel de restcapaciteit wordt meegenomen. Bij de andere twee factoren ontstaat immers schade. Voor het onderscheid tussen lichte en zware schade wordt onderscheid gemaakt tussen het in rekening brengen van het plastische gedrag. Indien dit optreedt ontstaat zware schade aan het gebouw.

Tabel 1.3 - Kans op schade

Aardbeving	g	Kans op geen schade	Kans op lichte schade	Kans op bezwijken
P ₆₀	3.9	0.06	33.26 %	66.72 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	11.90 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	0.00 %

5A8.6 - Differentiatie per wijk

Afhankelijk van de afstand tot het epi-centrum is neemt de kracht van de aardbeving af. Hierdoor zal de kans op schade afnemen.

Tabel 1.4 – Reductie ten gevolge van de afstand tot Harstede

Wijk	Afstand [km]	Reductie aardbeving P10 [%]	Reductie aardbeving P2 [%]
Wijk 00 Binnenstad	8.8	70.0	57.0
Wijk 01 Schilders- en Zeeheldenwijk	9.9	61.0	52.0
Wijk 02 Oranjewijk	10.7	58.0	48.0
Wijk 03 Korrewegwijk	9	67.0	57.0
Wijk 04 Oosterparkwijk	8.1	73.0	61.0
Wijk 05 Oosterpoortwijk	6.3	88.0	72.0
Wijk 06 Herewegwijk en Helpman	8.3	73.0	60.0
Wijk 07 Stadsparkwijk	9.9	61.0	52.0
Wijk 08 Hoogkerk	13.3	45.0	39.0
Wijk 09 Noorddijk	6.1	88.0	72.0

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 08

Blad:

SA8.7 - Samenvatting resultaten

Tabel 1.5 - Kans op schade per wijk

Aardbeving	g	Kans op geen schade	Kans op lichte schade	Kans op bezijken	
Wijk 00					
P ₅₀	3.9	0.06	33.26 %	66.72 %	0.02 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	31.98 %	68.02 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	2.35 %	97.65 %
Wijk 01					
P ₅₀	3.9	0.06	33.26 %	66.72 %	0.02 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	33.04 %	66.96 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	7.47 %	92.53 %
Wijk 02					
P ₅₀	3.9	0.06	33.26 %	66.72 %	0.02 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	33.17 %	66.83 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	14.19 %	85.81 %
Wijk 03					
P ₅₀	3.9	0.06	33.26 %	66.72 %	0.02 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	32.49 %	67.51 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	2.35 %	97.65 %
Wijk 04					
P ₅₀	3.9	0.06	33.26 %	66.72 %	0.02 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	31.24 %	68.76 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	0.68 %	99.32 %
Wijk 05					
P ₅₀	3.9	0.06	33.26 %	66.72 %	0.02 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	22.78 %	77.22 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	0.01 %	99.99 %
Wijk 06					
P ₅₀	3.9	0.06	33.26 %	66.72 %	0.02 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	31.24 %	68.76 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	0.96 %	99.04 %
Wijk 07					
P ₅₀	3.9	0.06	33.26 %	66.72 %	0.02 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	33.04 %	66.96 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	7.47 %	92.53 %
Wijk 08					
P ₅₀	3.9	0.06	33.26 %	66.72 %	0.02 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.08 %	33.62 %	66.30 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	28.79 %	71.21 %
Wijk 09					
P ₅₀	3.9	0.06	33.26 %	66.72 %	0.02 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	22.78 %	77.22 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	0.01 %	99.99 %

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 09

Blad:

A9 Probabilistische analyse

§A9.1 - Betrouwbaarheidsindex

[NEN-EN 1990, art. B3.2]

In deze berekening wordt gebruik gemaakt van de eerste-orde-betrouwbaarheidsmethoden (FORM), een niveau II probabilistische methode. Dit is de methode c waarvan in de eurocodes gebruik gemaakt wordt.

Voor de weerstand R en het belastingeffect E is de prestatiefunctie g :

$$g = R - E \quad (1.1)$$

Hierbij is de bezwijkgrens $g = R - E = 0$. Voor de stochastische variabelen E en g wordt aangenomen dat deze normaal verdeeld zijn. Voor de stochastische variabele wordt aangenomen dat deze lognormaal verdeeld is. De betrouwbaarheidsindex wordt dan als volgt gedefinieerd:

$$\beta = \mu_g / \sigma_g \quad (1.2)$$

waarbij:

$\beta = 3.8$ is de betrouwbaarheidsindex van dit gebouw

μ_g is de gemiddelde waarde van g en

σ_g is de standaardafwijking.

De kans op falen dat correspondeert met deze betrouwbaarheidsindex kan berekend worden met de cumulatieve dichtheidsfunctie van de normale verdeling.

$$\Phi(x) = \frac{1}{2} [1 + \operatorname{erf}(x/\sqrt{2})] \quad (1.3)$$

$$P_f = 1 - \Phi(x) = 7.23E-05 \quad (1.4)$$

§A9.2 - Belastingeffect E

[NEN-EN 1990, art. C7]

In de berekening wordt de horizontale belasting op het gebouw ten gevolge van wind vergeleken met de horizontale belasting op het gebouw door de horizontale versnellingen ten gevolge van de voorgedefinieerde aardbevingen.

$$\Sigma F_{hor,wind} = 533.7 \text{ kN} \quad \text{Karakteristieke waarde}$$

Over de representatieve waarde wordt in de partiële factoren methode een belastingfactor toegepast

$$\gamma_f = 1.5 [-] \quad \text{Belastingfactor}$$

Hiemee kan de rekenwaarde voor het belastingeffect bepaald worden:

$$E_d = E_{rep} \times \gamma_f = 800.6 \text{ kN} \quad (1.5)$$

§A9.3 - Weerstand R

[NEN-EN 1990, art. C7]

De rekenwaarde van het belastingeffect wordt gelijk gesteld aan de rekenwaarde van de weerstand, het gebouw wordt ontworpen dat het de belasting juist kan weerstaan (volgens de normen).

$$R_d = 800.6 \text{ kN}$$

De weerstand heeft een lognormale verdeling, waarvoor de volgende formule een relatie legt tussen de gemiddelde waarde, standaard deviatie en de rekenwaarde.

$$R_d = \mu_R \exp(-\alpha_R \beta_R V) \quad (1.6)$$

$\beta = 3.8$ is de betrouwbaarheidsindex,

μ_R is de gemiddelde waarde van de weerstand,

α_R is de FORM-gevoeligheidsfactor,

V_R is de variatiecoëfficiënt.

De variatiecoëfficiënt is afhankelijk van het materiaal:

$$V_R = 0.15 [-] \quad \text{Gebaseerd op beton op trek}$$

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 09

Blad:

De gevoeligheidsfactoren zijn gedefinieerd in de eurocodes:

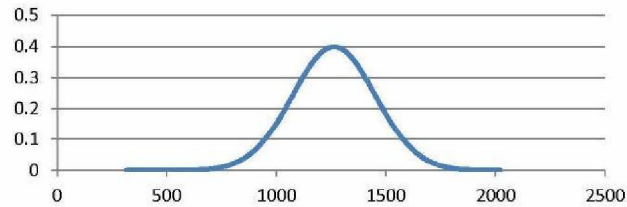
$$\alpha_R = 0.8 [-]$$

De gemiddelde en de standaarddeviatie van de weerstand zijn onbekend, maar kunnen bepaald worden op basis van de voorgaande formule:

$$\exp(\alpha_B V - 1.64V) = 0.63 [-]$$

$$\sigma_R = 189.5 \text{ kN}$$

$$\mu_R = 1263.2 \text{ kN}$$



§A9.4 - Belastingeffect aardbeving

[NEN-EN 1998]

De meewerkende massa van het gebouw (bij een aardbeving) wordt als volgt geschat:

$$\rho = 360 \text{ kg/m}^3$$

$$V = 27840 \text{ m}^3$$

$$M = 1E+07 \text{ kg}$$

De berekeningen worden bij het ontwerp in het algemeen lineair elastisch uitgevoerd. Bij grotere belastingen zullen elementen hun vloeisterkte bereiken en kunnen hierna nog plastisch vervormen. Door herverdeling kan er meer belasting opgenomen worden. Dit wordt met de "behaviour factor" in rekening gebracht.

$$q_n = 2.5 [-] \quad \text{Factor welke het (plastische) gedrag in rekening brengt (\geq 1.0)}$$

Met behulp van het elastisch response spectrum, zoals dit is gedefinieerd in NEN-EN 1998-1, en aangevuld met de waarden uit de Handreiking voor het uitvoeren van studies naar het effect van aardbevingen voor het ministerie van Economische Zaken [3]:

$\eta =$	1.0 [-]	Uitgangspunt is een viskeuze demping van 5%
$S =$	1.0 [-]	Bodemfactor volgens [3]
$\gamma =$	2.8 [-]	Factor volgens [3]
$T_B =$	0.10 [-]	Ondergrens constante spectrale versnelling [3]
$T_C =$	0.35 [-]	Bovengrens constante spectrale versnelling [3]
$T_D =$	1.20 [-]	Periode die het begin aangeeft van de constante verplaatsingsrespons van het spectrum [3]

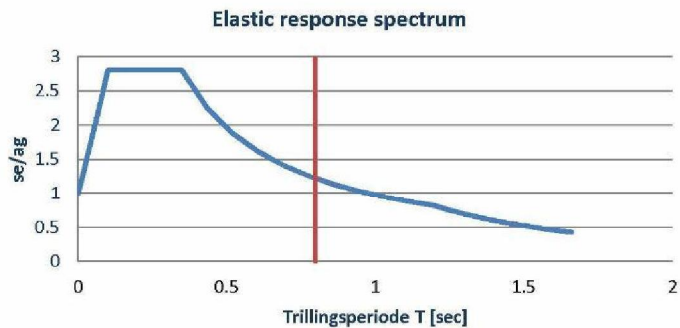
Bij de verschillende voorgedefinieerde aardbevingen zijn de horizontale versnellingen bekend:

Tabel 1.1 - Belastingeffect aardbeving

Aardbeving	[g]	Belasting	
P ₅₀	3.9	0.06	2891 kN
P ₁₀	4.8	0.33	15898 kN
P ₂	5.3	0.67	32278 kN

Inschatting trillingsperiode:

$$T_e = 0.80 \text{ sec}$$



Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 09

Blad:

5A9.5 - Toetsing

In de vergelijking tussen het belastingeffect van de aardbeving en de weerstand van het gebouw spelen nog enkele aanvullende factoren een rol. Zo wordt de gunstige bijdrage van de bouwkundige wanden en gevel met de volgende factor in rekening gebracht:

$$Y_{\text{bouw}} = 1.5 \text{ [-]} \quad \text{Factor gunstige bijdrage bouwkundige afwerking en gevel (≥ 1.0)}$$

Een ontwerp van een gebouw wordt in veel gevallen niet volledig uitgenut, er is dus een restcapaciteit aanwezig, welke bij de vraag of een gebouw schade ondervindt bij een aardbeving wel relevant is.

$$Y_{\text{over}} = 2.0 \text{ [-]} \quad \text{Factor welke de overcapaciteit in rekening brengt (≥ 1.0)}$$

De normale verdeling van de weerstand wordt daarmee gebaseerd op de volgende waarden:

$$\sigma_R = 568.4 \text{ kN}$$

$$\mu_R = 3789.5 \text{ kN}$$

Oriëntatie van de gebouwen ten opzichte van het epicentrum is van belang, daar de sterkte van het gebouw per richting verschilt. Met de volgende factor wordt dit meegenomen in de kansverdeling.

$$p = 1.00 \text{ [-]} \quad \text{Zwakke as 0 tot 30 graden}$$

$$p = 0.71 \text{ [-]} \quad \text{Zwakke as 30 tot 60 graden}$$

$$p = 0.25 \text{ [-]} \quad \text{Zwakke as 60 tot 90 graden}$$

Bij de verschillende aardbevingen is nu een schatting te maken welk percentage van de gebouwen bezwijkt.

Tabel 1.2 - Kans op bezwijken

Aardbeving	g	Kans op bezwijken
P ₆₀	3.9	0.06
P ₁₀	4.8	0.33
P ₂	5.3	0.67

Het bepalen of een gebouw schade heeft, gebeurt op een gelijke wijze, waarbij voor de weerstand enkel de restcapaciteit wordt meegenomen. Bij de andere twee factoren ontstaat immers schade. Voor het onderscheid tussen lichte en zware schade wordt onderscheid gemaakt tussen het in rekening brengen van het plastische gedrag. Indien dit optreedt ontstaat zware schade aan het gebouw.

Tabel 1.3 - Kans op schade

Aardbeving	g	Kans op geen schade	Kans op lichte schade	Kans op bezwijken
P ₆₀	3.9	0.06	33.66 %	66.32 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	12.41 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	0.00 %

5A9.6 - Differentiatie per wijk

Afhankelijk van de afstand tot het epi-centrum is neemt de kracht van de aardbeving af. Hierdoor zal de kans op schade afnemen.

Tabel 1.4 – Reductie ten gevolge van de afstand tot Harstede

Wijk	Afstand [km]	Reductie aardbeving P10 [%]	Reductie aardbeving P2 [%]
Wijk 00 Binnenstad	8.8	70.0	57.0
Wijk 01 Schilders- en Zeeheldenwijk	9.9	61.0	52.0
Wijk 02 Oranjewijk	10.7	58.0	48.0
Wijk 03 Korrewegwijk	9	67.0	57.0
Wijk 04 Oosterparkwijk	8.1	73.0	61.0
Wijk 05 Oosterpoortwijk	6.3	88.0	72.0
Wijk 06 Herewegwijk en Helpman	8.3	73.0	60.0
Wijk 07 Stadsparkwijk	9.9	61.0	52.0
Wijk 08 Hoogkerk	13.3	45.0	39.0
Wijk 09 Noorddijk	6.1	88.0	72.0

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 09

Blad:

SA9.7 - Samenvatting resultaten

Tabel 1.5 - Kans op schade per wijk

Aardbeving	g	Kans op geen schade	Kans op lichte schade	Kans op bezijken	
Wijk 00					
P ₅₀	3.9	0.06	33.66 %	66.32 %	0.02 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	32.06 %	67.94 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	2.57 %	97.43 %
Wijk 01					
P ₅₀	3.9	0.06	33.66 %	66.32 %	0.02 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	33.06 %	66.94 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	7.90 %	92.10 %
Wijk 02					
P ₅₀	3.9	0.06	33.66 %	66.32 %	0.02 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.01 %	33.17 %	66.82 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	14.71 %	85.29 %
Wijk 03					
P ₅₀	3.9	0.06	33.66 %	66.32 %	0.02 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	32.54 %	67.46 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	2.57 %	97.43 %
Wijk 04					
P ₅₀	3.9	0.06	33.66 %	66.32 %	0.02 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	31.36 %	68.64 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	0.77 %	99.23 %
Wijk 05					
P ₅₀	3.9	0.06	33.66 %	66.32 %	0.02 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	23.21 %	76.79 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	0.01 %	99.99 %
Wijk 06					
P ₅₀	3.9	0.06	33.66 %	66.32 %	0.02 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	31.36 %	68.64 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	1.07 %	98.93 %
Wijk 07					
P ₅₀	3.9	0.06	33.66 %	66.32 %	0.02 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	33.06 %	66.94 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	7.90 %	92.10 %
Wijk 08					
P ₅₀	3.9	0.06	33.66 %	66.32 %	0.02 %
P ₁₀	4.8	0.33	3.84 %	29.91 %	66.25 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	29.03 %	70.97 %
Wijk 09					
P ₅₀	3.9	0.06	33.66 %	66.32 %	0.02 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	23.21 %	76.79 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	0.01 %	99.99 %

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 10

Blad:

A1(Probabilistische analyse

§A10.1 - Betrouwbaarheidsindex

[NEN-EN 1990, art. B3.2]

In deze berekening wordt gebruik gemaakt van de eerste-orde-betrouwbaarheidsmethoden (FORM), een niveau II probabilistische methode. Dit is de methode c waarvan in de eurocodes gebruik gemaakt wordt.

Voor de weerstand R en het belastingeffect E is de prestatiefunctie g :

$$g = R - E \quad (1.1)$$

Hierbij is de bezwijkgrens $g = R - E = 0$. Voor de stochastische variabelen E en g wordt aangenomen dat deze normaal verdeeld zijn. Voor de stochastische variabele wordt aangenomen dat deze lognormaal verdeeld is. De betrouwbaarheidsindex wordt dan als volgt gedefinieerd:

$$\beta = \mu_g / \sigma_g \quad (1.2)$$

waarbij:

$\beta = 3.8$ is de betrouwbaarheidsindex van dit gebouw

μ_g is de gemiddelde waarde van g en

σ_g is de standaardafwijking.

De kans op falen dat correspondeert met deze betrouwbaarheidsindex kan berekend worden met de cumulatieve dichtheidsfunctie van de normale verdeling.

$$\Phi(x) = \frac{1}{2} [1 + \text{erf}(x/\sqrt{2})] \quad (1.3)$$

$$P_f = 1 - \Phi(x) = 7.23E-05 \quad (1.4)$$

§A10.2 - Belastingeffect E

[NEN-EN 1990, art. C7]

In de berekening wordt de horizontale belasting op het gebouw ten gevolge van wind vergeleken met de horizontale belasting op het gebouw door de horizontale versnellingen ten gevolge van de voorgedefinieerde aardbevingen.

$$\Sigma F_{hor,wind} = 221.1 \text{ kN} \quad \text{Karakteristieke waarde}$$

Over de representatieve waarde wordt in de partiële factoren methode een belastingfactor toegepast

$$\gamma_f = 1.5 [-] \quad \text{Belastingfactor}$$

Hiemee kan de rekenwaarde voor het belastingeffect bepaald worden:

$$E_d = E_{rep} \times \gamma_f = 331.7 \text{ kN} \quad (1.5)$$

§A10.3 - Weerstand R

[NEN-EN 1990, art. C7]

De rekenwaarde van het belastingeffect wordt gelijk gesteld aan de rekenwaarde van de weerstand, het gebouw wordt ontworpen dat het de belasting juist kan weerstaan (volgens de normen).

$$R_d = 331.7 \text{ kN}$$

De weerstand heeft een lognormale verdeling, waarvoor de volgende formule een relatie legt tussen de gemiddelde waarde, standaard deviatie en de rekenwaarde.

$$R_d = \mu_R \exp(-\alpha_R \beta_R V) \quad (1.6)$$

$\beta = 3.8$ is de betrouwbaarheidsindex,

μ_R is de gemiddelde waarde van de weerstand,

α_R is de FORM-gevoeligheidsfactor,

V_R is de variatiecoëfficiënt.

De variatiecoëfficiënt is afhankelijk van het materiaal:

$$V_R = 0.1 [-] \quad \text{Gebaseerd op beton op trek}$$

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 10

Blad:

De gevoeligheidsfactoren zijn gedefinieerd in de eurocodes:

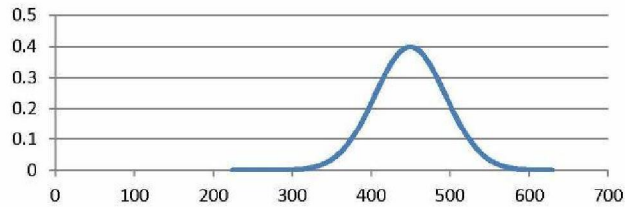
$$\alpha_R = 0.8 [-]$$

De gemiddelde en de standaarddeviatie van de weerstand zijn onbekend, maar kunnen bepaald worden op basis van de voorgaande formule:

$$\exp(\alpha \beta V - 1.64V) = 0.74 [-]$$

$$\sigma_R = 44.9 \text{ kN}$$

$$\mu_R = 449.5 \text{ kN}$$



§A10.4 - Belastingeffect aardbeving

[NEN-EN 1998]

De meewerkende massa van het gebouw (bij een aardbeving) wordt als volgt geschat:

$$\rho = 340 \text{ kg/m}^3$$

$$V = 13920 \text{ m}^3$$

$$M = 4732800 \text{ kg}$$

De berekeningen worden bij het ontwerp in het algemeen lineair elastisch uitgevoerd. Bij grotere belastingen zullen elementen hun vloeisterkte bereiken en kunnen hierna nog plastisch vervormen. Door herverdeling kan er meer belasting opgenomen worden. Dit wordt met de "behaviour factor" in rekening gebracht.

$$q_a = 4.0 [-] \quad \text{Factor welke het (plastische) gedrag in rekening brengt (≥ 1.0)}$$

Met behulp van het elastisch response spectrum, zoals dit is gedefinieerd in NEN-EN 1998-1, en aangevuld met de waarden uit de Handreiking voor het uitvoeren van studies naar het effect van aardbevingen voor het ministerie van Economische Zaken [3]:

$\eta =$	1.0 [-]	Uitgangspunt is een viskeuze demping van 5%
$S =$	1.0 [-]	Bodemfactor volgens [3]
$\gamma =$	2.8 [-]	Factor volgens [3]
$T_B =$	0.10 [-]	Ondergrens constante spectrale versnelling [3]
$T_C =$	0.35 [-]	Bovengrens constante spectrale versnelling [3]
$T_D =$	1.20 [-]	Periode die het begin aangeeft van de constante verplaatsingsrespons van het spectrum [3]

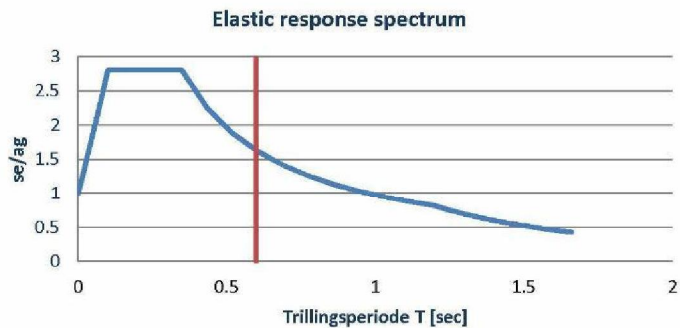
Bij de verschillende voorgedefinieerde aardbevingen zijn de horizontale versnellingen bekend:

Tabel 1.1 - Belastingeffect aardbeving

Aardbeving	[g]	Belasting
P ₅₀	3.9	1138 kN
P ₁₀	4.8	6256 kN
P ₂	5.3	12702 kN

Inschatting trillingsperiode:

$$T_e = 0.60 \text{ sec}$$



Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 10

Blad:

5A10.5 - Toetsing

In de vergelijking tussen het belastingeffect van de aardbeving en de weerstand van het gebouw spelen nog enkele aanvullende factoren een rol. Zo wordt de gunstige bijdrage van de bouwkundige wanden en gevel met de volgende factor in rekening gebracht:

$$Y_{\text{bouw}} = 2.0 \quad \text{Factor gunstige bijdrage bouwkundige afwerking en gevel (≥ 1.0)}$$

Een ontwerp van een gebouw wordt in veel gevallen niet volledig uitgenut, er is dus een restcapaciteit aanwezig, welke bij de vraag of een gebouw schade ondervindt bij een aardbeving wel relevant is.

$$Y_{\text{over}} = 2.0 \quad \text{Factor welke de overcapaciteit in rekening brengt (≥ 1.0)}$$

De normale verdeling van de weerstand wordt daarmee gebaseerd op de volgende waarden:

$$\sigma_R = 179.8 \text{ kN}$$

$$\mu_R = 1797.9 \text{ kN}$$

Oriëntatie van de gebouwen ten opzichte van het epicentrum is van belang, daar de sterkte van het gebouw per richting verschilt. Met de volgende factor wordt dit meegenomen in de kansverdeling.

$$p = 1.00 \quad \text{Zwakke as 0 tot 30 graden}$$

$$p = 0.71 \quad \text{Zwakke as 30 tot 60 graden}$$

$$p = 0.25 \quad \text{Zwakke as 60 tot 90 graden}$$

Bij de verschillende aardbevingen is nu een schatting te maken welk percentage van de gebouwen bezwijkt.

Tabel 1.2 - Kans op bezwijken

Aardbeving	g	Kans op bezwijken
P ₆₀	3.9	0.06
P ₁₀	4.8	0.33
P ₂	5.3	0.67

Het bepalen of een gebouw schade heeft, gebeurt op een gelijke wijze, waarbij voor de weerstand enkel de restcapaciteit wordt meegenomen. Bij de andere twee factoren ontstaat immers schade. Voor het onderscheid tussen lichte en zware schade wordt onderscheid gemaakt tussen het in rekening brengen van het plastische gedrag. Indien dit optreedt ontstaat zware schade aan het gebouw.

Tabel 1.3 - Kans op schade

Aardbeving	g	Kans op geen schade	Kans op lichte schade	Kans op bezwijken
P ₆₀	3.9	0.06	33.33 %	66.67 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	30.11 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	0.00 %

5A10.6 - Differentiatie per wijk

Afhankelijk van de afstand tot het epi-centrum is neemt de kracht van de aardbeving af. Hierdoor zal de kans op schade afnemen.

Tabel 1.4 – Reductie ten gevolge van de afstand tot Harstede

Wijk	Afstand [km]	Reductie aardbeving P10 [%]	Reductie aardbeving P2 [%]
Wijk 00 Binnenstad	8.8	70.0	57.0
Wijk 01 Schilders- en Zeeheldenwijk	9.9	61.0	52.0
Wijk 02 Oranjewijk	10.7	58.0	48.0
Wijk 03 Korrewegwijk	9	67.0	57.0
Wijk 04 Oosterparkwijk	8.1	73.0	61.0
Wijk 05 Oosterpoortwijk	6.3	88.0	72.0
Wijk 06 Herewegwijk en Helpman	8.3	73.0	60.0
Wijk 07 Stadsparkwijk	9.9	61.0	52.0
Wijk 08 Hoogkerk	13.3	45.0	39.0
Wijk 09 Noorddijk	6.1	88.0	72.0

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 10

Blad:

SA10.7 - Samenvatting resultaten

Tabel 1.5 - Kans op schade per wijk

Aardbeving	g	Kans op geen schade	Kans op lichte schade	Kans op bezijken	
Wijk 00					
P ₅₀	3.9	0.06	33.33 %	66.67 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	33.33 %	66.67 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	15.77 %	84.23 %
Wijk 01					
P ₅₀	3.9	0.06	33.33 %	66.67 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	33.33 %	66.67 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	26.42 %	73.58 %
Wijk 02					
P ₅₀	3.9	0.06	33.33 %	66.67 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	33.33 %	66.67 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	31.20 %	68.80 %
Wijk 03					
P ₅₀	3.9	0.06	33.33 %	66.67 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	33.33 %	66.67 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	15.77 %	84.23 %
Wijk 04					
P ₅₀	3.9	0.06	33.33 %	66.67 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	33.33 %	66.67 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	7.32 %	92.68 %
Wijk 05					
P ₅₀	3.9	0.06	33.33 %	66.67 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	33.02 %	66.98 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	0.11 %	99.89 %
Wijk 06					
P ₅₀	3.9	0.06	33.33 %	66.67 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	33.33 %	66.67 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	9.17 %	90.83 %
Wijk 07					
P ₅₀	3.9	0.06	33.33 %	66.67 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	33.33 %	66.67 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	26.42 %	73.58 %
Wijk 08					
P ₅₀	3.9	0.06	33.33 %	66.67 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	38.06 %	61.94 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	33.30 %	66.70 %
Wijk 09					
P ₅₀	3.9	0.06	33.33 %	66.67 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	33.02 %	66.98 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	0.11 %	99.89 %

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 11

Blad:

A1: Probabilistische analyse

§A11.1 - Betrouwbaarheidsindex

[NEN-EN 1990, art. B3.2]

In deze berekening wordt gebruik gemaakt van de eerste-orde-betrouwbaarheidsmethoden (FORM), een niveau II probabilistische methode. Dit is de methode c waarvan in de eurocodes gebruik gemaakt wordt.

Voor de weerstand R en het belastingeffect E is de prestatiefunctie g :

$$g = R - E \quad (1.1)$$

Hierbij is de bezwijkgrens $g = R - E = 0$. Voor de stochastische variabelen E en g wordt aangenomen dat deze normaal verdeeld zijn. Voor de stochastische variabele wordt aangenomen dat deze lognormaal verdeeld is. De betrouwbaarheidsindex wordt dan als volgt gedefinieerd:

$$\beta = \mu_g / \sigma_g \quad (1.2)$$

waarbij:

$\beta = 3.8$ is de betrouwbaarheidsindex van dit gebouw

μ_g is de gemiddelde waarde van g en

σ_g is de standaardafwijking.

De kans op falen dat correspondeert met deze betrouwbaarheidsindex kan berekend worden met de cumulatieve dichtheidsfunctie van de normale verdeling.

$$\Phi(x) = \frac{1}{2} [1 + \text{erf}(x/\sqrt{2})] \quad (1.3)$$

$$P_f = 1 - \Phi(x) = 7.23E-05 \quad (1.4)$$

§A11.2 - Belastingeffect E

[NEN-EN 1990, art. C7]

In de berekening wordt de horizontale belasting op het gebouw ten gevolge van wind vergeleken met de horizontale belasting op het gebouw door de horizontale versnellingen ten gevolge van de voorgedefinieerde aardbevingen.

$$\Sigma F_{hor,wind} = 533.7 \text{ kN} \quad \text{Karakteristieke waarde}$$

Over de representatieve waarde wordt in de partiële factoren methode een belastingfactor toegepast

$$\gamma_f = 1.5 [-] \quad \text{Belastingfactor}$$

Hiemee kan de rekenwaarde voor het belastingeffect bepaald worden:

$$E_d = E_{rep} \times \gamma_f = 800.6 \text{ kN} \quad (1.5)$$

§A11.3 - Weerstand R

[NEN-EN 1990, art. C7]

De rekenwaarde van het belastingeffect wordt gelijk gesteld aan de rekenwaarde van de weerstand, het gebouw wordt ontworpen dat het de belasting juist kan weerstaan (volgens de normen).

$$R_d = 800.6 \text{ kN}$$

De weerstand heeft een lognormale verdeling, waarvoor de volgende formule een relatie legt tussen de gemiddelde waarde, standaard deviatie en de rekenwaarde.

$$R_d = \mu_R \exp(-\alpha_R \beta_R V) \quad (1.6)$$

$\beta = 3.8$ is de betrouwbaarheidsindex,

μ_R is de gemiddelde waarde van de weerstand,

α_R is de FORM-gevoeligheidsfactor,

V_R is de variatiecoëfficiënt.

De variatiecoëfficiënt is afhankelijk van het materiaal:

$$V_R = 0.1 [-] \quad \text{Gebaseerd op beton op trek}$$

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 11

Blad:

De gevoeligheidsfactoren zijn gedefinieerd in de eurocodes:

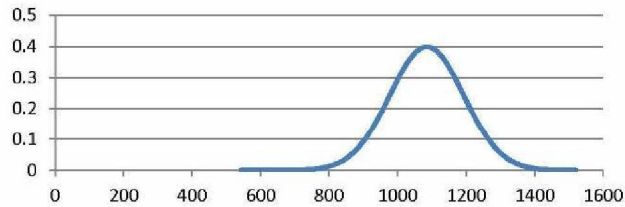
$$\alpha_R = 0.8 [-]$$

De gemiddelde en de standaarddeviatie van de weerstand zijn onbekend, maar kunnen bepaald worden op basis van de voorgaande formule:

$$\exp(\alpha \beta V - 1.64V) = 0.74 [-]$$

$$\sigma_R = 108.5 \text{ kN}$$

$$\mu_R = 1085.0 \text{ kN}$$



§A11.4 - Belastingeffect aardbeving

[NEN-EN 1998]

De meewerkende massa van het gebouw (bij een aardbeving) wordt als volgt geschat:

$$\rho = 340 \text{ kg/m}^3$$

$$V = 27840 \text{ m}^3$$

$$M = 9465600 \text{ kg}$$

De berekeningen worden bij het ontwerp in het algemeen lineair elastisch uitgevoerd. Bij grotere belastingen zullen elementen hun vloeisterkte bereiken en kunnen hierna nog plastisch vervormen. Door herverdeling kan er meer belasting opgenomen worden. Dit wordt met de "behaviour factor" in rekening gebracht.

$$q_n = 4.0 [-] \quad \text{Factor welke het (plastische) gedrag in rekening brengt (\geq 1.0)}$$

Met behulp van het elastisch response spectrum, zoals dit is gedefinieerd in NEN-EN 1998-1, en aangevuld met de waarden uit de Handreiking voor het uitvoeren van studies naar het effect van aardbevingen voor het ministerie van Economische Zaken [3]:

$\eta =$	1.0 [-]	Uitgangspunt is een viskeuze demping van 5%
$S =$	1.0 [-]	Bodemfactor volgens [3]
$\gamma =$	2.8 [-]	Factor volgens [3]
$T_B =$	0.10 [-]	Ondergrens constante spectrale versnelling [3]
$T_C =$	0.35 [-]	Bovengrens constante spectrale versnelling [3]
$T_D =$	1.20 [-]	Periode die het begin aangeeft van de constante verplaatsingsrespons van het spectrum [3]

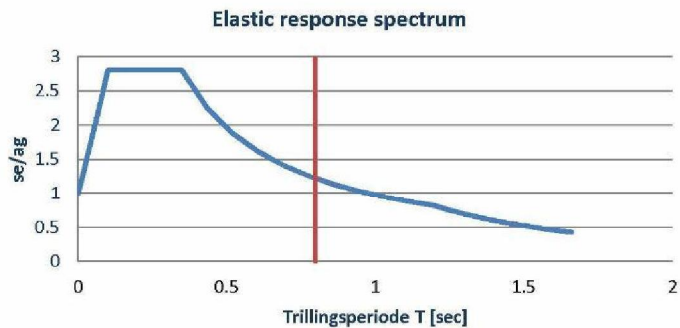
Bij de verschillende voorgedefinieerde aardbevingen zijn de horizontale versnellingen bekend:

Tabel 1.1 - Belastingeffect aardbeving

Aardbeving	[g]	Belasting
P ₅₀	3.9	1706 kN
P ₁₀	4.8	9384 kN
P ₂	5.3	19053 kN

Inschatting trillingsperiode:

$$T_e = 0.80 \text{ sec}$$



Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 11

Blad:

5A11.5 - Toetsing

In de vergelijking tussen het belastingeffect van de aardbeving en de weerstand van het gebouw spelen nog enkele aanvullende factoren een rol. Zo wordt de gunstige bijdrage van de bouwkundige wanden en gevel met de volgende factor in rekening gebracht:

$$Y_{\text{bouw}} = 1.5 \text{ [-]} \quad \text{Factor gunstige bijdrage bouwkundige afwerking en gevel (≥ 1.0)}$$

Een ontwerp van een gebouw wordt in veel gevallen niet volledig uitgenut, er is dus een restcapaciteit aanwezig, welke bij de vraag of een gebouw schade ondervindt bij een aardbeving wel relevant is.

$$Y_{\text{over}} = 2.0 \text{ [-]} \quad \text{Factor welke de overcapaciteit in rekening brengt (≥ 1.0)}$$

De normale verdeling van de weerstand wordt daarmee gebaseerd op de volgende waarden:

$$\sigma_R = 325.5 \text{ kN}$$

$$\mu_R = 3255.1 \text{ kN}$$

Oriëntatie van de gebouwen ten opzichte van het epicentrum is van belang, daar de sterkte van het gebouw per richting verschilt. Met de volgende factor wordt dit meegenomen in de kansverdeling.

$$p = 1.00 \text{ [-]} \quad \text{Zwakke as 0 tot 30 graden}$$

$$p = 0.71 \text{ [-]} \quad \text{Zwakke as 30 tot 60 graden}$$

$$p = 0.25 \text{ [-]} \quad \text{Zwakke as 60 tot 90 graden}$$

Bij de verschillende aardbevingen is nu een schatting te maken welk percentage van de gebouwen bezwijkt.

Tabel 1.2 - Kans op bezwijken

Aardbeving	g	Kans op bezwijken
P ₆₀	3.9	0.06
P ₁₀	4.8	0.33
P ₂	5.3	0.67

Het bepalen of een gebouw schade heeft, gebeurt op een gelijke wijze, waarbij voor de weerstand enkel de restcapaciteit wordt meegenomen. Bij de andere twee factoren ontstaat immers schade. Voor het onderscheid tussen lichte en zware schade wordt onderscheid gemaakt tussen het in rekening brengen van het plastische gedrag. Indien dit optreedt ontstaat zware schade aan het gebouw.

Tabel 1.3 - Kans op schade

Aardbeving	g	Kans op geen schade	Kans op lichte schade	Kans op bezwijken
P ₆₀	3.9	0.06	33.33 %	66.67 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	33.25 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	0.00 %

5A11.6 - Differentiatie per wijk

Afhankelijk van de afstand tot het epi-centrum is neemt de kracht van de aardbeving af. Hierdoor zal de kans op schade afnemen.

Tabel 1.4 – Reductie ten gevolge van de afstand tot Harstede

Wijk	Afstand [km]	Reductie aardbeving P10 [%]	Reductie aardbeving P2 [%]
Wijk 00 Binnenstad	8.8	70.0	57.0
Wijk 01 Schilders- en Zeeheldenwijk	9.9	61.0	52.0
Wijk 02 Oranjewijk	10.7	58.0	48.0
Wijk 03 Korrewegwijk	9	67.0	57.0
Wijk 04 Oosterparkwijk	8.1	73.0	61.0
Wijk 05 Oosterpoortwijk	6.3	88.0	72.0
Wijk 06 Herewegwijk en Helpman	8.3	73.0	60.0
Wijk 07 Stadsparkwijk	9.9	61.0	52.0
Wijk 08 Hoogkerk	13.3	45.0	39.0
Wijk 09 Noorddijk	6.1	88.0	72.0

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 11

Blad:

SA11.7 - Samenvatting resultaten

Tabel 1.5 - Kans op schade per wijk

Aardbeving	g	Kans op geen schade	Kans op lichte schade	Kans op bezijken	
Wijk 00					
P ₅₀	3.9	0.06	33.33 %	66.67 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	33.33 %	66.67 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	31.71 %	68.29 %
Wijk 01					
P ₅₀	3.9	0.06	33.33 %	66.67 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	33.58 %	66.42 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	33.05 %	66.95 %
Wijk 02					
P ₅₀	3.9	0.06	33.33 %	66.67 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	34.47 %	65.53 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	33.28 %	66.72 %
Wijk 03					
P ₅₀	3.9	0.06	33.33 %	66.67 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	33.34 %	66.66 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	31.71 %	68.29 %
Wijk 04					
P ₅₀	3.9	0.06	33.33 %	66.67 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	33.33 %	66.67 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	28.62 %	71.38 %
Wijk 05					
P ₅₀	3.9	0.06	33.33 %	66.67 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	33.33 %	66.67 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	9.87 %	90.13 %
Wijk 06					
P ₅₀	3.9	0.06	33.33 %	66.67 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	33.33 %	66.67 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	29.63 %	70.37 %
Wijk 07					
P ₅₀	3.9	0.06	33.33 %	66.67 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	33.58 %	66.42 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	33.05 %	66.95 %
Wijk 08					
P ₅₀	3.9	0.06	33.33 %	66.67 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.05 %	59.86 %	40.09 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	33.33 %	66.67 %
Wijk 09					
P ₅₀	3.9	0.06	33.33 %	66.67 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	33.33 %	66.67 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	9.87 %	90.13 %

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 12

Blad:

A1: Probabilistische analyse

§A12.1 - Betrouwbaarheidsindex

[NEN-EN 1990, art. B3.2]

In deze berekening wordt gebruik gemaakt van de eerste-orde-betrouwbaarheidsmethoden (FORM), een niveau II probabilistische methode. Dit is de methode c waarvan in de eurocodes gebruik gemaakt wordt.

Voor de weerstand R en het belastingeffect E is de prestatiefunctie g :

$$g = R - E \quad (1.1)$$

Hierbij is de bezwijkgrens $g = R - E = 0$. Voor de stochastische variabelen E en g wordt aangenomen dat deze normaal verdeeld zijn. Voor de stochastische variabele wordt aangenomen dat deze lognormaal verdeeld is. De betrouwbaarheidsindex wordt dan als volgt gedefinieerd:

$$\beta = \mu_g / \sigma_g \quad (1.2)$$

waarbij:

$\beta = 3.8$ is de betrouwbaarheidsindex van dit gebouw

μ_g is de gemiddelde waarde van g en

σ_g is de standaardafwijking.

De kans op falen dat correspondeert met deze betrouwbaarheidsindex kan berekend worden met de cumulatieve dichtheidsfunctie van de normale verdeling.

$$\Phi(x) = \frac{1}{2} [1 + \operatorname{erf}(x/\sqrt{2})] \quad (1.3)$$

$$P_f = 1 - \Phi(x) = 7.23E-05 \quad (1.4)$$

§A12.2 - Belastingeffect E

[NEN-EN 1990, art. C7]

In de berekening wordt de horizontale belasting op het gebouw ten gevolge van wind vergeleken met de horizontale belasting op het gebouw door de horizontale versnellingen ten gevolge van de voorgedefinieerde aardbevingen.

$$\Sigma F_{hor,wind} = 198.8 \text{ kN} \quad \text{Karakteristieke waarde}$$

Over de representatieve waarde wordt in de partiële factoren methode een belastingfactor toegepast

$$\gamma_f = 1.5 [-] \quad \text{Belastingfactor}$$

Hiemee kan de rekenwaarde voor het belastingeffect bepaald worden:

$$E_d = E_{rep} \times \gamma_f = 298.2 \text{ kN} \quad (1.5)$$

§A12.3 - Weerstand R

[NEN-EN 1990, art. C7]

De rekenwaarde van het belastingeffect wordt gelijk gesteld aan de rekenwaarde van de weerstand, het gebouw wordt ontworpen dat het de belasting juist kan weerstaan (volgens de normen).

$$R_d = 298.2 \text{ kN}$$

De weerstand heeft een lognormale verdeling, waarvoor de volgende formule een relatie legt tussen de gemiddelde waarde, standaard deviatie en de rekenwaarde.

$$R_d = \mu_R \exp(-\alpha_R \beta_R V) \quad (1.6)$$

$\beta = 3.8$ is de betrouwbaarheidsindex,

μ_R is de gemiddelde waarde van de weerstand,

α_R is de FORM-gevoeligheidsfactor,

V_R is de variatiecoëfficiënt.

De variatiecoëfficiënt is afhankelijk van het materiaal:

$$V_R = 0.1 [-] \quad \text{Gebaseerd op beton op trek}$$

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 12

Blad:

De gevoeligheidsfactoren zijn gedefinieerd in de eurocodes:

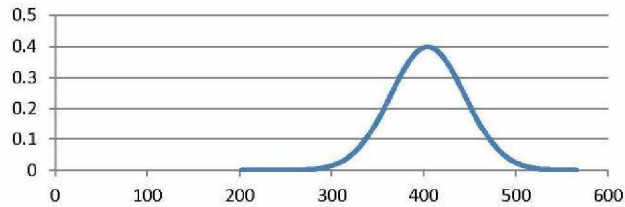
$$\alpha_R = 0.8 [-]$$

De gemiddelde en de standaarddeviatie van de weerstand zijn onbekend, maar kunnen bepaald worden op basis van de voorgaande formule:

$$\exp(\alpha R V - 1.64 V) = 0.74 [-]$$

$$\sigma_R = 40.4 \text{ kN}$$

$$\mu_R = 404.2 \text{ kN}$$



§A12.4 - Belastingeffect aardbeving

[NEN-EN 1998]

De meewerkende massa van het gebouw (bij een aardbeving) wordt als volgt geschat:

$$\rho = 220 \text{ kg/m}^3$$

$$V = 12800 \text{ m}^3$$

$$M = 2816000 \text{ kg}$$

De berekeningen worden bij het ontwerp in het algemeen lineair elastisch uitgevoerd. Bij grotere belastingen zullen elementen hun vloeisterkte bereiken en kunnen hierna nog plastisch vervormen. Door herverdeling kan er meer belasting opgenomen worden. Dit wordt met de "behaviour factor" in rekening gebracht.

$$q_n = 4.0 [-] \quad \text{Factor welke het (plastische) gedrag in rekening brengt (\geq 1.0)}$$

Met behulp van het elastisch response spectrum, zoals dit is gedefinieerd in NEN-EN 1998-1, en aangevuld met de waarden uit de Handreiking voor het uitvoeren van studies naar het effect van aardbevingen voor het ministerie van Economische Zaken [3]:

$\eta =$	1.0 [-]	Uitgangspunt is een viskeuze demping van 5%
$S =$	1.0 [-]	Bodemfactor volgens [3]
$\gamma =$	2.8 [-]	Factor volgens [3]
$T_B =$	0.10 [-]	Ondergrens constante spectrale versnelling [3]
$T_C =$	0.35 [-]	Bovengrens constante spectrale versnelling [3]
$T_D =$	1.20 [-]	Periode die het begin aangeeft van de constante verplaatsingsrespons van het spectrum [3]

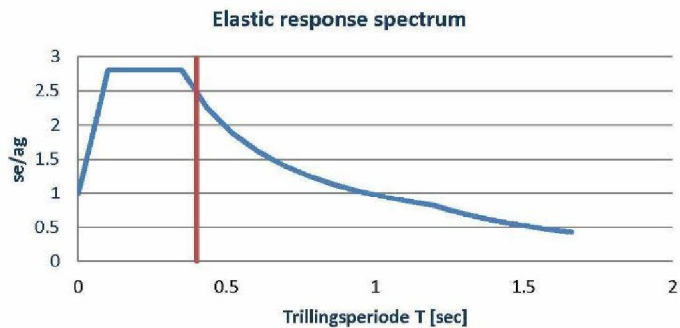
Bij de verschillende voorgedefinieerde aardbevingen zijn de horizontale versnellingen bekend:

Tabel 1.1 - Belastingeffect aardbeving

Aardbeving	[g]	Belasting
P ₅₀	3.9	1015 kN
P ₁₀	4.8	5584 kN
P ₂	5.3	11337 kN

Inschatting trillingsperiode:

$$T_e = 0.40 \text{ sec}$$



Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 12

Blad:

5A12.5 - Toetsing

In de vergelijking tussen het belastingeffect van de aardbeving en de weerstand van het gebouw spelen nog enkele aanvullende factoren een rol. Zo wordt de gunstige bijdrage van de bouwkundige wanden en gevel met de volgende factor in rekening gebracht:

$$Y_{bouw} = 1.3 \quad \text{Factor gunstige bijdrage bouwkundige afwerking en gevel (≥ 1.0)}$$

Een ontwerp van een gebouw wordt in veel gevallen niet volledig uitgenut, er is dus een restcapaciteit aanwezig, welke bij de vraag of een gebouw schade ondervindt bij een aardbeving wel relevant is.

$$Y_{over} = 1.5 \quad \text{Factor welke de overcapaciteit in rekening brengt (≥ 1.0)}$$

De normale verdeling van de weerstand wordt daarmee gebaseerd op de volgende waarden:

$$\sigma_R = 78.8 \text{ kN}$$

$$\mu_R = 788.2 \text{ kN}$$

Oriëntatie van de gebouwen ten opzichte van het epicentrum is van belang, daar de sterkte van het gebouw per richting verschilt. Met de volgende factor wordt dit meegenomen in de kansverdeling.

$$p = 1.00 \quad \text{Zwakke as 0 tot 30 graden}$$

$$p = 0.71 \quad \text{Zwakke as 30 tot 60 graden}$$

$$p = 0.25 \quad \text{Zwakke as 60 tot 90 graden}$$

Bij de verschillende aardbevingen is nu een schatting te maken welk percentage van de gebouwen bezwijkt.

Tabel 1.2 - Kans op bezwijken

Aardbeving	g	Kans op bezwijken
P ₆₀	3.9	0.06
P ₁₀	4.8	0.33
P ₂	5.3	0.67

Het bepalen of een gebouw schade heeft, gebeurt op een gelijke wijze, waarbij voor de weerstand enkel de restcapaciteit wordt meegenomen. Bij de andere twee factoren ontstaat immers schade. Voor het onderscheid tussen lichte en zware schade wordt onderscheid gemaakt tussen het in rekening brengen van het plastische gedrag. Indien dit optreedt ontstaat zware schade aan het gebouw.

Tabel 1.3 - Kans op schade

Aardbeving	g	Kans op geen schade	Kans op lichte schade	Kans op bezwijken
P ₆₀	3.9	0.06	0.07 %	99.54 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	0.00 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	0.00 %

5A12.6 - Differentiatie per wijk

Afhankelijk van de afstand tot het epi-centrum is neemt de kracht van de aardbeving af. Hierdoor zal de kans op schade afnemen.

Tabel 1.4 – Reductie ten gevolge van de afstand tot Harstede

Wijk	Afstand [km]	Reductie aardbeving P10 [%]	Reductie aardbeving P2 [%]
Wijk 00 Binnenstad	8.8	70.0	57.0
Wijk 01 Schilders- en Zeeheldenwijk	9.9	61.0	52.0
Wijk 02 Oranjewijk	10.7	58.0	48.0
Wijk 03 Korrewegwijk	9	67.0	57.0
Wijk 04 Oosterparkwijk	8.1	73.0	61.0
Wijk 05 Oosterpoortwijk	6.3	88.0	72.0
Wijk 06 Herewegwijk en Helpman	8.3	73.0	60.0
Wijk 07 Stadsparkwijk	9.9	61.0	52.0
Wijk 08 Hoogkerk	13.3	45.0	39.0
Wijk 09 Noorddijk	6.1	88.0	72.0

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 12

Blad:

SA12.7 - Samenvatting resultaten

Tabel 1.5 - Kans op schade per wijk

Aardbeving	g	Kans op geen schade	Kans op lichte schade	Kans op bezijken	
Wijk 00					
P ₅₀	3.9	0.06	0.07 %	99.54 %	0.39 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	0.28 %	99.72 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	0.00 %	100.00 %
Wijk 01					
P ₅₀	3.9	0.06	0.07 %	99.54 %	0.39 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	7.03 %	92.97 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	0.00 %	100.00 %
Wijk 02					
P ₅₀	3.9	0.06	0.07 %	99.54 %	0.39 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	13.09 %	86.91 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	0.00 %	100.00 %
Wijk 03					
P ₅₀	3.9	0.06	0.07 %	99.54 %	0.39 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	1.03 %	98.97 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	0.00 %	100.00 %
Wijk 04					
P ₅₀	3.9	0.06	0.07 %	99.54 %	0.39 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	0.06 %	99.94 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	0.00 %	100.00 %
Wijk 05					
P ₅₀	3.9	0.06	0.07 %	99.54 %	0.39 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	0.00 %	100.00 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	0.00 %	100.00 %
Wijk 06					
P ₅₀	3.9	0.06	0.07 %	99.54 %	0.39 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	0.06 %	99.94 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	0.00 %	100.00 %
Wijk 07					
P ₅₀	3.9	0.06	0.07 %	99.54 %	0.39 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	7.03 %	92.97 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	0.00 %	100.00 %
Wijk 08					
P ₅₀	3.9	0.06	0.07 %	99.54 %	0.39 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	32.63 %	67.37 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	0.00 %	100.00 %
Wijk 09					
P ₅₀	3.9	0.06	0.07 %	99.54 %	0.39 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	0.00 %	100.00 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	0.00 %	100.00 %

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 13

Blad:

A1: Probabilistische analyse

§A13.1 - Betrouwbaarheidsindex

[NEN-EN 1990, art. B3.2]

In deze berekening wordt gebruik gemaakt van de eerste-orde-betrouwbaarheidsmethoden (FORM), een niveau II probabilistische methode. Dit is de methode c waarvan in de eurocodes gebruik gemaakt wordt.

Voor de weerstand R en het belastingeffect E is de prestatiefunctie g :

$$g = R - E \quad (1.1)$$

Hierbij is de bezwijkgrens $g = R - E = 0$. Voor de stochastische variabelen E en g wordt aangenomen dat deze normaal verdeeld zijn. Voor de stochastische variabele wordt aangenomen dat deze lognormaal verdeeld is. De betrouwbaarheidsindex wordt dan als volgt gedefinieerd:

$$\beta = \mu_g / \sigma_g \quad (1.2)$$

waarbij:

$\beta = 3.8$ is de betrouwbaarheidsindex van dit gebouw

μ_g is de gemiddelde waarde van g en

σ_g is de standaardafwijking.

De kans op falen dat correspondeert met deze betrouwbaarheidsindex kan berekend worden met de cumulatieve dichtheidsfunctie van de normale verdeling.

$$\Phi(x) = \frac{1}{2} [1 + \text{erf}(x/\sqrt{2})] \quad (1.3)$$

$$P_f = 1 - \Phi(x) = 7.23E-05 \quad (1.4)$$

§A13.2 - Belastingeffect E

[NEN-EN 1990, art. C7]

In de berekening wordt de horizontale belasting op het gebouw ten gevolge van wind vergeleken met de horizontale belasting op het gebouw door de horizontale versnellingen ten gevolge van de voorgedefinieerde aardbevingen.

$$\Sigma F_{hor,wind} = 441.8 \text{ kN} \quad \text{Karakteristieke waarde}$$

Over de representatieve waarde wordt in de partiële factoren methode een belastingfactor toegepast

$$\gamma_f = 1.5 [-] \quad \text{Belastingfactor}$$

Hiemee kan de rekenwaarde voor het belastingeffect bepaald worden:

$$E_d = E_{rep} \times \gamma_f = 662.6 \text{ kN} \quad (1.5)$$

§A13.3 - Weerstand R

[NEN-EN 1990, art. C7]

De rekenwaarde van het belastingeffect wordt gelijk gesteld aan de rekenwaarde van de weerstand, het gebouw wordt ontworpen dat het de belasting juist kan weerstaan (volgens de normen).

$$R_d = 662.6 \text{ kN}$$

De weerstand heeft een lognormale verdeling, waarvoor de volgende formule een relatie legt tussen de gemiddelde waarde, standaard deviatie en de rekenwaarde.

$$R_d = \mu_R \exp(-\alpha_R \beta_R V) \quad (1.6)$$

$\beta = 3.8$ is de betrouwbaarheidsindex,

μ_R is de gemiddelde waarde van de weerstand,

α_R is de FORM-gevoeligheidsfactor,

V_R is de variatiecoëfficiënt.

De variatiecoëfficiënt is afhankelijk van het materiaal:

$$V_R = 0.1 [-] \quad \text{Gebaseerd op beton op trek}$$

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 13

Blad:

De gevoeligheidsfactoren zijn gedefinieerd in de eurocodes:

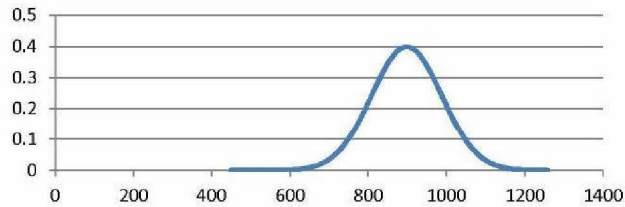
$$\alpha_R = 0.8 [-]$$

De gemiddelde en de standaarddeviatie van de weerstand zijn onbekend, maar kunnen bepaald worden op basis van de voorgaande formule:

$$\exp(\alpha \beta V - 1.64V) = 0.74 [-]$$

$$\sigma_R = 89.8 \text{ kN}$$

$$\mu_R = 898.1 \text{ kN}$$



§A13.4 - Belastingeffect aardbeving

[NEN-EN 1998]

De meewerkende massa van het gebouw (bij een aardbeving) wordt als volgt geschat:

$$\rho = 70 \text{ kg/m}^3$$

$$V = 24000 \text{ m}^3$$

$$M = 1680000 \text{ kg}$$

De berekeningen worden bij het ontwerp in het algemeen lineair elastisch uitgevoerd. Bij grotere belastingen zullen elementen hun vloeisterkte bereiken en kunnen hierna nog plastisch vervormen. Door herverdeling kan er meer belasting opgenomen worden. Dit wordt met de "behaviour factor" in rekening gebracht.

$$q_n = 4.0 [-] \quad \text{Factor welke het (plastische) gedrag in rekening brengt (≥ 1.0)}$$

Met behulp van het elastisch response spectrum, zoals dit is gedefinieerd in NEN-EN 1998-1, en aangevuld met de waarden uit de Handreiking voor het uitvoeren van studies naar het effect van aardbevingen voor het ministerie van Economische Zaken [3]:

$\eta =$	1.0 [-]	Uitgangspunt is een viskeuze demping van 5%
$S =$	1.0 [-]	Bodemfactor volgens [3]
$\gamma =$	2.8 [-]	Factor volgens [3]
$T_B =$	0.10 [-]	Ondergrens constante spectrale versnelling [3]
$T_C =$	0.35 [-]	Bovengrens constante spectrale versnelling [3]
$T_D =$	1.20 [-]	Periode die het begin aangeeft van de constante verplaatsingsrespons van het spectrum [3]

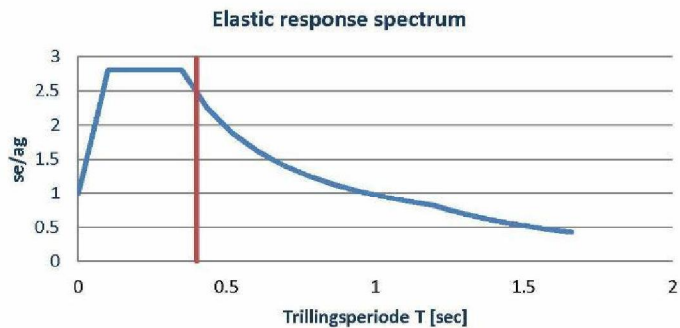
Bij de verschillende voorgedefinieerde aardbevingen zijn de horizontale versnellingen bekend:

Tabel 1.1 - Belastingeffect aardbeving

Aardbeving	[g]	Belasting
P ₅₀	3.9	606 kN
P ₁₀	4.8	3331 kN
P ₂	5.3	6763 kN

Inschatting trillingsperiode:

$$T_e = 0.40 \text{ sec}$$



Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 13

Blad:

5A13.5 - Toetsing

In de vergelijking tussen het belastingeffect van de aardbeving en de weerstand van het gebouw spelen nog enkele aanvullende factoren een rol. Zo wordt de gunstige bijdrage van de bouwkundige wanden en gevel met de volgende factor in rekening gebracht:

$$Y_{\text{bouw}} = 1.3 \text{ [-]} \quad \text{Factor gunstige bijdrage bouwkundige afwerking en gevel (≥ 1.0)}$$

Een ontwerp van een gebouw wordt in veel gevallen niet volledig uitgenut, er is dus een restcapaciteit aanwezig, welke bij de vraag of een gebouw schade ondervindt bij een aardbeving wel relevant is.

$$Y_{\text{over}} = 1.5 \text{ [-]} \quad \text{Factor welke de overcapaciteit in rekening brengt (≥ 1.0)}$$

De normale verdeling van de weerstand wordt daarmee gebaseerd op de volgende waarden:

$$\sigma_R = 175.1 \text{ kN}$$

$$\mu_R = 1751.2 \text{ kN}$$

Oriëntatie van de gebouwen ten opzichte van het epicentrum is van belang, daar de sterkte van het gebouw per richting verschilt. Met de volgende factor wordt dit meegenomen in de kansverdeling.

$$p = 1.00 \text{ [-]} \quad \text{Zwakke as 0 tot 30 graden}$$

$$p = 0.71 \text{ [-]} \quad \text{Zwakke as 30 tot 60 graden}$$

$$p = 0.25 \text{ [-]} \quad \text{Zwakke as 60 tot 90 graden}$$

Bij de verschillende aardbevingen is nu een schatting te maken welk percentage van de gebouwen bezwijkt.

Tabel 1.2 - Kans op bezwijken

Aardbeving	g	Kans op bezwijken
P ₆₀	3.9	0.06
P ₁₀	4.8	0.33
P ₂	5.3	0.67

Het bepalen of een gebouw schade heeft, gebeurt op een gelijke wijze, waarbij voor de weerstand enkel de restcapaciteit wordt meegenomen. Bij de andere twee factoren ontstaat immers schade. Voor het onderscheid tussen lichte en zware schade wordt onderscheid gemaakt tussen het in rekening brengen van het plastische gedrag. Indien dit optreedt ontstaat zware schade aan het gebouw.

Tabel 1.3 - Kans op schade

Aardbeving	g	Kans op geen schade	Kans op lichte schade	Kans op bezwijken
P ₆₀	3.9	0.06	52.88 %	47.12 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	33.34 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	21.16 %

5A13.6 - Differentiatie per wijk

Afhankelijk van de afstand tot het epi-centrum is neemt de kracht van de aardbeving af. Hierdoor zal de kans op schade afnemen.

Tabel 1.4 – Reductie ten gevolge van de afstand tot Harstede

Wijk	Afstand [km]	Reductie aardbeving P10 [%]	Reductie aardbeving P2 [%]
Wijk 00 Binnenstad	8.8	70.0	57.0
Wijk 01 Schilders- en Zeeheldenwijk	9.9	61.0	52.0
Wijk 02 Oranjewijk	10.7	58.0	48.0
Wijk 03 Korrewegwijk	9	67.0	57.0
Wijk 04 Oosterparkwijk	8.1	73.0	61.0
Wijk 05 Oosterpoortwijk	6.3	88.0	72.0
Wijk 06 Herewegwijk en Helpman	8.3	73.0	60.0
Wijk 07 Stadsparkwijk	9.9	61.0	52.0
Wijk 08 Hoogkerk	13.3	45.0	39.0
Wijk 09 Noorddijk	6.1	88.0	72.0

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 13

Blad:

SA13.7 - Samenvatting resultaten

Tabel 1.5 - Kans op schade per wijk

Aardbeving	g	Kans op geen schade	Kans op lichte schade	Kans op bezijken	
Wijk 00					
P ₅₀	3.9	0.06	52.88 %	47.12 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.02 %	57.35 %	42.63 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	33.33 %	66.67 %
Wijk 01					
P ₅₀	3.9	0.06	52.88 %	47.12 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	1.81 %	65.46 %	32.73 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	33.33 %	66.67 %
Wijk 02					
P ₅₀	3.9	0.06	52.88 %	47.12 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	5.03 %	66.20 %	28.77 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	33.36 %	66.64 %
Wijk 03					
P ₅₀	3.9	0.06	52.88 %	47.12 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.10 %	61.28 %	38.62 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	33.33 %	66.67 %
Wijk 04					
P ₅₀	3.9	0.06	52.88 %	47.12 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	52.40 %	47.60 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	33.33 %	66.67 %
Wijk 05					
P ₅₀	3.9	0.06	52.88 %	47.12 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	34.44 %	65.56 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	33.29 %	66.71 %
Wijk 06					
P ₅₀	3.9	0.06	52.88 %	47.12 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	52.40 %	47.60 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	33.33 %	66.67 %
Wijk 07					
P ₅₀	3.9	0.06	52.88 %	47.12 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	1.81 %	65.46 %	32.73 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	33.33 %	66.67 %
Wijk 08					
P ₅₀	3.9	0.06	52.88 %	47.12 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	30.84 %	66.67 %	2.50 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	41.92 %	58.08 %
Wijk 09					
P ₅₀	3.9	0.06	52.88 %	47.12 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	0.00 %	34.44 %	65.56 %
P ₂	5.3	0.67	0.00 %	33.29 %	66.71 %

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 14

Blad:

A1: Probabilistische analyse

§A14.1 - Betrouwbaarheidsindex

[NEN-EN 1990, art. B3.2]

In deze berekening wordt gebruik gemaakt van de eerste-orde-betrouwbaarheidsmethoden (FORM), een niveau II probabilistische methode. Dit is de methode c waarvan in de eurocodes gebruik gemaakt wordt.

Voor de weerstand R en het belastingeffect E is de prestatiefunctie g :

$$g = R - E \quad (1.1)$$

Hierbij is de bezwijkgrens $g = R - E = 0$. Voor de stochastische variabelen E en g wordt aangenomen dat deze normaal verdeeld zijn. Voor de stochastische variabele wordt aangenomen dat deze lognormaal verdeeld is. De betrouwbaarheidsindex wordt dan als volgt gedefinieerd:

$$\beta = \mu_g / \sigma_g \quad (1.2)$$

waarbij:

$\beta = 3.8$ is de betrouwbaarheidsindex van dit gebouw

μ_g is de gemiddelde waarde van g en

σ_g is de standaardafwijking.

De kans op falen dat correspondeert met deze betrouwbaarheidsindex kan berekend worden met de cumulatieve dichtheidsfunctie van de normale verdeling.

$$\Phi(x) = \frac{1}{2} [1 + \text{erf}(x/\sqrt{2})] \quad (1.3)$$

$$P_f = 1 - \Phi(x) = 7.23E-05 \quad (1.4)$$

§A14.2 - Belastingeffect E

[NEN-EN 1990, art. C7]

In de berekening wordt de horizontale belasting op het gebouw ten gevolge van wind vergeleken met de horizontale belasting op het gebouw door de horizontale versnellingen ten gevolge van de voorgedefinieerde aardbevingen.

$$\Sigma F_{hor,wind} = 696.2 \text{ kN} \quad \text{Karakteristieke waarde}$$

Over de representatieve waarde wordt in de partiële factoren methode een belastingfactor toegepast

$$\gamma_f = 1.65 [-] \quad \text{Belastingfactor}$$

Hiemee kan de rekenwaarde voor het belastingeffect bepaald worden:

$$E_d = E_{rep} \times \gamma_f = 1148.7 \text{ kN} \quad (1.5)$$

§A14.3 - Weerstand R

[NEN-EN 1990, art. C7]

De rekenwaarde van het belastingeffect wordt gelijk gesteld aan de rekenwaarde van de weerstand, het gebouw wordt ontworpen dat het de belasting juist kan weerstaan (volgens de normen).

$$R_d = 1148.7 \text{ kN}$$

De weerstand heeft een lognormale verdeling, waarvoor de volgende formule een relatie legt tussen de gemiddelde waarde, standaard deviatie en de rekenwaarde.

$$R_d = \mu_R \exp(-\alpha_R \beta_R V) \quad (1.6)$$

$\beta = 3.8$ is de betrouwbaarheidsindex,

μ_R is de gemiddelde waarde van de weerstand,

α_R is de FORM-gevoeligheidsfactor,

V_R is de variatiecoëfficiënt.

De variatiecoëfficiënt is afhankelijk van het materiaal:

$$V_R = 0.2 [-] \quad \text{Gebaseerd op beton op trek}$$

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 14

Blad:

De gevoeligheidsfactoren zijn gedefinieerd in de eurocodes:

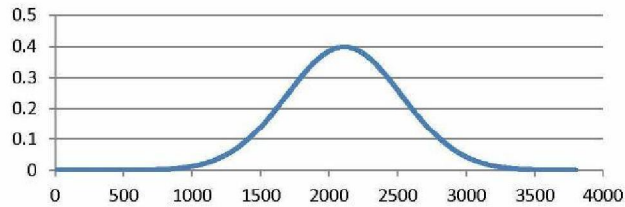
$$\alpha_R = 0.8 [-]$$

De gemiddelde en de standaarddeviatie van de weerstand zijn onbekend, maar kunnen bepaald worden op basis van de voorgaande formule:

$$\exp(\alpha \beta V - 1.64V) = 0.54 [-]$$

$$\sigma_R = 422.0 \text{ kN}$$

$$\mu_R = 2109.9 \text{ kN}$$



§A14.4 - Belastingeffect aardbeving

[NEN-EN 1998]

De meewerkende massa van het gebouw (bij een aardbeving) wordt als volgt geschat:

$$\rho = 300 \text{ kg/m}^3$$

$$V = 16200 \text{ m}^3$$

$$M = 4860000 \text{ kg}$$

De berekeningen worden bij het ontwerp in het algemeen lineair elastisch uitgevoerd. Bij grotere belastingen zullen elementen hun vloeisterkte bereiken en kunnen hierna nog plastisch vervormen. Door herverdeling kan er meer belasting opgenomen worden. Dit wordt met de "behaviour factor" in rekening gebracht.

$$q_n = 2.0 [-] \quad \text{Factor welke het (plastische) gedrag in rekening brengt (≥ 1.0)}$$

Met behulp van het elastisch response spectrum, zoals dit is gedefinieerd in NEN-EN 1998-1, en aangevuld met de waarden uit de Handreiking voor het uitvoeren van studies naar het effect van aardbevingen voor het ministerie van Economische Zaken [3]:

$$\eta = 1.0 [-] \quad \text{Uitgangspunt is een viskeuze demping van 5\%}$$

$$S = 1.0 [-] \quad \text{Bodemfactor volgens [3]}$$

$$\gamma = 2.8 [-] \quad \text{Factor volgens [3]}$$

$$T_B = 0.10 [-] \quad \text{Ondergrens constante spectrale versnelling [3]}$$

$$T_C = 0.35 [-] \quad \text{Bovengrens constante spectrale versnelling [3]}$$

$$T_D = 1.20 [-] \quad \text{Periode die het begin aangeeft van de constante verplaatsingsrespons van het spectrum [3]}$$

Bij de verschillende voorgedefinieerde aardbevingen zijn de horizontale versnellingen bekend:

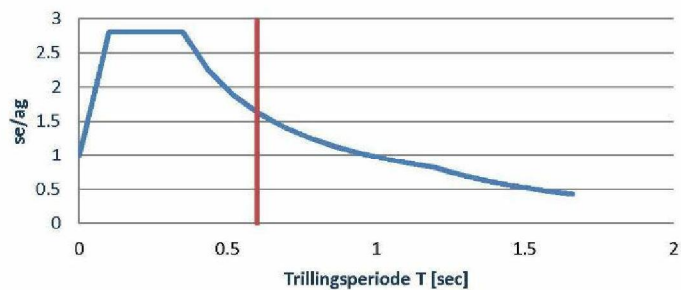
Tabel 1.1 - Belastingeffect aardbeving

Aardbeving	[g]	Belasting	
P ₅₀	3.9	0.06	2336 kN
P ₁₀	4.8	0.33	12849 kN
P ₂	5.3	0.67	26087 kN

Inschatting trillingsperiode:

$$T_e = 0.60 \text{ sec}$$

Elastic response spectrum



Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 14

Blad:

5A14.5 - Toetsing

In de vergelijking tussen het belastingeffect van de aardbeving en de weerstand van het gebouw spelen nog enkele aanvullende factoren een rol. Zo wordt de gunstige bijdrage van de bouwkundige wanden en gevel met de volgende factor in rekening gebracht:

$$Y_{\text{bouw}} = 5.0 \quad \text{Factor gunstige bijdrage bouwkundige afwerking en gevel (≥ 1.0)}$$

Een ontwerp van een gebouw wordt in veel gevallen niet volledig uitgenut, er is dus een restcapaciteit aanwezig, welke bij de vraag of een gebouw schade ondervindt bij een aardbeving wel relevant is.

$$Y_{\text{over}} = 3.0 \quad \text{Factor welke de overcapaciteit in rekening brengt (≥ 1.0)}$$

De normale verdeling van de weerstand wordt daarmee gebaseerd op de volgende waarden:

$$\sigma_R = 6329.7 \text{ kN}$$

$$\mu_R = 31648.7 \text{ kN}$$

Oriëntatie van de gebouwen ten opzichte van het epicentrum is van belang, daar de sterkte van het gebouw per richting verschilt. Met de volgende factor wordt dit meegenomen in de kansverdeling.

$$p = 1.00 \quad \text{Zwakke as 0 tot 30 graden}$$

$$p = 0.71 \quad \text{Zwakke as 30 tot 60 graden}$$

$$p = 0.25 \quad \text{Zwakke as 60 tot 90 graden}$$

Bij de verschillende aardbevingen is nu een schatting te maken welk percentage van de gebouwen bezwijkt.

Tabel 1.2 - Kans op bezwijken

Aardbeving	g	Kans op bezwijken
P ₆₀	3.9	0.06 %
P ₁₀	4.8	0.33 %
P ₂	5.3	0.67 %

Het bepalen of een gebouw schade heeft, gebeurt op een gelijke wijze, waarbij voor de weerstand enkel de restcapaciteit wordt meegenomen. Bij de andere twee factoren ontstaat immers schade. Voor het onderscheid tussen lichte en zware schade wordt onderscheid gemaakt tussen het in rekening brengen van het plastische gedrag. Indien dit optreedt ontstaat zware schade aan het gebouw.

Tabel 1.3 - Kans op schade

Aardbeving	g	Kans op geen schade	Kans op lichte schade	Kans op bezwijken
P ₆₀	3.9	100.00 %	0.00 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	93.66 %	6.28 %	0.06 %
P ₂	5.3	40.09 %	52.97 %	6.94 %

5A14.6 - Differentiatie per wijk

Afhankelijk van de afstand tot het epi-centrum is neemt de kracht van de aardbeving af. Hierdoor zal de kans op schade afnemen.

Tabel 1.4 – Reductie ten gevolge van de afstand tot Harstede

Wijk	Afstand [km]	Reductie aardbeving P10 [%]	Reductie aardbeving P2 [%]
Wijk 00 Binnenstad	8.8	70.0	57.0
Wijk 01 Schilders- en Zeeheldenwijk	9.9	61.0	52.0
Wijk 02 Oranjewijk	10.7	58.0	48.0
Wijk 03 Korrewegwijk	9	67.0	57.0
Wijk 04 Oosterparkwijk	8.1	73.0	61.0
Wijk 05 Oosterpoortwijk	6.3	88.0	72.0
Wijk 06 Herewegwijk en Helpman	8.3	73.0	60.0
Wijk 07 Stadsparkwijk	9.9	61.0	52.0
Wijk 08 Hoogkerk	13.3	45.0	39.0
Wijk 09 Noorddijk	6.1	88.0	72.0

Woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Type 14

Blad:

SA14.7 - Samenvatting resultaten

Tabel 1.5 - Kans op schade per wijk

Aardbeving	g	Kans op geen schade	Kans op lichte schade	Kans op bezijken	
Wijk 00					
P ₅₀	3.9	0.06	100.00 %	0.00 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	99.44 %	0.56 %	0.01 %
P ₂	5.3	0.67	85.73 %	14.13 %	0.15 %
Wijk 01					
P ₅₀	3.9	0.06	100.00 %	0.00 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	99.79 %	0.21 %	0.00 %
P ₂	5.3	0.67	91.26 %	8.66 %	0.08 %
Wijk 02					
P ₅₀	3.9	0.06	100.00 %	0.00 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	99.85 %	0.15 %	0.00 %
P ₂	5.3	0.67	94.59 %	5.36 %	0.05 %
Wijk 03					
P ₅₀	3.9	0.06	100.00 %	0.00 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	99.59 %	0.41 %	0.01 %
P ₂	5.3	0.67	85.73 %	14.13 %	0.15 %
Wijk 04					
P ₅₀	3.9	0.06	100.00 %	0.00 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	99.24 %	0.75 %	0.01 %
P ₂	5.3	0.67	80.48 %	19.28 %	0.24 %
Wijk 05					
P ₅₀	3.9	0.06	100.00 %	0.00 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	97.22 %	2.76 %	0.03 %
P ₂	5.3	0.67	65.46 %	33.77 %	0.76 %
Wijk 06					
P ₅₀	3.9	0.06	100.00 %	0.00 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	99.24 %	0.75 %	0.01 %
P ₂	5.3	0.67	81.84 %	17.95 %	0.21 %
Wijk 07					
P ₅₀	3.9	0.06	100.00 %	0.00 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	99.79 %	0.21 %	0.00 %
P ₂	5.3	0.67	91.26 %	8.66 %	0.08 %
Wijk 08					
P ₅₀	3.9	0.06	100.00 %	0.00 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	99.97 %	0.03 %	0.00 %
P ₂	5.3	0.67	98.66 %	1.33 %	0.01 %
Wijk 09					
P ₅₀	3.9	0.06	100.00 %	0.00 %	0.00 %
P ₁₀	4.8	0.33	97.22 %	2.76 %	0.03 %
P ₂	5.3	0.67	65.46 %	33.77 %	0.76 %

Bijlage B

WOZ waarden gemeente Groningen

Waardebepaling



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen	Proj.nr.: BD1037
Onderdeel: Waardebepaling gebouwen op basis van WOZ waarden	Blad:

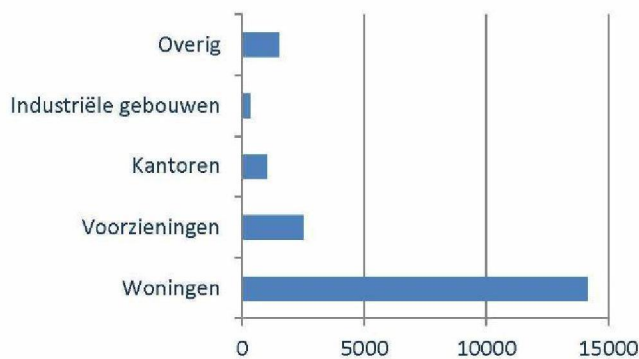
B1 WOZ waarden overzicht

§B1.1 - Gemeente Groningen

[Bron: Gemeente Groningen 4 maart 2014]

<u>Woningen</u>		
2 onder een kap	1,000,392,000	7.07 %
Portiekwoningen	2,524,513,000	17.85 %
Appartementen	76,373,000	0.54 %
Flat	1,708,293,000	12.08 %
Gestapelde bouw	2,834,154,000	20.04 %
Rijtjes woningen	4,898,053,000	34.63 %
Vrijstaand	968,333,000	6.85 %
Overig	134,835,000	0.95 %
	14,144,946,000	72.45 %
<u>Voorzieningen</u>		
Eetgelegenheden	183,898,000	7.32 %
Hotels	54,086,000	2.15 %
Winkels	869,047,000	34.58 %
Gemeente	22,754,000	0.91 %
Publiek	20,152,000	0.80 %
Onderwijs	812,347,000	32.32 %
Overig	551,070,000	21.93 %
	2,513,354,000	12.87 %
<u>Kantoren</u>	1,026,854,000	5.26 %
<u>Industriële gebouwen</u>	332,487,000	1.70 %
<u>Overig</u>	1,505,479,000	7.71 %
Totaal	19,523,120,000 euro	

Totale waarde gebouwen
(in miljoen euro)



Waarde woningen
(in miljoen euro)



Waardebepaling



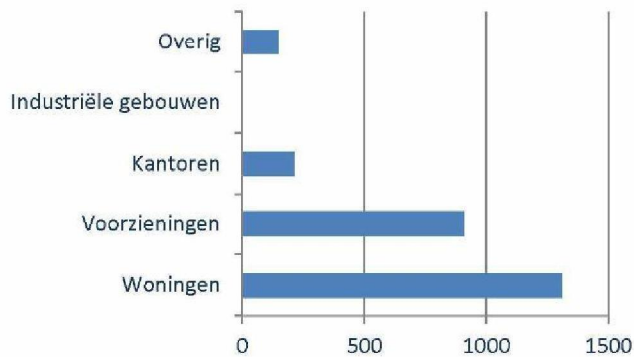
Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Gro	Proj.nr.: BD1037
Onderdeel: Waardebepaling gebouwen op basis van WOZ waarden	Blad:

§B1.2 - Wijk 00 Centrum

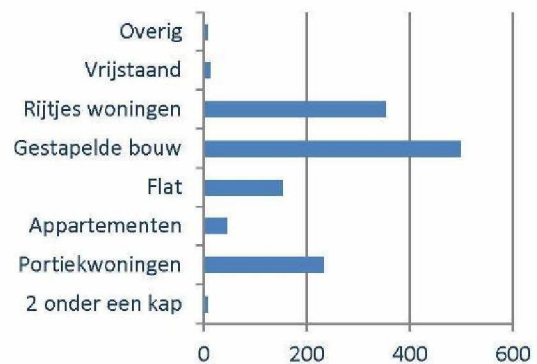
[Bron: Gemeente Groningen 4 maart 2014]

<u>Woningen</u>		
2 onder een kap	7,247,000	0.55 %
Portiekwoningen	232,838,000	17.76 %
Appartementen	45,157,000	3.44 %
Flat	153,540,000	11.71 %
Gestapelde bouw	498,420,000	38.02 %
Rijtjes woningen	353,308,000	26.95 %
Vrijstaand	12,426,000	0.95 %
Overig	8,151,000	0.62 %
	1,311,087,000	50.77 %
<u>Voorzieningen</u>		
Eetgelegenheden	129,143,000	14.23 %
Hotels	31,499,000	3.47 %
Winkels	611,536,000	67.39 %
Gemeente	19,048,000	2.10 %
Publiek	6,724,000	0.74 %
Onderwijs	92,596,000	10.20 %
Overig	16,900,000	1.86 %
	907,446,000	35.14 %
<u>Kantoren</u>	212,954,000	8.25 %
<u>Industriële gebouwen</u>	2,582,000	0.10 %
<u>Overig</u>	148,158,000	5.74 %
Totaal	2,582,227,000	euro

Totale waarde gebouwen
(in miljoen euro)



Waarde woningen
(in miljoen euro)



Waardebepaling



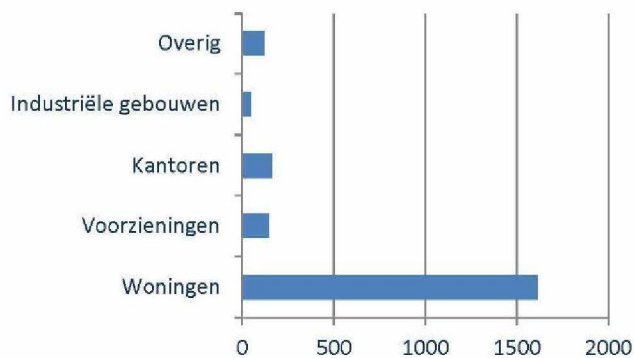
Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen Proj.nr.: BD1037

Onderdeel: Waardebepaling gebouwen op basis van WOZ waarden Blad:

§B1.3 - Wijk 01 Schilders- en Zeeheldenwijk [Bron: Gemeente Groningen 4 maart 2014]

<u>Woningen</u>		
2 onder een kap	29,517,000	1.83 %
Portiekwoningen	309,924,000	19.19 %
Appartementen	11,947,000	0.74 %
Flat	272,659,000	16.88 %
Gestapelde bouw	399,827,000	24.75 %
Rijtjes woningen	574,583,000	35.57 %
Vrijstaand	9,120,000	0.56 %
Overig	7,583,000	0.47 %
	1,615,160,000	77.22 %
<u>Voorzieningen</u>		
Eetgelegenheden	12,810,000	8.67 %
Hotels	0	0.00 %
Winkels	57,207,000	38.72 %
Gemeente	434,000	0.29 %
Publiek	2,196,000	1.49 %
Onderwijs	71,719,000	48.54 %
Overig	3,388,000	2.29 %
	147,754,000	7.06 %
<u>Kantoren</u>	160,577,000	7.68 %
<u>Industriële gebouwen</u>	48,442,000	2.32 %
<u>Overig</u>	119,750,000	5.73 %
Totaal	2,091,683,000	euro

Totale waarde gebouwen
(in miljoen euro)



Waarde woningen
(in miljoen euro)



Waardebepaling



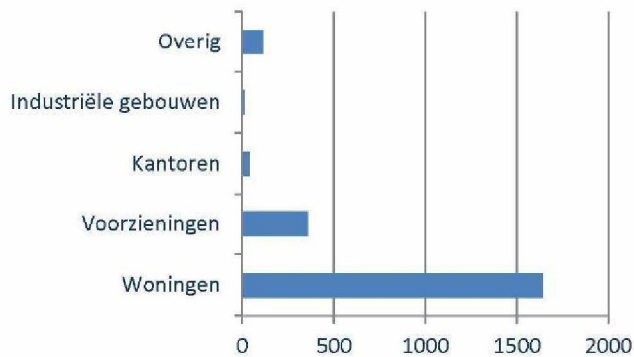
Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Gro	Proj.nr.: BD1037
Onderdeel: Waardebepaling gebouwen op basis van WOZ waarden	Blad:

§B1.4 - Wijk 02 Oranjewijk

[Bron: Gemeente Groningen 4 maart 2014]

<u>Woningen</u>		
2 onder een kap	64,142,000	3.91 %
Portiekwoningen	376,374,000	22.94 %
Appartementen	3,390,000	0.21 %
Flat	229,622,000	14.00 %
Gestapelde bouw	302,898,000	18.46 %
Rijtjes woningen	630,257,000	38.42 %
Vrijstaand	21,074,000	1.28 %
Overig	12,884,000	0.79 %
	1,640,641,000	75.77 %
<u>Voorzieningen</u>		
Eetgelegenheden	4,998,000	1.40 %
Hotels	0	0.00 %
Winkels	64,017,000	17.87 %
Gemeente	797,000	0.22 %
Publiek	0	0.00 %
Onderwijs	284,980,000	79.55 %
Overig	3,434,000	0.96 %
	358,226,000	16.54 %
<u>Kantoren</u>	37,617,000	1.74 %
<u>Industriële gebouwen</u>	14,857,000	0.69 %
<u>Overig</u>	114,041,000	5.27 %
Totaal	2,165,382,000	euro

Totale waarde gebouwen
(in miljoen euro)



Waarde woningen
(in miljoen euro)



Waardebepaling



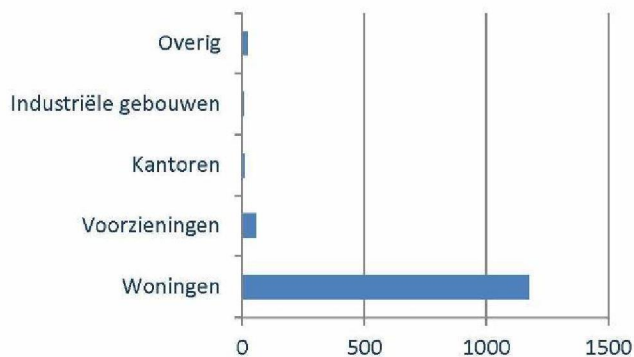
Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Gro	Proj.nr.: BD1037
Onderdeel: Waardebepaling gebouwen op basis van WOZ waarden	Blad:

§B1.5 - Wijk 03 Korrewegwijk

[Bron: Gemeente Groningen 4 maart 2014]

<u>Woningen</u>		
2 onder een kap	4,987,000	0.42 %
Portiekwoningen	216,380,000	18.42 %
Appartementen	2,634,000	0.22 %
Flat	116,930,000	9.95 %
Gestapelde bouw	581,030,000	49.45 %
Rijttjes woningen	237,919,000	20.25 %
Vrijstaand	4,469,000	0.38 %
Overig	10,540,000	0.90 %
	1,174,889,000	92.82 %
<u>Voorzieningen</u>		
Eetgelegenheden	4,447,000	7.81 %
Hotels	495,000	0.87 %
Winkels	22,115,000	38.84 %
Gemeente	1,358,000	2.39 %
Publiek	0	0.00 %
Onderwijs	27,747,000	48.73 %
Overig	776,000	1.36 %
	56,938,000	4.50 %
<u>Kantoren</u>	9,901,000	0.78 %
<u>Industriële gebouwen</u>	4,374,000	0.35 %
<u>Overig</u>	19,705,000	1.56 %
Totaal	1,265,807,000	euro

Totale waarde gebouwen
(in miljoen euro)



Waarde woningen
(in miljoen euro)



Waardebepaling



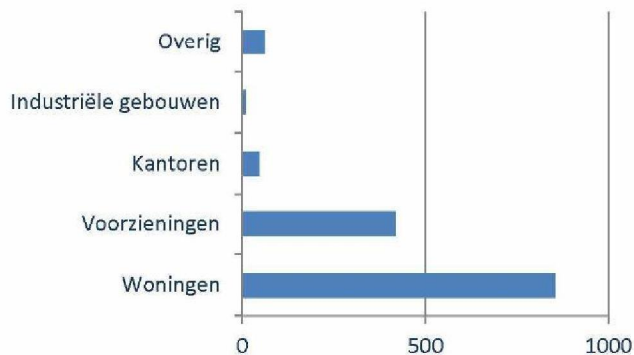
Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Gro	Proj.nr.: BD1037
Onderdeel: Waardebepaling gebouwen op basis van WOZ waarden	Blad:

§B1.6 - Wijk 04 Oosterparkwijk

[Bron: Gemeente Groningen 4 maart 2014]

<u>Woningen</u>		
2 onder een kap	9,922,000	1.16 %
Portiekwoningen	200,564,000	23.49 %
Appartementen	2,017,000	0.24 %
Flat	93,043,000	10.90 %
Gestapelde bouw	290,451,000	34.01 %
Rijtjes woningen	234,870,000	27.50 %
Vrijstaand	1,897,000	0.22 %
Overig	21,184,000	2.48 %
	853,948,000	61.54 %
<u>Voorzieningen</u>		
Eetgelegenheden	2,190,000	0.52 %
Hotels	9,705,000	2.32 %
Winkels	10,331,000	2.47 %
Gemeente	0	0.00 %
Publiek	0	0.00 %
Onderwijs	85,005,000	20.35 %
Overig	310,438,000	74.33 %
	417,669,000	30.10 %
<u>Kantoren</u>	45,463,000	3.28 %
<u>Industriële gebouwen</u>	8,928,000	0.64 %
<u>Overig</u>	61,661,000	4.44 %
Totaal	1,387,669,000	euro

Totale waarde gebouwen
(in miljoen euro)



Waarde woningen
(in miljoen euro)



Waardebepaling



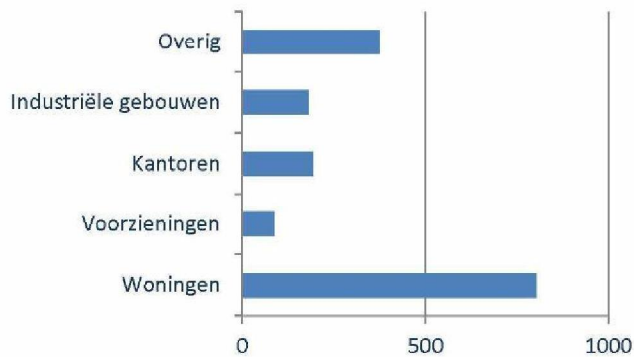
Werk:	QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen	Proj.nr.:	BD1037
Onderdeel:	Waardebepaling gebouwen op basis van WOZ waarden	Blad:	

§B1.7 - Wijk 05 Oosterpoortwijk

[Bron: Gemeente Groningen 4 maart 2014]

<u>Woningen</u>		
2 onder een kap	48,273,000	6.01 %
Portiekwoningen	94,675,000	11.79 %
Appartementen	10,038,000	1.25 %
Flat	137,061,000	17.07 %
Gestapelde bouw	154,707,000	19.27 %
Rijtjes woningen	260,123,000	32.40 %
Vrijstaand	86,599,000	10.79 %
Overig	11,272,000	1.40 %
	802,748,000	48.98 %
<u>Voorzieningen</u>		
Eetgelegenheden	14,334,000	16.56 %
Hotels	2,873,000	3.32 %
Winkels	16,391,000	18.94 %
Gemeente	0	0.00 %
Publiek	10,952,000	12.65 %
Onderwijs	37,372,000	43.18 %
Overig	4,622,000	5.34 %
	86,544,000	5.28 %
<u>Kantoren</u>	192,860,000	11.77 %
<u>Industriële gebouwen</u>	180,652,000	11.02 %
<u>Overig</u>	376,005,000	22.94 %
Totaal	1,638,809,000	euro

Totale waarde gebouwen
(in miljoen euro)



Waarde woningen
(in miljoen euro)



Waardebepaling



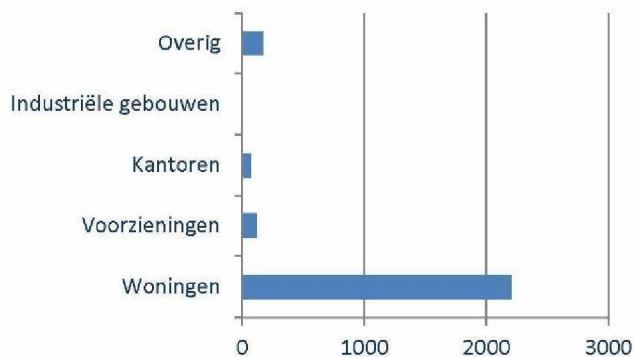
Werk:	QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen	Proj.nr.:	BD1037
Onderdeel:	Waardebepaling gebouwen op basis van WOZ waarden	Blad:	

§B1.8 - Wijk 06 Herewegwijk en Helpman

[Bron: Gemeente Groningen 4 maart 2014]

<u>Woningen</u>		
2 onder een kap	141,643,000	6.41 %
Portiekwoningen	556,105,000	25.19 %
Appartementen	0	0.00 %
Flat	220,747,000	10.00 %
Gestapelde bouw	396,422,000	17.95 %
Rijtjes woningen	593,583,000	26.88 %
Vrijstaand	272,531,000	12.34 %
Overig	26,968,000	1.22 %
	2,207,999,000	86.08 %
<u>Voorzieningen</u>		
Eetgelegenheden	4,468,000	3.80 %
Hotels	0	0.00 %
Winkels	34,174,000	29.05 %
Gemeente	0	0.00 %
Publiek	280,000	0.24 %
Onderwijs	76,379,000	64.93 %
Overig	2,328,000	1.98 %
	117,629,000	4.59 %
<u>Kantoren</u>	69,676,000	2.72 %
<u>Industriële gebouwen</u>	2,983,000	0.12 %
<u>Overig</u>	166,856,000	6.50 %
Totaal	2,565,143,000	euro

Totale waarde gebouwen
(in miljoen euro)



Waarde woningen
(in miljoen euro)



Waardebepaling



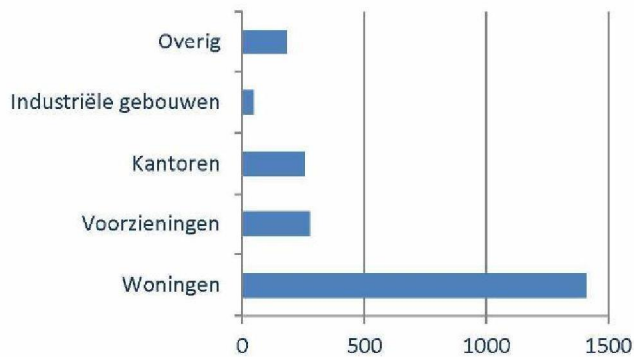
Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Gro	Proj.nr.: BD1037
Onderdeel: Waardebepaling gebouwen op basis van WOZ waarden	Blad:

§B1.9 - Wijk 07 Stadsparkwijk

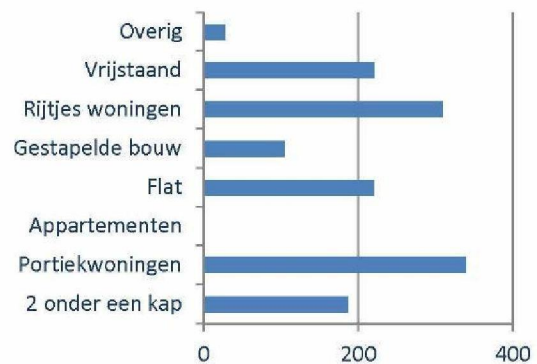
[Bron: Gemeente Groningen 4 maart 2014]

<u>Woningen</u>		
2 onder een kap	187,156,000	13.28 %
Portiekwoningen	339,562,000	24.09 %
Appartementen	159,000	0.01 %
Flat	219,756,000	15.59 %
Gestapelde bouw	104,640,000	7.42 %
Rijtjes woningen	308,943,000	21.92 %
Vrijstaand	221,182,000	15.69 %
Overig	28,052,000	1.99 %
	1,409,450,000	65.04 %
<u>Voorzieningen</u>		
Eetgelegenheden	4,154,000	1.51 %
Hotels	9,514,000	3.45 %
Winkels	12,845,000	4.66 %
Gemeente	0	0.00 %
Publiek	0	0.00 %
Onderwijs	43,363,000	15.73 %
Overig	205,850,000	74.66 %
	275,726,000	12.72 %
<u>Kantoren</u>	255,797,000	11.80 %
<u>Industriële gebouwen</u>	45,194,000	2.09 %
<u>Overig</u>	180,916,000	8.35 %
Totaal	2,167,083,000	euro

Totale waarde gebouwen
(in miljoen euro)



Waarde woningen
(in miljoen euro)



Waardebepaling



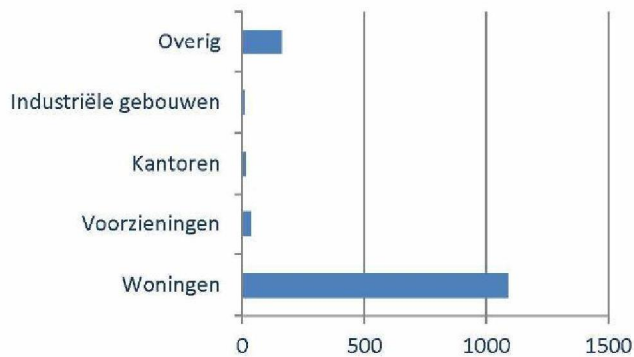
Werk:	QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen	Proj.nr.:	BD1037
Onderdeel:	Waardebepaling gebouwen op basis van WOZ waarden	Blad:	

§B1.10 - Wijk 08 Hoogkerk

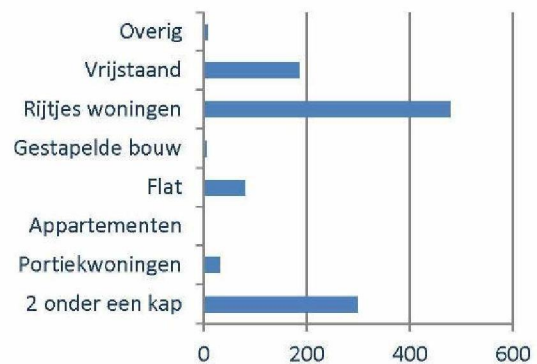
[Bron: Gemeente Groningen 4 maart 2014]

<u>Woningen</u>		
2 onder een kap	298,373,000	27.43 %
Portiekwoningen	30,370,000	2.79 %
Appartementen	1,031,000	0.09 %
Flat	80,832,000	7.43 %
Gestapelde bouw	5,607,000	0.52 %
Rijtjes woningen	477,731,000	43.91 %
Vrijstaand	185,978,000	17.10 %
Overig	7,966,000	0.73 %
	1,087,888,000	83.17 %
<u>Voorzieningen</u>		
Eetgelegenheden	3,329,000	9.04 %
Hotels	0	0.00 %
Winkels	13,197,000	35.84 %
Gemeente	446,000	1.21 %
Publiek	0	0.00 %
Onderwijs	17,994,000	48.87 %
Overig	1,857,000	5.04 %
	36,823,000	2.82 %
<u>Kantoren</u>	12,453,000	0.95 %
<u>Industriële gebouwen</u>	10,335,000	0.79 %
<u>Overig</u>	160,543,000	12.27 %
Totaal	1,308,042,000	euro

Totale waarde gebouwen
(in miljoen euro)



Waarde woningen
(in miljoen euro)



Waardebepaling



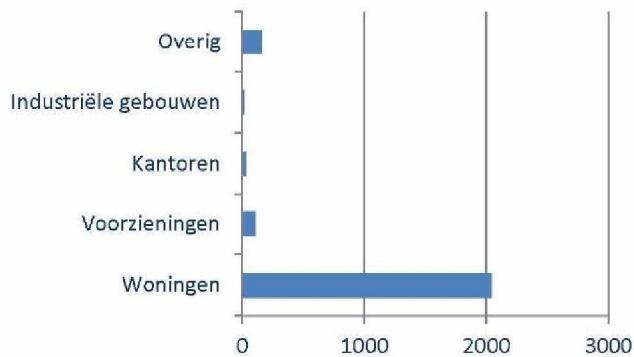
Werk:	QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen	Proj.nr.:	BD1037
Onderdeel:	Waardebepaling gebouwen op basis van WOZ waarden	Blad:	

§B1.11 - Wijk 09 Noorddijk

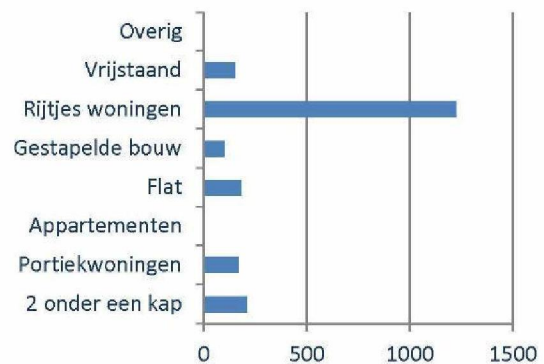
[Bron: Gemeente Groningen 4 maart 2014]

<u>Woningen</u>		
2 onder een kap	209,132,000	10.25 %
Portiekwoningen	167,721,000	8.22 %
Appartementen	0	0.00 %
Flat	184,103,000	9.02 %
Gestapelde bouw	100,152,000	4.91 %
Rijtjes woningen	1,226,736,000	60.10 %
Vrijstaand	153,057,000	7.50 %
Overig	235,000	0.01 %
	2,041,136,000	86.81 %
<u>Voorzieningen</u>		
Eetgelegenheden	4,025,000	3.71 %
Hotels	0	0.00 %
Winkels	27,234,000	25.08 %
Gemeente	671,000	0.62 %
Publiek	0	0.00 %
Onderwijs	75,192,000	69.24 %
Overig	1,477,000	1.36 %
	108,599,000	4.62 %
<u>Kantoren</u>	29,556,000	1.26 %
<u>Industriële gebouwen</u>	14,140,000	0.60 %
<u>Overig</u>	157,844,000	6.71 %
Totaal	2,351,275,000	euro

Totale waarde gebouwen
(in miljoen euro)



Waarde woningen
(in miljoen euro)



Waardebepaling



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BC1013

Onderdeel: Waardebepaling gebouwen op basis van WOZ waarden

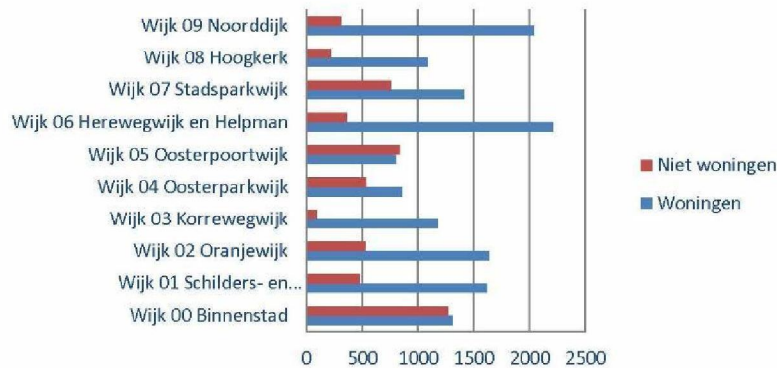
Blad:

§B1.12 - Verdeling over wijken

[Bron: Gemeente Groningen 4 maart 2014]

	<u>Woningen</u>		<u>Niet-woningen</u>	
Wijk 00 Binnenstad	1,311,087,000	9.27 %	1,271,140,000	23.64 %
Wijk 01 Schilders- en Zeeheldenwijk	1,615,160,000	11.42 %	476,523,000	8.86 %
Wijk 02 Oranjewijk	1,640,641,000	11.60 %	524,741,000	9.76 %
Wijk 03 Korrewegwijk	1,174,889,000	8.31 %	90,918,000	1.69 %
Wijk 04 Oosterparkwijk	853,948,000	6.04 %	533,721,000	9.92 %
Wijk 05 Oosterpoortwijk	802,748,000	5.68 %	836,061,000	15.55 %
Wijk 06 Herewegwijk en Helpman	2,207,999,000	15.61 %	357,144,000	6.64 %
Wijk 07 Stadsparkwijk	1,409,450,000	9.96 %	757,633,000	14.09 %
Wijk 08 Hoogkerk	1,087,888,000	7.69 %	220,154,000	4.09 %
Wijk 09 Noorddijk	2,041,135,000	14.43 %	310,139,000	5.77 %
	<u>14,144,946,000</u>		<u>5,378,174,000</u>	

Waarde woningen
(in miljoen euro)



Bijlage C

Kansverdeling schade aardbevingen

Schade woningen			
Werk:	QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen	Proj.nr.:	BD1037
Onderdeel:	Totaal gemeente Groningen	Blad:	

C1 Totaal gemeente Groningen

§C1.1 - Aardbeving 0.06g

Woningen	WOZ waarde [euro]	P _{Lichte schade} [%]	P _{bezukken} [%]	Schatting schade [euro]	
2 onder een kap	1000392000	0.03	0.00	33530	
Portiekwoningen	2524513000	24.63	0.00	62177628	
Appartementen	76373000	0.24	0.00	18246	
Flat	1708293000	9.89	0.00	16896707	
Gestapelde bouw	2834154000	24.63	0.00	69803947	
Rijtjes woningen	4898053000	2.67	0.00	13067488	
Vrijstaand	968333000	0.00	0.00	4505	
Overig	134835000	0.00	0.00	286	
	1.4145E+10			162002338	1.15 %

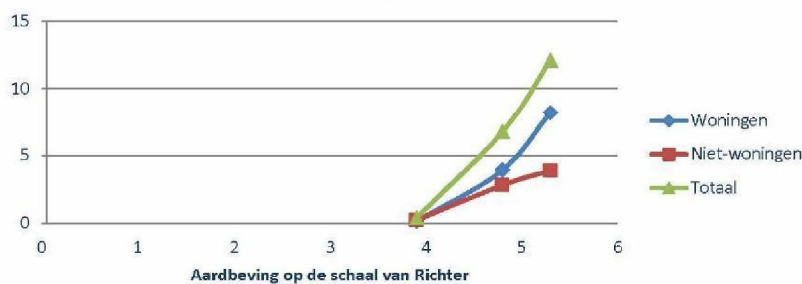
§C1.2 - Aardbeving 0.33g

Woningen	WOZ waarde [euro]	P _{Lichte schade} [%]	P _{bezukken} [%]	Schatting schade [euro]	
2 onder een kap	1000392000	39.11	1.00	49084488	
Portiekwoningen	2524513000	52.98	30.14	894666068	
Appartementen	76373000	65.52	1.39	6067050	
Flat	1708293000	58.02	16.98	389147878	
Gestapelde bouw	2834154000	52.58	31.35	1037380278	
Rijtjes woningen	4898053000	42.45	27.12	1536096245	
Vrijstaand	968333000	19.93	0.09	20186212	
Overig	134835000	55.84	0.01	7547408	
	1.4145E+10			3940175627	27.86 %

§C1.3 - Aardbeving 0.67g

Woningen	WOZ waarde [euro]	P _{Lichte schade} [%]	P _{bezukken} [%]	Schatting schade [euro]	
2 onder een kap	1000392000	50.35	15.25	202947338	
Portiekwoningen	2524513000	34.62	65.32	1736319620	
Appartementen	76373000	52.21	31.79	28266645	
Flat	1708293000	40.07	58.70	1071153345	
Gestapelde bouw	2834154000	34.17	65.81	1962037972	
Rijtjes woningen	4898053000	29.04	60.80	3120191686	
Vrijstaand	968333000	52.61	3.00	80009924	
Overig	134835000	64.35	3.22	13012630	
	1.4145E+10			8213939161	58.07 %

**Kans op schade uit berekening
(in miljard euro)**



Schade niet-woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BC1013

Onderdeel: Totaal gemeente Groningen

Blad:

§C1.4 - Aardbeving 0.06g

	WOZ waarde	P _{lichte schade}	P _{bezuigen}	Schatting schade	
<u>Voorzieningen</u>	[euro]	[%]	[%]	[euro]	
Eetgelegenheden	183898000	24.63	0.00	4529326	
Hotels	54086000	66.70	0.01	3612924	
Winkels	869047000	24.63	0.00	21404239	
Gemeente	22754000	53.22	0.02	1214525	
Publiek	20152000	0.00	0.00	10	
Onderwijs	812347000	66.70	0.01	54264463	
Overig	551070000	32.18	0.03	17904145	
<u>Kantoren</u>	1026854000	66.58	0.01	68490864	
<u>Industriële gebouwen</u>	332487000	78.57	0.24	26911986	
<u>Overig</u>	<u>1505479000</u>	<u>32.18</u>	<u>0.03</u>	<u>48912686</u>	
	5378174000			247245168	4.60 %

§C1.5 - Aardbeving 0.33g

	WOZ waarde	P _{lichte schade}	P _{bezuigen}	Schatting schade	
<u>Voorzieningen</u>	[euro]	[%]	[%]	[euro]	
Eetgelegenheden	183898000	52.09	33.67	71493743	
Hotels	54086000	32.43	67.57	38298668	
Winkels	869047000	52.60	32.10	324675044	
Gemeente	22754000	25.59	54.50	12983117	
Publiek	20152000	1.72	0.02	37896	
Onderwijs	812347000	32.29	67.71	576283048	
Overig	551070000	38.29	34.41	210736774	
<u>Kantoren</u>	1026854000	31.69	68.29	733821233	
<u>Industriële gebouwen</u>	332487000	20.87	78.46	267793928	
<u>Overig</u>	<u>1505479000</u>	<u>37.66</u>	<u>35.58</u>	<u>592369302</u>	
	5378174000			2828492752	52.59 %

§C1.6 - Aardbeving 0.67g

	WOZ waarde	P _{lichte schade}	P _{bezuigen}	Schatting schade	
<u>Voorzieningen</u>	[euro]	[%]	[%]	[euro]	
Eetgelegenheden	183898000	34.02	65.90	127436471	
Hotels	54086000	9.06	90.94	49675940	
Winkels	869047000	34.18	65.75	601081967	
Gemeente	22754000	5.55	77.29	17713433	
Publiek	20152000	24.26	0.48	584835	
Onderwijs	812347000	13.29	86.71	715151806	
Overig	551070000	30.53	54.16	315261479	
<u>Kantoren</u>	1026854000	11.57	88.43	919886870	
<u>Industriële gebouwen</u>	332487000	13.43	86.57	292293972	
<u>Overig</u>	<u>1505479000</u>	<u>30.32</u>	<u>54.45</u>	<u>865439443</u>	
	5378174000			3904526214	72.60 %

Schade woningen



Werk:	QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen	Proj.nr.:	BD1037
Onderdeel:	Totaal gemeente Groningen	Blad:	

§C1.7 - Kans op schade naar woningtype

Woningen	P _{Lichte schade} [%]	P _{bezwijk} [%]
2 onder een kap	50.35	1.00
Portiekwoningen	34.62	30.14
Appartementen	52.21	1.39
Flat	40.07	16.98
Gestapelde bouw	34.17	31.35
Rijtjes woningen	29.04	27.12
Vrijstaand	52.61	0.09
Overig	64.35	0.01
<i>Gemiddeld gemeente Groningen woningen*</i>	<u>35.98</u>	<u>23.18</u>

§C1.8 - Kans op schade naar wijk

	P _{Lichte schade} [%]	P _{bezwijk} [%]
Wijk 00 Binnenstad	49.96	28.37
Wijk 01 Schilders- en Zeeheldenwijk	54.50	15.55
Wijk 02 Oranjewijk	55.61	11.55
Wijk 03 Korrewegwijk	51.39	26.30
Wijk 04 Oosterparkwijk	48.82	32.62
Wijk 05 Oosterpoortwijk	41.52	39.28
Wijk 06 Herewegwijk en Helpman	45.31	26.86
Wijk 07 Stadsparkwijk	46.13	10.89
Wijk 08 Hoogkerk	37.78	1.19
Wijk 09 Noorddijk	36.44	39.41
<i>Gemiddeld gemeente Groningen woningen*</i>	<u>46.71</u>	<u>23.18</u>

* Gewogen gemiddelde naar WOZ waarde

<h1>Schade woningen</h1>			
Werk:	QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen	Proj.nr.:	BD1037
Onderdeel:	Wijk 00 Binnenstad	Blad:	

C2 Wijk 00 Binnenstad

§C2.1 - Aardbeving 0.06g

Woningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezwaren} [%]	Schatting schade [euro]	
2 onder een kap	7247000	0.03	0.00	243	
Portiekwoningen	232838000	24.63	0.00	5734696	
Appartementen	45157000	0.24	0.00	10788	
Flat	153540000	9.89	0.00	1518662	
Gestapelde bouw	498420000	24.63	0.00	12275862	
Rijtjes woningen	353308000	2.67	0.00	942588	
Vrijstaand	12426000	0.00	0.00	58	
Overig	8151000	0.00	0.00	17	
	1311087000			20482915	1.56 %

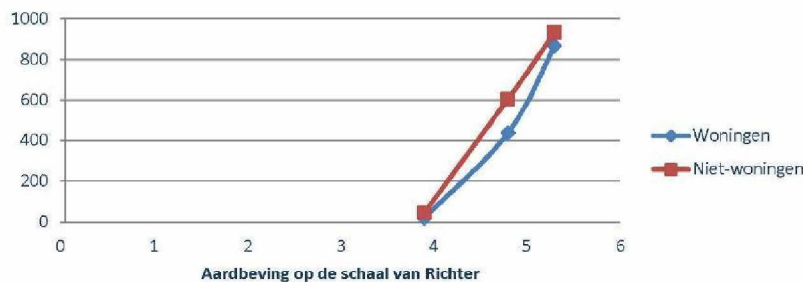
§C2.2 - Aardbeving 0.33g

Woningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezwaren} [%]	Schatting schade [euro]	
2 onder een kap	7247000	50.26	0.62	409451	
Portiekwoningen	232838000	52.20	33.96	91232045	
Appartementen	45157000	66.10	0.71	3306618	
Flat	153540000	55.58	18.24	36542317	
Gestapelde bouw	498420000	52.20	33.96	195294050	
Rijtjes woningen	353308000	41.60	26.95	109931474	
Vrijstaand	12426000	20.00	0.05	255355	
Overig	8151000	61.65	0.01	503049	
	1311087000			437474360	33.37 %

§C2.3 - Aardbeving 0.67g

Woningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezwaren} [%]	Schatting schade [euro]	
2 onder een kap	7247000	52.04	15.34	1488821	
Portiekwoningen	232838000	33.51	66.49	162606774	
Appartementen	45157000	52.30	31.51	16591945	
Flat	153540000	37.23	62.73	102033885	
Gestapelde bouw	498420000	33.51	66.49	348080933	
Rijtjes woningen	353308000	27.37	64.04	235912924	
Vrijstaand	12426000	58.94	1.78	953330	
Overig	8151000	65.00	2.18	707136	
	1311087000			868375750	66.23 %

Kans op schade (in miljoen euro)



Schade niet-woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen
 Onderdeel: Wijk 00 Binnenstad

Proj.nr.: BC1013
 Blad:

§C2.4 - Aardbeving 0.06g

Voorzieningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezuigen} [%]	Schatting schade [euro]	
Eetgelegenheden	129143000	24.63	0.00	3180734	
Hotels	31499000	66.70	0.01	2104121	
Winkels	611536000	24.63	0.00	15061859	
Gemeente	19048000	53.22	0.02	1016712	
Publiek	6724000	0.00	0.00	3	
Onderwijs	92596000	66.70	0.01	6185377	
Overig	16900000	32.18	0.03	549077	
Kantoren	212954000	66.58	0.01	14203970	
Industriële gebouwen	2582000	78.57	0.24	208991	
Overig	<u>148158000</u>	32.18	0.03	<u>4813621</u>	
	1271140000			47324466	3.72 %

§C2.5 - Aardbeving 0.33g

Voorzieningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezuigen} [%]	Schatting schade [euro]	
Eetgelegenheden	129143000	52.20	33.96	50601620	
Hotels	31499000	32.66	67.34	22241454	
Winkels	611536000	52.20	33.96	239615871	
Gemeente	19048000	25.73	54.39	10849414	
Publiek	6724000	0.56	0.01	4196	
Onderwijs	92596000	32.66	67.34	65382066	
Overig	16900000	38.31	35.16	6589110	
Kantoren	212954000	32.54	67.46	150578869	
Industriële gebouwen	2582000	23.11	76.89	2044893	
Overig	<u>148158000</u>	38.31	35.16	<u>57765051</u>	
	1271140000			605672545	47.65 %

§C2.6 - Aardbeving 0.67g

Voorzieningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezuigen} [%]	Schatting schade [euro]	
Eetgelegenheden	129143000	33.51	66.49	90189430	
Hotels	31499000	9.06	90.94	28930987	
Winkels	611536000	33.51	66.49	427077608	
Gemeente	19048000	4.79	78.06	14960786	
Publiek	6724000	14.13	0.15	104934	
Onderwijs	92596000	9.06	90.94	85046945	
Overig	16900000	30.45	54.18	9670413	
Kantoren	212954000	10.97	89.03	191926358	
Industriële gebouwen	2582000	13.33	86.67	2272161	
Overig	<u>148158000</u>	30.45	54.18	<u>84778053</u>	
	1271140000			934957676	73.55 %

Schade woningen			
Werk:	QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen	Proj.nr.:	BD1037
Onderdeel:	Wijk 01 Schilders- en Zeeheldenwijk	Blad:	

C3 Wijk 01 Schilders- en Zeeheldenwijk

§C3.1 - Aardbeving 0.06g

Woningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezuiken} [%]	Schatting schade [euro]	
2 onder een kap	29517000	0.03	0.00	989	
Portiekwoningen	309924000	24.63	0.00	7633290	
Appartementen	11947000	0.24	0.00	2854	
Flat	272659000	9.89	0.00	2696867	
Gestapelde bouw	399827000	24.63	0.00	9847560	
Rijtjes woningen	574583000	2.67	0.00	1532927	
Vrijstaand	9120000	0.00	0.00	42	
Overig	7583000	0.00	0.00	16	
	1615160000			21714546	1.34 %

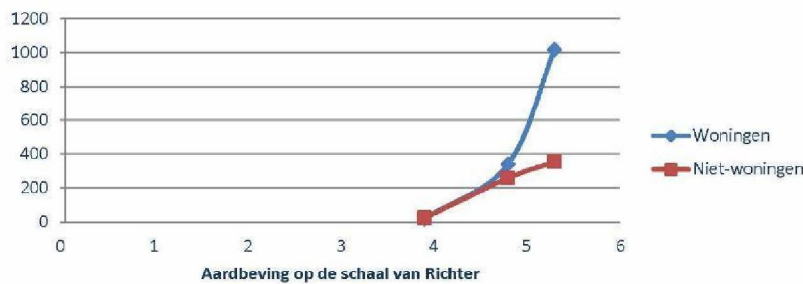
§C3.2 - Aardbeving 0.33g

Woningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezuiken} [%]	Schatting schade [euro]	
2 onder een kap	29517000	39.41	0.24	1233063	
Portiekwoningen	309924000	54.77	20.28	79815189	
Appartementen	11947000	66.54	0.15	812229	
Flat	272659000	61.59	7.12	36197226	
Gestapelde bouw	399827000	54.77	20.28	102968043	
Rijtjes woningen	574583000	52.09	15.29	117757355	
Vrijstaand	9120000	10.23	0.02	95381	
Overig	7583000	50.52	0.00	383180	
	1615160000			339261665	21.00 %

§C3.3 - Aardbeving 0.67g

Woningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezuiken} [%]	Schatting schade [euro]	
2 onder een kap	29517000	57.42	9.50	4499812	
Portiekwoningen	309924000	34.75	65.25	212987271	
Appartementen	11947000	54.07	22.28	3307533	
Flat	272659000	43.21	56.32	165354504	
Gestapelde bouw	399827000	34.75	65.25	274770788	
Rijtjes woningen	574583000	25.44	59.94	359012030	
Vrijstaand	9120000	54.10	0.93	578554	
Overig	7583000	66.02	0.82	562944	
	1615160000			1021073437	63.22 %

Kans op schade (in miljoen euro)



Schade niet-woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BC1013

Onderdeel: Wijk 01 Schilders- en Zeeheldenwijk

Blad:

§C3.4 - Aardbeving 0.06g

Voorzieningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezuigen} [%]	Schatting schade [euro]	
Eetgelegenheden	12810000	24.63	0.00	315505	
Hotels	0	66.70	0.01	0	
Winkels	57207000	24.63	0.00	1408983	
Gemeente	434000	53.22	0.02	23165	
Publiek	2196000	0.00	0.00	1	
Onderwijs	71719000	66.70	0.01	4790801	
Overig	3388000	32.18	0.03	110075	
Kantoren	160577000	66.58	0.01	10710439	
Industriële gebouwen	48442000	78.57	0.24	3920967	
Overig	<u>119750000</u>	32.18	0.03	<u>3890652</u>	
	476523000			25170588	5.28 %

§C3.5 - Aardbeving 0.33g

Voorzieningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezuigen} [%]	Schatting schade [euro]	
Eetgelegenheden	12810000	54.77	20.28	3298978	
Hotels	0	33.19	66.81	0	
Winkels	57207000	54.77	20.28	14732604	
Gemeente	434000	26.48	53.56	243942	
Publiek	2196000	0.21	0.00	537	
Onderwijs	71719000	33.19	66.81	50297327	
Overig	3388000	38.63	31.13	1185450	
Kantoren	160577000	33.21	66.79	112576521	
Industriële gebouwen	48442000	30.40	68.87	34836668	
Overig	<u>119750000</u>	38.63	31.13	<u>41900126</u>	
	476523000			259072153	54.37 %

§C3.6 - Aardbeving 0.67g

Voorzieningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezuigen} [%]	Schatting schade [euro]	
Eetgelegenheden	12810000	34.75	65.25	8803342	
Hotels	0	16.94	83.06	0	
Winkels	57207000	34.75	65.25	39314035	
Gemeente	434000	7.88	73.87	324002	
Publiek	2196000	8.66	0.08	20766	
Onderwijs	71719000	16.94	83.06	60781683	
Overig	3388000	32.27	50.50	1820155	
Kantoren	160577000	16.51	83.49	136721617	
Industriële gebouwen	48442000	13.33	86.67	42628884	
Overig	<u>119750000</u>	32.27	50.50	<u>64333986</u>	
	476523000			354748470	74.45 %

Schade woningen			
Werk:	QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen	Proj.nr.:	BD1037
Onderdeel:	Wijk 02 Oranjewijk	Blad:	

C4 Wijk 02 Oranjewijk

§C4.1 - Aardbeving 0.06g

Woningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezwiken} [%]	Schatting schade [euro]	
2 onder een kap	64142000	0.03	0.00	2150	
Portiekwoningen	376374000	24.63	0.00	9269924	
Appartementen	3390000	0.24	0.00	810	
Flat	229622000	9.89	0.00	2271189	
Gestapelde bouw	302898000	24.63	0.00	7460242	
Rijtjes woningen	630257000	2.67	0.00	1681459	
Vrijstaand	21074000	0.00	0.00	98	
Overig	12884000	0.00	0.00	27	
	1640641000			20685899	1.26 %

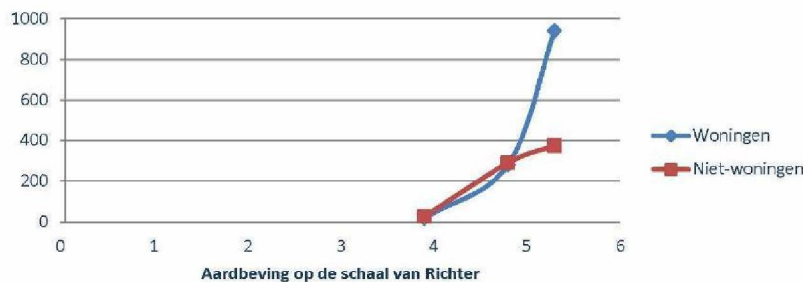
§C4.2 - Aardbeving 0.33g

Woningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezwiken} [%]	Schatting schade [euro]	
2 onder een kap	64142000	34.98	0.17	2350418	
Portiekwoningen	376374000	56.91	15.33	79118537	
Appartementen	3390000	66.53	0.08	228218	
Flat	229622000	63.26	4.61	25117540	
Gestapelde bouw	302898000	56.91	15.33	63672960	
Rijtjes woningen	630257000	55.27	11.85	109542581	
Vrijstaand	21074000	7.67	0.02	165360	
Overig	12884000	45.95	0.00	592154	
	1640641000			280787769	17.11 %

§C4.3 - Aardbeving 0.67g

Woningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezwiken} [%]	Schatting schade [euro]	
2 onder een kap	64142000	60.35	5.93	7672984	
Portiekwoningen	376374000	37.98	61.96	247506987	
Appartementen	3390000	57.37	14.40	682786	
Flat	229622000	48.69	49.15	124029434	
Gestapelde bouw	302898000	37.98	61.96	199188497	
Rijtjes woningen	630257000	25.29	54.85	361639179	
Vrijstaand	21074000	48.57	0.53	1135039	
Overig	12884000	66.40	0.33	898261	
	1640641000			942753165	57.46 %

Kans op schade (in miljoen euro)



Schade niet-woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen
 Onderdeel: Wijk 02 Oranjewijk

Proj.nr.: BC1013
 Blad:

§C4.4 - Aardbeving 0.06g

Voorzieningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezuigen} [%]	Schatting schade [euro]	
Eetgelegenheden	4998000	24.63	0.00	123099	
Hotels	0	66.70	0.01	0	
Winkels	64017000	24.63	0.00	1576710	
Gemeente	797000	53.22	0.02	42541	
Publiek	0	0.00	0.00	0	
Onderwijs	284980000	66.70	0.01	19036553	
Overig	3434000	32.18	0.03	111570	
Kantoren	37617000	66.58	0.01	2509043	
Industriële gebouwen	14857000	78.57	0.24	1202547	
Overig	<u>114041000</u>	32.18	0.03	<u>3705167</u>	
	524741000			28307230	5.39 %

§C4.5 - Aardbeving 0.33g

Voorzieningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezuigen} [%]	Schatting schade [euro]	
Eetgelegenheden	4998000	56.91	15.33	1050642	
Hotels	0	33.25	66.75	0	
Winkels	64017000	56.91	15.33	13457177	
Gemeente	797000	26.57	53.46	447239	
Publiek	0	0.15	0.00	0	
Onderwijs	284980000	33.25	66.75	199692220	
Overig	3434000	38.87	29.54	1147931	
Kantoren	37617000	33.46	66.53	26286468	
Industriële gebouwen	14857000	34.34	63.65	9966901	
Overig	<u>114041000</u>	38.87	29.54	<u>38122066</u>	
	524741000			290170645	55.30 %

§C4.6 - Aardbeving 0.67g

Voorzieningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezuigen} [%]	Schatting schade [euro]	
Eetgelegenheden	4998000	37.98	61.96	3286731	
Hotels	0	22.69	77.31	0	
Winkels	64017000	37.98	61.96	42098165	
Gemeente	797000	12.63	68.45	555612	
Publiek	0	5.36	0.05	0	
Onderwijs	284980000	22.69	77.31	226772358	
Overig	3434000	34.05	47.18	1736932	
Kantoren	37617000	21.57	78.43	30315537	
Industriële gebouwen	14857000	13.35	86.65	13072482	
Overig	<u>114041000</u>	34.05	47.18	<u>57682446</u>	
	524741000			375520263	71.56 %

Schade woningen			
Werk:	QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen	Proj.nr.:	BD1037
Onderdeel:	Wijk 03 Korrewegwijk	Blad:	

C5 Wijk 03 Korrewegwijk

§C5.1 - Aardbeving 0.06g

Woningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezwiken} [%]	Schatting schade [euro]	
2 onder een kap	4987000	0.03	0.00	167	
Portiekwoningen	216380000	24.63	0.00	5329343	
Appartementen	2634000	0.24	0.00	629	
Flat	116930000	9.89	0.00	1156553	
Gestapelde bouw	581030000	24.63	0.00	14310509	
Rijtjes woningen	237919000	2.67	0.00	634743	
Vrijstaand	4469000	0.00	0.00	21	
Overig	10540000	0.00	0.00	22	
	1174889000			21431988	1.82 %

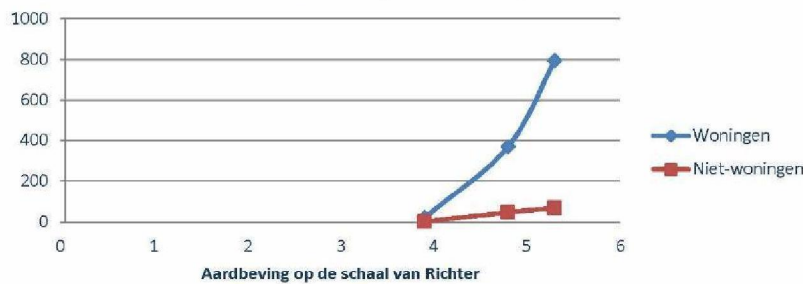
§C5.2 - Aardbeving 0.33g

Woningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezwiken} [%]	Schatting schade [euro]	
2 onder een kap	4987000	47.02	0.46	257284	
Portiekwoningen	216380000	52.44	29.82	75880195	
Appartementen	2634000	66.32	0.43	186122	
Flat	116930000	57.53	14.09	23202886	
Gestapelde bouw	581030000	52.44	29.82	203755752	
Rijtjes woningen	237919000	45.09	22.98	65393704	
Vrijstaand	4469000	16.48	0.04	75479	
Overig	10540000	58.65	0.00	618565	
	1174889000			369369987	31.44 %

§C5.3 - Aardbeving 0.67g

Woningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezwiken} [%]	Schatting schade [euro]	
2 onder een kap	4987000	52.04	15.34	1024528	
Portiekwoningen	216380000	33.51	66.49	151113022	
Appartementen	2634000	52.30	31.51	967805	
Flat	116930000	37.23	62.73	77704977	
Gestapelde bouw	581030000	33.51	66.49	405773172	
Rijtjes woningen	237919000	27.37	64.04	158864693	
Vrijstaand	4469000	58.94	1.78	342864	
Overig	10540000	65.00	2.18	914393	
	1174889000			796705455	67.81 %

Kans op schade (in miljoen euro)



Schade niet-woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen
 Onderdeel: Wijk 03 Korrewegwijk

Proj.nr.: BC1013
 Blad:

§C5.4 - Aardbeving 0.06g

Voorzieningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezuigen} [%]	Schatting schade [euro]	
Eetgelegenheden	4447000	24.63	0.00	109528	
Hotels	495000	66.70	0.01	33066	
Winkels	22115000	24.63	0.00	544683	
Gemeente	1358000	53.22	0.02	72485	
Publiek	0	0.00	0.00	0	
Onderwijs	27747000	66.70	0.01	1853489	
Overig	776000	32.18	0.03	25212	
Kantoren	9901000	66.58	0.01	660394	
Industriële gebouwen	4374000	78.57	0.24	354038	
Overig	<u>19705000</u>	32.18	0.03	<u>640211</u>	
	90918000			4293105	4.72 %

§C5.5 - Aardbeving 0.33g

Voorzieningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezuigen} [%]	Schatting schade [euro]	
Eetgelegenheden	4447000	52.44	29.82	1559475	
Hotels	495000	32.91	67.09	348381	
Winkels	22115000	52.44	29.82	7755294	
Gemeente	1358000	26.09	53.99	768602	
Publiek	0	0.41	0.01	0	
Onderwijs	27747000	32.91	67.09	19528351	
Overig	776000	38.42	33.84	292391	
Kantoren	9901000	32.84	67.16	6974361	
Industriële gebouwen	4374000	25.13	74.83	3382839	
Overig	<u>19705000</u>	38.42	33.84	<u>7424698</u>	
	90918000			48034393	52.83 %

§C5.6 - Aardbeving 0.67g

Voorzieningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezuigen} [%]	Schatting schade [euro]	
Eetgelegenheden	4447000	33.51	66.49	3105646	
Hotels	495000	9.06	90.94	454644	
Winkels	22115000	33.51	66.49	15444424	
Gemeente	1358000	4.79	78.06	1066608	
Publiek	0	14.13	0.15	0	
Onderwijs	27747000	9.06	90.94	25484876	
Overig	776000	30.45	54.18	444038	
Kantoren	9901000	10.97	89.03	8923349	
Industriële gebouwen	4374000	13.33	86.67	3849122	
Overig	<u>19705000</u>	30.45	54.18	<u>11275473</u>	
	90918000			70048180	77.05 %

<h1>Schade woningen</h1>			
Werk:	QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen	Proj.nr.:	BD1037
Onderdeel:	Wijk 04 Oosterparkwijk	Blad:	

C6 Wijk 04 Oosterparkwijk

§C6.1 - Aardbeving 0.06g

Woningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezwiken} [%]	Schatting schade [euro]	
2 onder een kap	9922000	0.03	0.00	333	
Portiekwoningen	200564000	24.63	0.00	4939802	
Appartementen	2017000	0.24	0.00	482	
Flat	93043000	9.89	0.00	920287	
Gestapelde bouw	290451000	24.63	0.00	7153678	
Rijtjes woningen	234870000	2.67	0.00	626608	
Vrijstaand	1897000	0.00	0.00	9	
Overig	211.84000	0.00	0.00	45	
	853948000			13641244	1.60 %

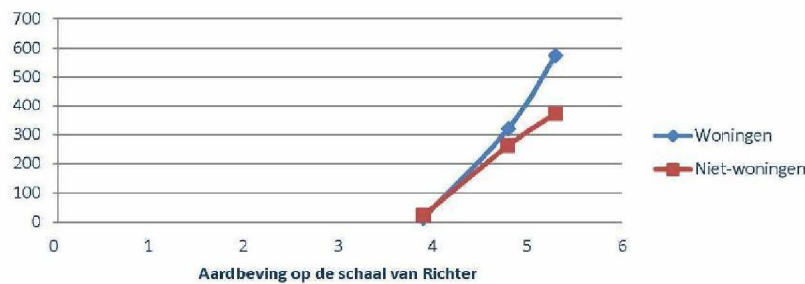
§C6.2 - Aardbeving 0.33g

Woningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezwiken} [%]	Schatting schade [euro]	
2 onder een kap	9922000	53.14	0.84	610677	
Portiekwoningen	200564000	52.15	37.68	86031599	
Appartementen	2017000	65.78	1.13	155446	
Flat	93043000	54.00	22.51	25966585	
Gestapelde bouw	290451000	52.15	37.68	124588480	
Rijtjes woningen	234870000	38.34	30.85	81453506	
Vrijstaand	1897000	23.65	0.07	46230	
Overig	211.84000	63.79	0.01	1353550	
	853948000			320206072	37.50 %

§C6.3 - Aardbeving 0.67g

Woningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezwiken} [%]	Schatting schade [euro]	
2 onder een kap	9922000	47.07	20.77	2527804	
Portiekwoningen	200564000	33.33	66.67	140392324	
Appartementen	2017000	52.15	37.64	864424	
Flat	93043000	34.70	65.29	63979209	
Gestapelde bouw	290451000	33.33	66.67	203312115	
Rijtjes woningen	234870000	29.34	65.74	161284575	
Vrijstaand	1897000	60.88	2.83	169116	
Overig	211.84000	63.55	4.19	2233668	
	853948000			574763234	67.31 %

Kans op schade (in miljoen euro)



Schade niet-woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen
 Onderdeel: Wijk 04 Oosterparkwijk

Proj.nr.: BC1013
 Blad:

§C6.4 - Aardbeving 0.06g

Voorzieningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezuigen} [%]	Schatting schade [euro]	
Eetgelegenheden	2190000	24.63	0.00	53939	
Hotels	9705000	66.70	0.01	648290	
Winkels	10331000	24.63	0.00	254448	
Gemeente	0	53.22	0.02	0	
Publiek	0	0.00	0.00	0	
Onderwijs	85005000	66.70	0.01	5678301	
Overig	310438000	32.18	0.03	10086063	
Kantoren	45463000	66.58	0.01	3032369	
Industriële gebouwen	8928000	78.57	0.24	722645	
Overig	<u>61661000</u>	32.18	0.03	<u>2003353</u>	
	533721000			22479408	4.21 %

§C6.5 - Aardbeving 0.33g

Voorzieningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezuigen} [%]	Schatting schade [euro]	
Eetgelegenheden	2190000	52.15	37.68	939397	
Hotels	9705000	32.29	67.71	6884964	
Winkels	10331000	52.15	37.68	4431466	
Gemeente	0	25.19	54.96	0	
Publiek	0	0.75	0.01	0	
Onderwijs	85005000	32.29	67.71	60304624	
Overig	310438000	38.09	36.53	125218366	
Kantoren	45463000	32.11	67.89	32322871	
Industriële gebouwen	8928000	20.99	79.01	7241174	
Overig	<u>61661000</u>	38.09	36.53	<u>24871600</u>	
	533721000			262214461	49.13 %

§C6.6 - Aardbeving 0.67g

Voorzieningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezuigen} [%]	Schatting schade [euro]	
Eetgelegenheden	2190000	33.33	66.67	1532973	
Hotels	9705000	4.00	96.00	9355700	
Winkels	10331000	33.33	66.67	7231572	
Gemeente	0	4.44	79.47	0	
Publiek	0	19.28	0.24	0	
Onderwijs	85005000	4.00	96.00	81945522	
Overig	310438000	29.36	56.62	184875240	
Kantoren	45463000	7.62	92.38	42344108	
Industriële gebouwen	8928000	13.33	86.67	7856661	
Overig	<u>61661000</u>	29.36	56.62	<u>36720995</u>	
	533721000			371862772	69.67 %

Schade woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen
 Onderdeel: Wijk 05 Oosterpoortwijk

Proj.nr.: BD1037
 Blad:

C7 Wijk 05 Oosterpoortwijk

§C7.1 - Aardbeving 0.06g

Woningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezwiken} [%]	Schatting schade [euro]	
2 onder een kap	48273000	0.03	0.00	1618	
Portiekwoningen	94675000	24.63	0.00	2331803	
Appartementen	10038000	0.24	0.00	2398	
Flat	137061000	9.89	0.00	1355669	
Gestapelde bouw	154707000	24.63	0.00	3810364	
Rijtjes woningen	260123000	2.67	0.00	693981	
Vrijstaand	86599000	0.00	0.00	403	
Overig	11272000	0.00	0.00	24	
	802748000			8196260	1.02 %

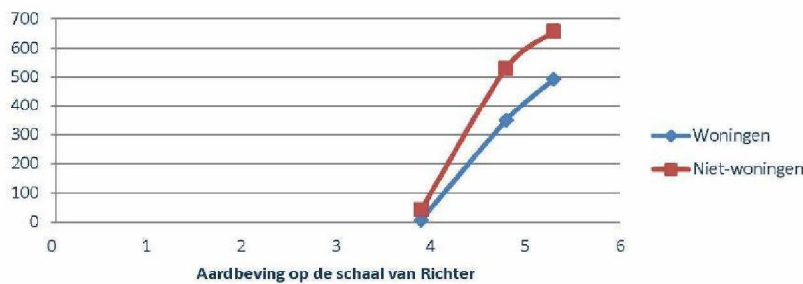
§C7.2 - Aardbeving 0.33g

Woningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezwiken} [%]	Schatting schade [euro]	
2 onder een kap	48273000	61.05	3.07	4430023	
Portiekwoningen	94675000	45.00	54.22	55588404	
Appartementen	10038000	61.76	6.85	1307103	
Flat	137061000	51.98	40.17	62185901	
Gestapelde bouw	154707000	45.00	54.22	90836178	
Rijtjes woningen	260123000	27.54	47.15	129817481	
Vrijstaand	86599000	40.46	0.26	3727162	
Overig	11272000	66.54	0.10	761312	
	802748000			348653563	43.43 %

§C7.3 - Aardbeving 0.67g

Woningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezwiken} [%]	Schatting schade [euro]	
2 onder een kap	48273000	34.39	35.88	18981816	
Portiekwoningen	94675000	33.16	66.84	66420748	
Appartementen	10038000	46.53	52.28	5714463	
Flat	137061000	33.33	66.67	95951416	
Gestapelde bouw	154707000	33.16	66.84	108537150	
Rijtjes woningen	260123000	32.29	67.16	183107761	
Vrijstaand	86599000	58.68	8.07	12066939	
Overig	11272000	57.03	15.09	2343262	
	802748000			493123555	61.43 %

Kans op schade (in miljoen euro)



Schade niet-woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BC1013

Onderdeel: Wijk 05 Oosterpoortwijk

Blad:

§C7.4 - Aardbeving 0.06g

Voorzieningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezuigen} [%]	Schatting schade [euro]	
Eetgelegenheden	14334000	24.63	0.00	353040	
Hotels	2873000	66.70	0.01	191915	
Winkels	16391000	24.63	0.00	403703	
Gemeente	0	53.22	0.02	0	
Publiek	10952000	0.00	0.00	5	
Onderwijs	37372000	66.70	0.01	2496435	
Overig	4622000	32.18	0.03	150168	
Kantoren	192860000	66.58	0.01	12863706	
Industriële gebouwen	180652000	78.57	0.24	14622238	
Overig	<u>376005000</u>	32.18	0.03	<u>12216321</u>	
	836061000			43297532	5.18 %

§C7.5 - Aardbeving 0.33g

Voorzieningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezuigen} [%]	Schatting schade [euro]	
Eetgelegenheden	14334000	45.00	54.22	8416205	
Hotels	2873000	27.90	72.10	2151594	
Winkels	16391000	45.00	54.22	9623972	
Gemeente	0	18.95	61.61	0	
Publiek	10952000	2.76	0.03	32930	
Onderwijs	37372000	27.90	72.10	27987953	
Overig	4622000	35.99	43.22	2163935	
Kantoren	192860000	27.07	72.93	145880782	
Industriële gebouwen	180652000	13.78	86.22	158255245	
Overig	<u>376005000</u>	35.99	43.22	<u>176038574</u>	
	836061000			530551190	63.46 %

§C7.6 - Aardbeving 0.67g

Voorzieningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezuigen} [%]	Schatting schade [euro]	
Eetgelegenheden	14334000	33.16	66.84	10056245	
Hotels	2873000	0.06	99.94	2871515	
Winkels	16391000	33.16	66.84	11499366	
Gemeente	0	6.76	80.15	0	
Publiek	10952000	33.77	0.76	453518	
Onderwijs	37372000	0.06	99.94	37352686	
Overig	4622000	26.60	62.10	2993457	
Kantoren	192860000	2.00	98.00	189391037	
Industriële gebouwen	180652000	13.32	86.68	158998701	
Overig	<u>376005000</u>	26.60	62.10	<u>243521123</u>	
	836061000			657137648	78.60 %

<h1>Schade woningen</h1>			
Werk:	QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen	Proj.nr.:	BD1037
Onderdeel:	Wijk 06 Herewegwijk en Helpman	Blad:	

C8 Wijk 06 Herewegwijk en Helpman

§C8.1 - Aardbeving 0.06g

Woningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezuiken} [%]	Schatting schade [euro]	
2 onder een kap	141643000	0.03	0.00	4747	
Portiekwoningen	556105000	24.63	0.00	13696618	
Appartementen	0	0.24	0.00	0	
Flat	220747000	9.89	0.00	2183406	
Gestapelde bouw	396422000	24.63	0.00	9763697	
Rijtjes woningen	593583000	2.67	0.00	1583617	
Vrijstaand	272531000	0.00	0.00	1268	
Overig	26968000	0.00	0.00	57	
	<u>2207999000</u>			<u>27233410</u>	1.23 %

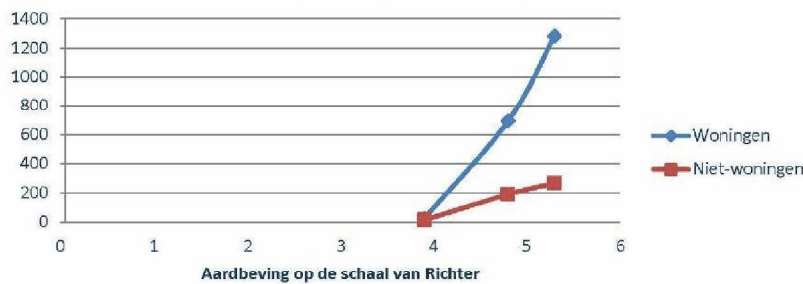
§C8.2 - Aardbeving 0.33g

Woningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezuiken} [%]	Schatting schade [euro]	
2 onder een kap	141643000	53.14	0.84	8717807	
Portiekwoningen	556105000	52.15	37.68	238540328	
Appartementen	0	65.78	1.13	0	
Flat	220747000	54.00	22.51	61606416	
Gestapelde bouw	396422000	52.15	37.68	170044567	
Rijtjes woningen	593583000	38.34	30.85	205856075	
Vrijstaand	272531000	23.65	0.07	6641578	
Overig	26968000	63.79	0.01	1723118	
	<u>2207999000</u>			<u>693129889</u>	31.39 %

§C8.3 - Aardbeving 0.67g

Woningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezuiken} [%]	Schatting schade [euro]	
2 onder een kap	141643000	48.33	19.37	34286988	
Portiekwoningen	556105000	33.36	66.64	389153978	
Appartementen	0	52.18	36.20	0	
Flat	220747000	35.16	64.83	150881637	
Gestapelde bouw	396422000	33.36	66.64	277410198	
Rijtjes woningen	593583000	28.86	65.41	405416798	
Vrijstaand	272531000	60.56	2.53	23394139	
Overig	26968000	63.97	3.59	2693897	
	<u>2207999000</u>			<u>1283237635</u>	58.12 %

Kans op schade (in miljoen euro)



Schade niet-woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BC1013

Onderdeel: Wijk 06 Herewegwijk en Helpman

Blad:

§C8.4 - Aardbeving 0.06g

Voorzieningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezuigen} [%]	Schatting schade [euro]	
Eetgelegenheden	4468000	24.63	0.00	110045	
Hotels	0	66.70	0.01	0	
Winkels	34174000	24.63	0.00	841690	
Gemeente	0	53.22	0.02	0	
Publiek	280000	0.00	0.00	0	
Onderwijs	76379000	66.70	0.01	5102087	
Overig	2328000	32.18	0.03	75636	
<u>Kantoren</u>	69676000	66.58	0.01	4647369	
<u>Industriële gebouwen</u>	2983000	78.57	0.24	241448	
<u>Overig</u>	<u>166856000</u>	32.18	0.03	<u>5421115</u>	
	357144000			16439392	4.60 %

§C8.5 - Aardbeving 0.33g

Voorzieningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezuigen} [%]	Schatting schade [euro]	
Eetgelegenheden	4468000	52.15	37.68	1916541	
Hotels	0	32.29	67.71	0	
Winkels	34174000	52.15	37.68	14658881	
Gemeente	0	25.19	54.96	0	
Publiek	280000	0.75	0.01	234	
Onderwijs	76379000	32.29	67.71	54185129	
Overig	2328000	38.09	36.53	939023	
<u>Kantoren</u>	69676000	32.11	67.89	49537609	
<u>Industriële gebouwen</u>	2983000	20.99	79.01	2419402	
<u>Overig</u>	<u>166856000</u>	38.09	36.53	<u>67303087</u>	
	357144000			190959906	53.47 %

§C8.6 - Aardbeving 0.67g

Voorzieningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezuigen} [%]	Schatting schade [euro]	
Eetgelegenheden	4468000	33.36	66.64	3126640	
Hotels	0	5.06	94.94	0	
Winkels	34174000	33.36	66.64	23914455	
Gemeente	0	4.40	79.23	0	
Publiek	280000	17.95	0.21	5617	
Onderwijs	76379000	5.06	94.94	72898736	
Overig	2328000	29.61	56.05	1373677	
<u>Kantoren</u>	69676000	8.37	91.63	64429542	
<u>Industriële gebouwen</u>	2983000	13.33	86.67	2625045	
<u>Overig</u>	<u>166856000</u>	29.61	56.05	<u>98456316</u>	
	357144000			266830027	74.71 %

<h1>Schade woningen</h1>			
Werk:	QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen	Proj.nr.:	BD1037
Onderdeel:	Wijk 07 Stadsparkwijk	Blad:	

C9 Wijk 07 Stadsparkwijk

§C9.1 - Aardbeving 0.06g

Woningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezwiken} [%]	Schatting schade [euro]	
2 onder een kap	187156000	0.03	0.00	6273	
Portiekwoningen	339562000	24.63	0.00	8363260	
Appartementen	159000	0.24	0.00	38	
Flat	219756000	9.89	0.00	2173604	
Gestapelde bouw	104640000	24.63	0.00	2577236	
Rijtjes woningen	308943000	2.67	0.00	824227	
Vrijstaand	221182000	0.00	0.00	1029	
Overig	28052000	0.00	0.00	60	
	1409450000			13945728	0.99 %

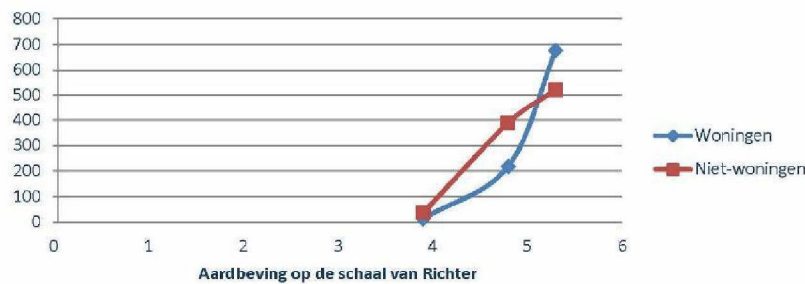
§C9.2 - Aardbeving 0.33g

Woningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezwiken} [%]	Schatting schade [euro]	
2 onder een kap	187156000	39.41	0.24	7818378	
Portiekwoningen	339562000	54.77	20.28	87447908	
Appartementen	159000	66.54	0.15	10810	
Flat	219756000	61.59	7.12	29174014	
Gestapelde bouw	104640000	54.77	20.28	26948095	
Rijtjes woningen	308943000	52.09	15.29	63316023	
Vrijstaand	221182000	10.23	0.02	2313218	
Overig	28052000	50.52	0.00	1417507	
	1409450000			218445952	15.50 %

§C9.3 - Aardbeving 0.67g

Woningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezwiken} [%]	Schatting schade [euro]	
2 onder een kap	187156000	57.42	9.50	28531584	
Portiekwoningen	339562000	34.75	65.25	233355222	
Appartementen	159000	54.07	22.28	44019	
Flat	219756000	43.21	56.32	133271392	
Gestapelde bouw	104640000	34.75	65.25	71911140	
Rijtjes woningen	308943000	25.44	59.94	193034346	
Vrijstaand	221182000	54.10	0.93	14031341	
Overig	28052000	66.02	0.82	2082513	
	1409450000			676261557	47.98 %

Kans op schade (in miljoen euro)



Schade niet-woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen

Proj.nr.: BC1013

Onderdeel: Wijk 07 Stadsparkwijk

Blad:

§C9.4 - Aardbeving 0.06g

Voorzieningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezuïken} [%]	Schatting schade [euro]	
Eetgelegenheden	4154000	24.63	0.00	102311	
Hotels	9514000	66.70	0.01	635531	
Winkels	12845000	24.63	0.00	316367	
Gemeente	0	53.22	0.02	0	
Publiek	0	0.00	0.00	0	
Onderwijs	43363000	66.70	0.01	2896631	
Overig	205850000	32.18	0.03	6688022	
Kantoren	255797000	66.58	0.01	17061586	
Industriële gebouwen	45194000	78.57	0.24	3658069	
Overig	<u>180916000</u>	32.18	0.03	<u>5877922</u>	
	757633000			37236439	4.91 %

§C9.5 - Aardbeving 0.33g

Voorzieningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezuïken} [%]	Schatting schade [euro]	
Eetgelegenheden	4154000	54.77	20.28	1069786	
Hotels	9514000	33.19	66.81	6672273	
Winkels	12845000	54.77	20.28	3307992	
Gemeente	0	26.48	53.56	0	
Publiek	0	0.21	0.00	0	
Onderwijs	43363000	33.19	66.81	30410951	
Overig	205850000	38.63	31.13	72026229	
Kantoren	255797000	33.21	66.79	179332883	
Industriële gebouwen	45194000	30.40	68.87	32500895	
Overig	<u>180916000</u>	38.63	31.13	<u>63301906</u>	
	757633000			388622915	51.29 %

§C9.6 - Aardbeving 0.67g

Voorzieningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezuïken} [%]	Schatting schade [euro]	
Eetgelegenheden	4154000	34.75	65.25	2854729	
Hotels	9514000	16.94	83.06	8063093	
Winkels	12845000	34.75	65.25	8827395	
Gemeente	0	7.88	73.87	0	
Publiek	0	8.66	0.08	0	
Onderwijs	43363000	16.94	83.06	36750040	
Overig	205850000	32.27	50.50	110589988	
Kantoren	255797000	16.51	83.49	217795695	
Industriële gebouwen	45194000	13.33	86.67	39770650	
Overig	<u>180916000</u>	32.27	50.50	<u>97194551</u>	
	757633000			521846141	68.88 %

<h1>Schade woningen</h1>			
Werk:	QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen	Proj.nr.:	BD1037
Onderdeel:	Wijk 08 Hoogkerk	Blad:	

C1(Wijk 08 Hoogkerk

§C10.1 - Aardbeving 0.06g

Woningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezuiken} [%]	Schatting schade [euro]	
2 onder een kap	298373000	0.03	0.00	10001	
Portiekwoningen	30370000	24.63	0.00	748000	
Appartementen	1031000	0.24	0.00	246	
Flat	80832000	9.89	0.00	799508	
Gestapelde bouw	5607000	24.63	0.00	138098	
Rijtjes woningen	477731000	2.67	0.00	1274536	
Vrijstaand	185978000	0.00	0.00	865	
Overig	7966000	0.00	0.00	17	
	1087888000			2971271	0.27 %

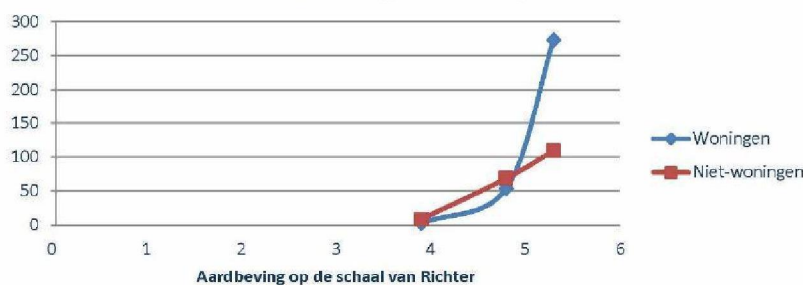
§C10.2 - Aardbeving 0.33g

Woningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezuiken} [%]	Schatting schade [euro]	
2 onder een kap	298373000	13.31	0.03	4065302	
Portiekwoningen	30370000	65.26	1.82	2534518	
Appartementen	1031000	58.65	0.00	60505	
Flat	80832000	66.41	0.32	5625682	
Gestapelde bouw	5607000	65.26	1.82	467930	
Rijtjes woningen	477731000	60.51	2.49	40810838	
Vrijstaand	185978000	1.46	0.00	278979	
Overig	7966000	22.48	0.00	179100	
	1087888000			54022854	4.97 %

§C10.3 - Aardbeving 0.67g

Woningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezuiken} [%]	Schatting schade [euro]	
2 onder een kap	298373000	57.82	1.49	21698520	
Portiekwoningen	30370000	50.92	44.68	15115966	
Appartementen	1031000	64.67	2.62	93669	
Flat	80832000	52.36	30.72	29063084	
Gestapelde bouw	5607000	50.92	44.68	2790755	
Rijtjes woningen	477731000	32.69	38.26	198386041	
Vrijstaand	185978000	31.08	0.12	6011224	
Overig	7966000	65.96	0.03	527704	
	1087888000			273686962	25.16 %

Kans op schade (in miljoen euro)



Schade niet-woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen
 Onderdeel: Wijk 08 Hoogkerk

Proj.nr.: BC1013
 Blad:

§C10.4 - Aardbeving 0.06g

Voorzieningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezuïgen} [%]	Schatting schade [euro]	
Eetgelegenheden	3329000	24.63	0.00	81992	
Hotels	0	66.70	0.01	0	
Winkels	13197000	24.63	0.00	325036	
Gemeente	446000	53.22	0.02	23806	
Publiek	0	0.00	0.00	0	
Onderwijs	17994000	66.70	0.01	1201992	
Overig	1857000	32.18	0.03	60334	
<u>Kantoren</u>	12453000	66.58	0.01	830611	
<u>Industriële gebouwen</u>	10335000	78.57	0.24	836530	
<u>Overig</u>	<u>160543000</u>	32.18	0.03	<u>5216007</u>	
	220154000			8576308	3.90 %

§C10.5 - Aardbeving 0.33g

Voorzieningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezuïgen} [%]	Schatting schade [euro]	
Eetgelegenheden	3329000	65.26	1.82	277821	
Hotels	0	35.84	64.12	0	
Winkels	13197000	65.26	1.82	1101351	
Gemeente	446000	25.42	53.02	247808	
Publiek	0	0.03	0.00	0	
Onderwijs	17994000	35.84	64.12	12183012	
Overig	1857000	39.20	22.08	482836	
<u>Kantoren</u>	12453000	38.64	60.17	7974482	
<u>Industriële gebouwen</u>	10335000	46.24	41.42	4758950	
<u>Overig</u>	<u>160543000</u>	39.20	22.08	<u>41742559</u>	
	220154000			68768819	31.24 %

§C10.6 - Aardbeving 0.67g

Voorzieningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezuïgen} [%]	Schatting schade [euro]	
Eetgelegenheden	3329000	50.92	44.68	1656933	
Hotels	0	31.05	68.95	0	
Winkels	13197000	50.92	44.68	6568502	
Gemeente	446000	23.39	56.87	264095	
Publiek	0	1.33	0.01	0	
Onderwijs	17994000	31.05	68.95	12965818	
Overig	1857000	37.37	39.40	800994	
<u>Kantoren</u>	12453000	30.67	69.33	9015249	
<u>Industriële gebouwen</u>	10335000	16.77	83.23	8775115	
<u>Overig</u>	<u>160543000</u>	37.37	39.40	<u>69248211</u>	
	220154000			109294915	49.64 %

Schade woningen		 Royal HaskoningDHW <i>Enhancing Society Together</i>
Werk:	QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen	Proj.nr.: BD1037
Onderdeel:	Wijk 09 Noorddijk	Blad:

C1: Wijk 09 Noorddijk

§C11.1 - Aardbeving 0.06g

Woningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezwiken} [%]	Schatting schade [euro]	
2 onder een kap	209132000	0.03	0.00	7010	
Portiekwoningen	167721000	24.63	0.00	4130893	
Appartementen	0	0.24	0.00	0	
Flat	184103000	9.89	0.00	1820961	
Gestapelde bouw	100152000	24.63	0.00	2466699	
Rijtjes woningen	1226736000	2.67	0.00	3272802	
Vrijstaand	153057000	0.00	0.00	712	
Overig	235000	0.00	0.00	0	
	2041136000			11699077	0.57 %

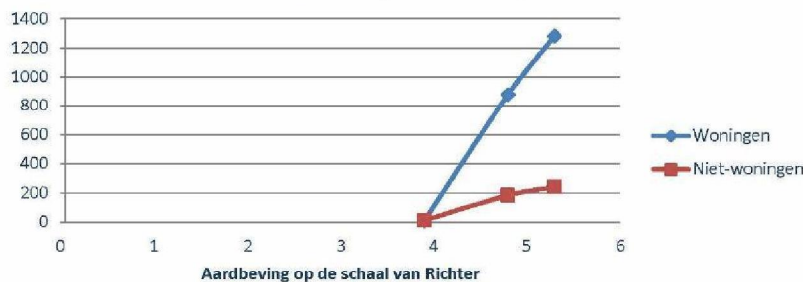
§C11.2 - Aardbeving 0.33g

Woningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezwiken} [%]	Schatting schade [euro]	
2 onder een kap	209132000	61.05	3.07	19192085	
Portiekwoningen	167721000	45.00	54.22	98477345	
Appartementen	0	61.76	6.85	0	
Flat	184103000	51.98	40.17	83529311	
Gestapelde bouw	100152000	45.00	54.22	58804223	
Rijtjes woningen	1226736000	27.54	47.15	612217210	
Vrijstaand	153057000	40.46	0.26	6587469	
Overig	235000	66.54	0.10	15872	
	2041136000			878823515	43.06 %

§C11.3 - Aardbeving 0.67g

Woningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezwiken} [%]	Schatting schade [euro]	
2 onder een kap	209132000	34.39	35.88	82234482	
Portiekwoningen	167721000	33.16	66.84	117667328	
Appartementen	0	46.53	52.28	0	
Flat	184103000	33.33	66.67	128883807	
Gestapelde bouw	100152000	33.16	66.84	70263224	
Rijtjes woningen	1226736000	32.29	67.16	863533339	
Vrijstaand	153057000	58.68	8.07	21327377	
Overig	235000	57.03	15.09	48853	
	2041136000			1283958410	62.90 %

Kans op schade (in miljoen euro)



Schade niet-woningen



Werk: QuickScan impact van aardbevingen op de gemeente Groningen
 Onderdeel: Wijk 09 Noorddijk

Proj.nr.: BC1013
 Blad:

§C11.4 - Aardbeving 0.06g

Voorzieningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezuigen} [%]	Schatting schade [euro]	
Eetgelegenheden	4025000	24.63	0.00	99134	
Hotels	0	66.70	0.01	0	
Winkels	27234000	24.63	0.00	670761	
Gemeente	671000	53.22	0.02	35816	
Publiek	0	0.00	0.00	0	
Onderwijs	75192000	66.70	0.01	5022796	
Overig	1477000	32.18	0.03	47987	
Kantoren	29556000	66.58	0.01	1971377	
Industriële gebouwen	14140000	78.57	0.24	1144512	
Overig	<u>157844000</u>	32.18	0.03	<u>5128317</u>	
	310139000			14120701	4.55 %

§C11.5 - Aardbeving 0.33g

Voorzieningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezuigen} [%]	Schatting schade [euro]	
Eetgelegenheden	4025000	45.00	54.22	2363278	
Hotels	0	27.90	72.10	0	
Winkels	27234000	45.00	54.22	15990437	
Gemeente	671000	18.95	61.61	426111	
Publiek	0	2.76	0.03	0	
Onderwijs	75192000	27.90	72.10	56311413	
Overig	1477000	35.99	43.22	691504	
Kantoren	29556000	27.07	72.93	22356385	
Industriële gebouwen	14140000	13.78	86.22	12386960	
Overig	<u>157844000</u>	35.99	43.22	<u>73899636</u>	
	310139000			184425724	59.47 %

§C11.6 - Aardbeving 0.67g

Voorzieningen	WOZ waarde [euro]	P _{lichte schade} [%]	P _{bezuigen} [%]	Schatting schade [euro]	
Eetgelegenheden	4025000	33.16	66.84	2823803	
Hotels	0	0.06	99.94	0	
Winkels	27234000	33.16	66.84	19106445	
Gemeente	671000	6.76	80.15	542330	
Publiek	0	33.77	0.76	0	
Onderwijs	75192000	0.06	99.94	75153141	
Overig	1477000	26.60	62.10	956585	
Kantoren	29556000	2.00	98.00	29024378	
Industriële gebouwen	14140000	13.32	86.68	12445152	
Overig	<u>157844000</u>	26.60	62.10	<u>102228290</u>	
	310139000			242280122	78.12 %