

Aardbevingsonderzoek sportzaal Gomarus College te Groningen

Plan van Aanpak ten behoeve van onderzoek en analyse van aard-
bevingsrisico's
Fase 1: Risicoanalyse
Fase 2: Onderzoeksfase

Definitief

Gereformeerde Scholengemeenschap
t.a.v. de heer **5.1.2e**
Postbus 935
9700 AX GRONINGEN

Grontmij Nederland B.V.
Groningen, 21 mei 2015

Verantwoording

Titel : Aardbevingsonderzoek sportzaal
Gomarus College te Groningen

Subtitel : Plan van Aanpak ten behoeve van onderzoek en analyse van
aardbevingsrisico's
Fase 1: Risicoanalyse
Fase 2: Onderzoeksfase

Projectnummer : 314978

Referentienummer : GM-0XXX

Revisie : C05

Datum : 21 mei 2015

Auteur(s) : ir. 5.1.2e ir. 5.1.2e

E-mail adres : 5.1.2e@grontmij.nl; 5.1.2e@grontmij.nl

Gecontroleerd door : ing. 5.1.2e

Paraaf gecontroleerd : 5.1.2e

Goedgekeurd door : ing. 5.1.2e

Paraaf goedgekeurd : 5.1.2e

Contact : Grontmij Nederland B.V.
Rozenburglaan 11
9727 DL Groningen
Postbus 7057
9701 JB Groningen
T +31 88 811 66 00
www.grontmij.nl

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
1.1	Achtergrond	4
1.2	Doel en resultaat	4
1.3	Afbakening	4
1.4	Leeswijzer	5
2	Globale beschrijving gebouw	6
2.1	Algemene beschrijving	6
3	Aanpak	8
3.1	Stappen onderzoek	8
4	Inventarisatie aardbevingsrisico's	10
4.1	Algemeen	10
4.2	Rapid Visual Screening (RSP)	10
4.3	Evaluatie checklist aardbevingsrisico's	11
4.4	Evaluatie risico's en prioritering	11
4.5	Risiconiveau en scenario's	11
5	Kwantitatieve beoordeling van de aardbevingsrisico's	12
5.1	Verzamelen en valideren relevante gegevens van de constructies	12
5.2	Vaststellen huidige staat	12
5.2.1	Vaststellen huidige staat constructies	12
5.2.2	Vaststellen uitgangspunten	12
5.3	Kwantitatieve beoordeling	12
5.3.1	Algemeen	12
5.3.2	Geotechnische beoordeling	13
5.3.3	Constructieve beoordeling	13
5.3.4	Bouwkundige beoordeling	14
5.4	Ontwerpen van maatregelen	14
5.5	Rapportage onderzoeksfase	15
6	Literatuur	16
6.1	Regelgeving en normen	16
6.2	Rijksonderzoeksresultaten inzake gaswinning Groningen	17
6.3	Andere publicaties en richtlijnen	18

Bijlage 1: Voorbeeld Rapid Visual Screening checklist (voorbeeld)

Bijlage 2: Evaluation check list for Schools (voorbeeld)

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In de provincie Groningen hebben zich in de afgelopen tien jaar 8 aardbevingen voorgedaan met een sterkte van 3 of hoger op de schaal van Richter. De verwachting is dat de komende jaren de intensiteit en de kracht van aardbevingen toeneemt. Deze aardbevingen worden veroorzaakt door de gaswinning uit het Groningse gasveld. Voor die tijd waren er in Groningen geen aardbevingen met dergelijke sterktes.

Op basis van het onderzoek dat door de Staatstoezicht op de Mijnen (SdoM) is uitgevoerd en beschikbaar is gesteld in januari 2014 [20] is gebleken dat het aantal en de sterkte van de aardbevingen is toegenomen in de afgelopen jaren.

In verband met het verhoogde risico voor de volksgezondheid als gevolg van schade aan chemische installaties en openbare gebouwen, wordt door het ministerie van EZ en de NAM prioriteit gegeven aan aardbevingsonderzoek. De mogelijke risico's (FEMA 154: Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards [13], FEMA P-424, Design Guide for improving School Safety in Earthquakes, Floods and High Winds [14]) voor schoolgebouwen kunnen zijn:

- Dode of gewonde personen.
- Schade aan, of het instorten van het gebouw.
- Schade of verlies van equipment.

Begin maart 2015 is de Basis for Design voor *Seismic Structural Upgrading of Existing Buildings in the Groningen Area* [15] van NAM uitgekomen. Op basis hiervan is dit Plan van Aanpak (PvA) opgesteld.

1.2 Doel en resultaat

Het doel van het in voorliggend PvA beschreven onderzoek is om inzicht te krijgen in de aardbevingsrisico's en kwantitatieve beoordeling van de gevolgen van een aardbeving op de nieuwe te realiseren sportaccommodatie voor het Gomarus College aan het Vondelpad te Groningen.

1.3 Afbakening

Het onderhavige PvA omvat de eerste twee van de drie fasen van de studie naar de effecten van een aardbeving op het gebouw voor de sportaccommodatie. Daarbij wordt aangesloten op het stappenplan conform de Basis for Design [15]. In hoofdstuk 3 zijn de fasen en stappen nader beschreven.

De opzet is om de aanpak van het onderzoek op een efficiënte wijze te laten plaats vinden. De fasen 1 en 2 worden eerst uitgevoerd om goed in de derde fase het onderzoek uit te voeren op een selectie van de meest belangrijke en kritische bouwdelen of constructies.

Uiteindelijk doel is om het gebouw op aardbevingsbestendigheid te toetsen. Om dit doel te bereiken worden zowel de ondergrond en de hoofdconstructie nader onderzocht. Het onderzoek zal zich met name richten op het aspect veiligheid. Dit betekent, dat toetsingen in de uiterste grenstoestand plaats vinden op basis van de ontwerpwaarde piekversnelling volgens de grenstoestand NC (Near Collapse). Niet onderzocht worden eventuele overige bijzondere situaties, zoals aanwezige trillingsgevoelige apparatuur en de eventuele secundaire constructies (trap, etc.).

Daarnaast zal gebruik worden gemaakt van aanvullend grondonderzoek dat in het kader van het VO/DO voor het ontwerp zal worden uitgevoerd conform het Plan van Aanpak d.d. 9 maart 2015 van Grontmij Nederland (doc.nr.: 711R001M, revisie 2) [53].

Nog aan te leveren informatie (berekeningen, tekeningen en grondmechanische rapporten) van het bestaande gebouw, zal door Grontmij worden gecheckt op volledigheid en bruikbaarheid. Mocht blijken dat de gegevens onvolledig/onbruikbaar zijn, dan zal in het algemeen aanvullend onderzoek noodzakelijk zijn. Op dit moment wordt hier niet in voorzien in het PVA.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt een beeld geschetst van het gebouw. In hoofdstuk 3 staat een globale beschrijving van de fasering van de werkzaamheden beschreven en daarbij specifiek de uit te voeren stappen voor de uit te voeren fasen waarvoor dit Plan van Aanpak is opgesteld. In hoofdstuk 4 en 5 zijn de stappen nader beschreven. In hoofdstuk 6 is een overzicht opgenomen van de in dit Plan van Aanpak gehanteerde normen en richtlijnen.

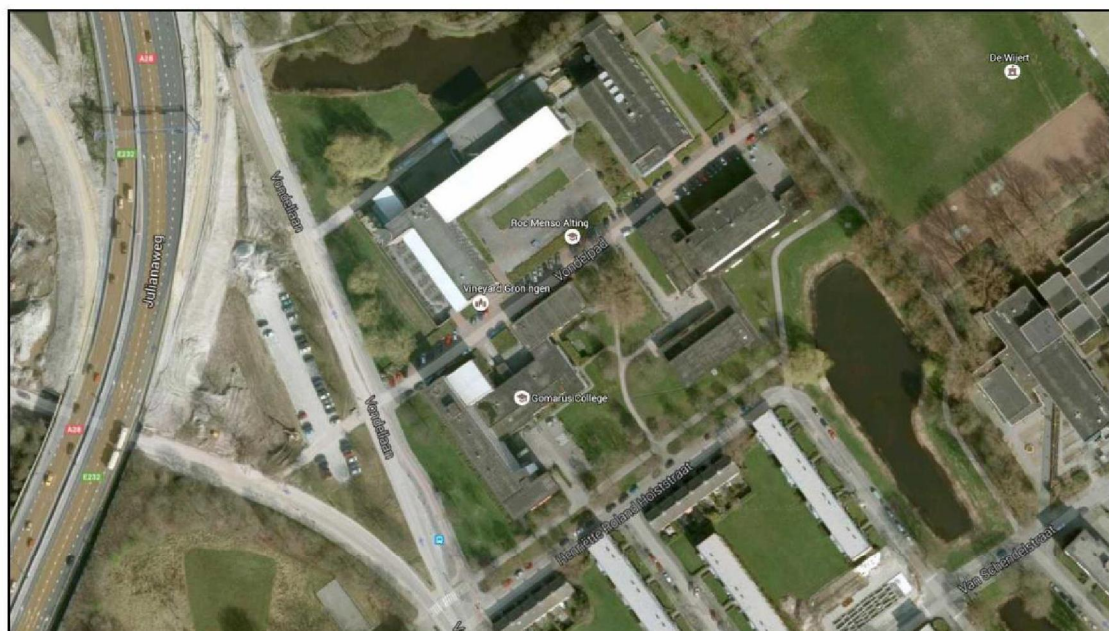
2 Globale beschrijving gebouw

2.1 Algemene beschrijving

Ter plaatse van het huidige schoolgebouw van het Gomarus College aan het Vondelpad te Groningen zal een nieuwe sportaccommodatie worden gerealiseerd. Hiervoor zal een deel van het bestaande schoolgebouw worden gesloopt. De sportaccommodatie zal grotendeels worden aangelegd op de bestaande kelderfundering van het te slopen gebouwdeel.

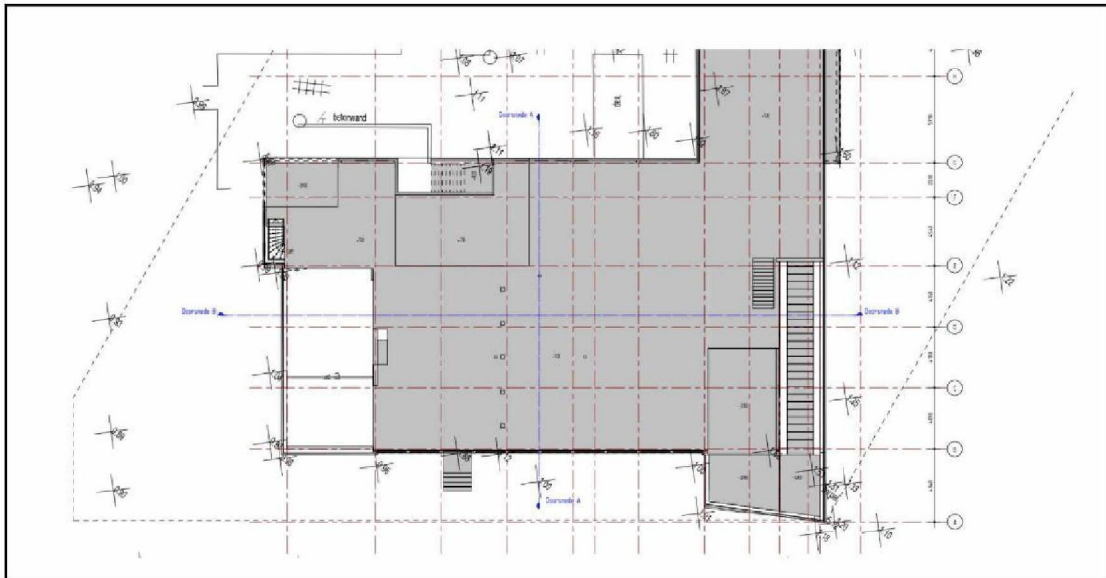
Voor een nadere omschrijving van het project wordt verwezen naar de kadernotitie voor project Bouw gymvoorziening Vondellaan d.d. 10 februari 2015 zoals gerefereerd in het PvA d.d. 9 maart 2015 [53]. Als aanvulling hierop is in het onderhavige PvA het onderzoek opgenomen naar de aardbevingsbestendigheid van de te realiseren constructie op de bestaande kelderfundering.

In figuur 2.1 is een bovenaanzicht weergegeven van het huidige gebouw.

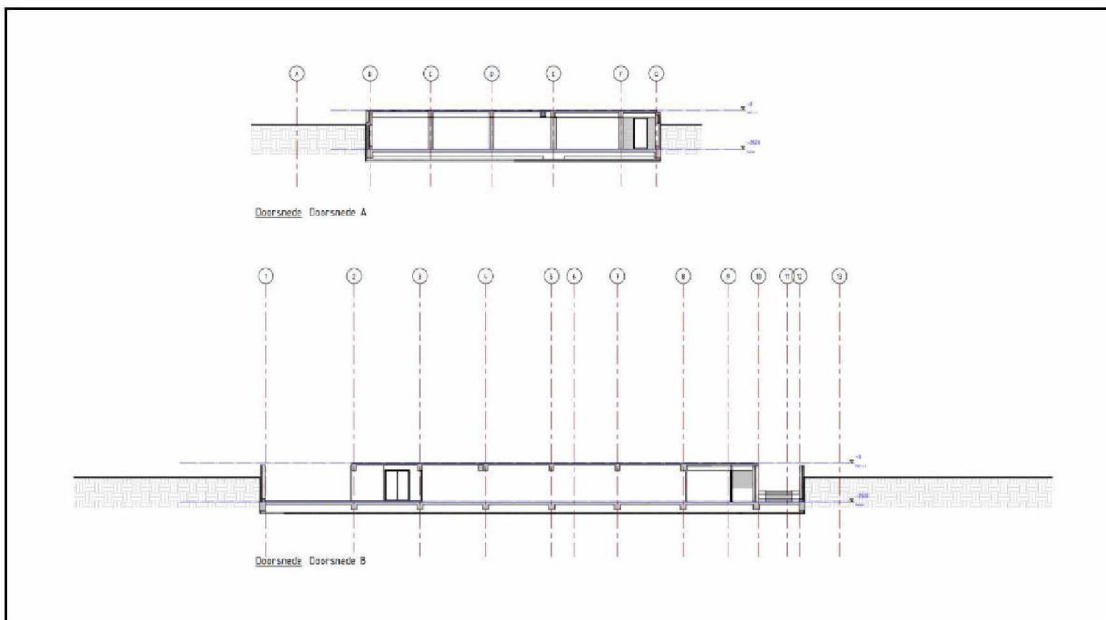


Figuur 2.1 Bovenaanzicht Gereformeerde Scholengemeenschap Gomarus College aan het Vondelpad te Groningen (bron: Google Earth)

In figuur 2.2 en 2.3 is de huidige 1-laagse kelderfundering weergegeven waar overheen de nieuwe sportaccommodatie zal worden gerealiseerd.



Figuur 2.2 Situatie huidige kelderfundering onder de nieuwbouw sportaccommodatie met ligging dwarsprofielen



Figuur 2.3 Dwarsprofielen 1-laagse kelderfundering

3 Aanpak

3.1 Stappen onderzoek

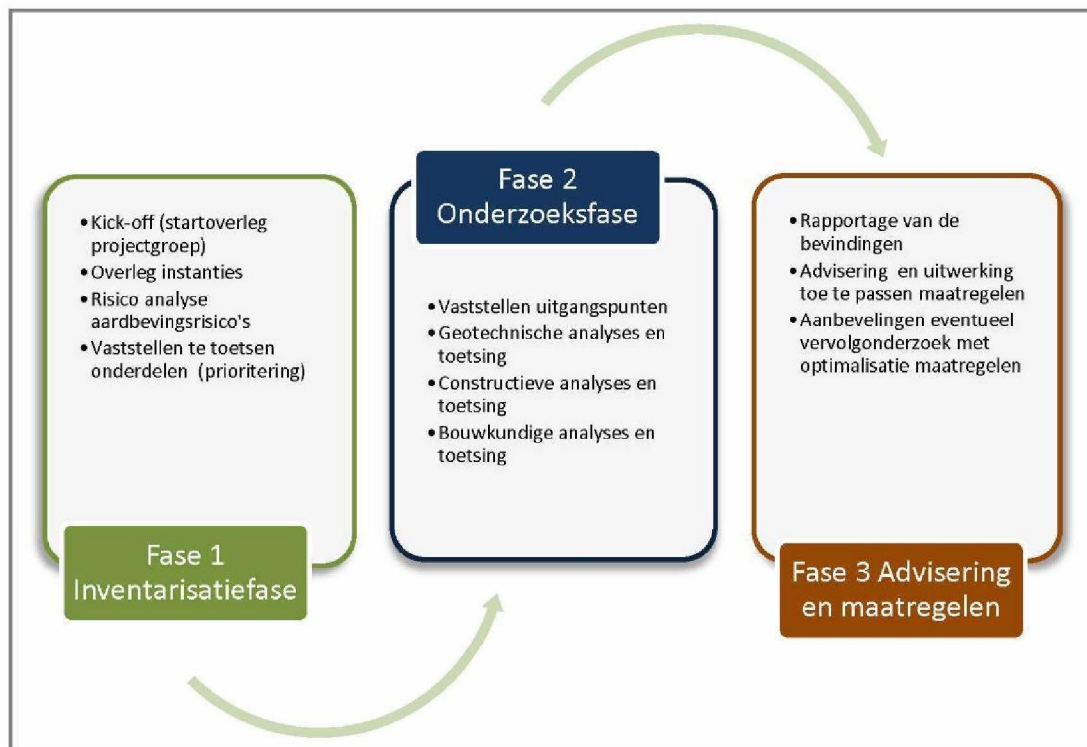
In aansluiting op de Basis for Design [15] wordt voor het aardbevingsonderzoek een gefaseerde aanpak voorgesteld waarbij allereerst een inventarisatie van het bestaande gebouw plaatsvindt, gevolgd door een beoordeling van de aardbevingsrisico's van bestaande en nieuwe constructies, bouwkundige onderdelen en fundering en tenslotte aanbevelingen worden gegeven voor te treffen maatregelen.

De werkzaamheden per fase zijn daarbij als volgt:

- In fase 1 wordt het gebouw geïnventariseerd. Vervolgens zullen de aardbevingsrisico's worden beschouwd waarbij wordt aangesloten op de werkwijze, zoals deze is beschreven in de NAM-handreiking *Basis for Design* [15], gebruikmakend van ondermeer de richtlijn FEMA P-424 *Design Guide for improving School Safety in Earthquakes, Floods and High Winds* van de Federal Emergency Management Agency [14] en de Tier 1 lijsten van de ASCE 41-13, *Seismic Evaluation of Existing Buildings* [50]. Het doel hiervan is om een selectie te kunnen maken van de meest kritische onderdelen (prioritering) voor de toetsing in fase 2.
- In fase 2 worden de uitgangspunten gedefinieerd voor de berekeningen en worden vervolgens de kwantitatieve analyses uitgevoerd van de geselecteerde te toetsen onderdelen uit fase 1. Hierbij zal in eerste instantie gebruik worden gemaakt van de normen en richtlijnen, zoals die zijn opgenomen in paragraaf 5.1, aangevuld met de analytische methoden beschreven in de rapporten [21] en [22] van Deltares. In de kwantitatieve beoordeling wordt daarbij de volgende differentiatie gemaakt:
 - draagconstructie gebouw (bestaand en nieuw);
 - bouwkundige onderdelen;
 - gronddruk op bestaande kelder (grondkerend);
 - fundering nieuwbouw en bestaande kelder;
 - totale stabiliteit.
- Fase 3 zal worden afgerond met een rapportage, met daarin de conclusies en advies over en uitwerking van de toe te passen maatregelen en constructieve aanpassingen.

Dit Plan van Aanpak omvat de bovengenoemde drie fasen van het aardbevingsonderzoek.

In figuur 3.1 is de opzet voor de bovengenoemde drie fasen schematisch weergegeven.



Figuur 3.1 Gefaseerde opzet aardbevingsanalyse (eerste drie fasen)

4 Inventarisatie aardbevingsrisico's

4.1 Algemeen

In de eerste fase wordt het bestaande gebouw globaal beschouwd. Na de inventarisatie zullen de aardbevingsrisico's in kaart worden gebracht teneinde een selectie te kunnen maken van de meest kritische onderdelen (prioritering). Hierbij wordt aangesloten op de NAM-handreiking *Basis for Design* [15] en de werkwijze zoals is beschreven in de richtlijnen 154 *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards* [13] en FEMA P-424 *Design Guide for Improving School Safety in Earthquakes, Floods and High Winds* van de Federal Emergency Management Agency [14].

In FEMA P-424 worden drie niveaus onderscheiden om aardbevingsrisico's te kunnen identificeren. Deze zijn (van grof naar fijn):

- rapid visual screening (FEMA P-424, par. 4.5.1);
- system checklist for school seismic safety evaluation (FEMA P-424, par. 4.5.2);
- seismic evaluation of existing buildings (FEMA P-424, par. 4.5.3).

De eerste twee niveaus betreffen een kwalitatieve aanpak waarin het gebouw wordt onderworpen aan een quick scan of een iets uitgebreidere evaluatie checklist. Het derde niveau betreft een verdere deels kwantitatieve benadering van de risico's. Voor de risico analyse (RVS) wordt gebruik gemaakt van de eerste twee fasen en deels van de derde, voor zover deze van toepassing is in [15]

4.2 Rapid Visual Screening (RSP)

De Rapid Screening Procedure (RSP) is beschreven in FEMA 154 [14]. Aan de hand van een invulformulier voor *moderate seismicity* wordt hier het gebouw als geheel beschouwd in een visuele inspectie, waarin de belangrijkste kenmerken van het gebouw worden ingevuld. Deze zijn ondermeer:

- gebruiksfunctie;
- aantal personen;
- aanwezigheid vallende onderdelen (schoorstenen e.d.)
- hoogte van het gebouw;
- globale constructie gebouw;
- verticale onregelmatigheden;
- onregelmatigheden in fundering;
- classificatie van de ondergrond.

Op basis van de score per kenmerk wordt een totaalscore bepaald waarbij wordt vastgesteld of het gebouw voldoende aardbevingsbestendig is (totaalscore > 2) of dat een nadere analyse naar aardbevingsbestendigheid vereist is (totaalscore ≤ 2).

Vooruitlopend op de inventarisatie van de aardbevingsrisico's middels een *seismic safety evaluation*, kan met de RSP-screening al redelijk snel worden vastgesteld dat het schoolgebouw zich in de categorie bevindt waarin een nadere analyse naar aardbevingsbestendigheid vereist is (uit de screening volgt een score beneden de 2).

Een voorbeeld van een RSP screening is toegevoegd in bijlage 1.

4.3 Evaluatie checklist aardbevingsrisico's

Voor schoolgebouwen is op basis van ASCE 31, Seismic Evaluation of Existing Buildings (2003) / FEMA 310 (2002) [51] / FEMA P-424 [14] een checklist gemaakt (principe voorbeeld, zie bijlage 2) waarin zowel constructieve als niet-constructieve aspecten binnen een gebouw kunnen worden beoordeeld op aardbevingsrisico's.

Daarin wordt ondermeer gefocust op:

- omgevingskenmerken:
 - geometrie maaiveldverloop;
 - eigenschappen ondergrond;
 - nabije/aangrenzende objecten (of grondlichamen);
- bouwkundige kenmerken:
 - regelmatigheid configuratie/geometrie gebouw;
 - vluchtmogelijkheden intern;
 - plafonds;
 - losse wanden;
 - zware loshangende delen, kasten etc.;
 - bevestiging gevelbekleding;
 - bevestiging en positie glazen gevels en ramen;
- kenmerken draagconstructie:
 - type draagconstructie;
 - geometrie;
 - verbindingen liggers, wanden, kolommen;
 - ductiliteit;
 - zwaartepunten massa's;
 - wapening;
 - type en verbinding fundering;
 - herverdelingscapaciteit;
- overig:
 - aansluiting kabels en leidingen en flexibiliteit leidingen;
 - bevestiging en isolatie elektrische kabels en heetwaterleidingen;
 - bevestiging heetwatertanks;
 - aanwezigheid noodaggregaat brandalarm, sprinklers, communicatiesystemen enz.
 - aanwezigheid veiligheidssystemen, veiligheidsplan;
 - etc.

4.4 Evaluatie risico's en prioritering

Per aspect kan in de checklist worden aangegeven of een evaluatie benodigd is of niet. Tevens kan op een kwalitatieve wijze inzichtelijk worden gemaakt waar de grootste knelpunten zullen liggen. De lijst is niet leidend in de uiteindelijke prioritering van de nader te beschouwen onderdelen maar geeft wel richting en een compleet overzicht. Uiteindelijk zullen in samenwerking met de verschillende disciplines (constructief, bouwkundig en geotechnisch) de grootste aardbevingsrisico's worden geïdentificeerd.

4.5 Risiconiveau en scenario's

Het risiconiveau wordt bepaald aan de hand van de NAM-handreiking *Basis for Design* [15] waarbij de van toepassing zijnde veiligheidsklasse (Consequence Class) wordt vastgesteld. De toetsing zal worden gedaan in de uiterste grenstoestand (Near Collapse) op basis van de hiervoor geldende eisen met betrekking tot persoonlijke veiligheid.

De constructieve en geotechnische analyses van de gekozen risico's worden vervolgens uitgevoerd in fase 2. Daarin worden ook de uitgangspunten gedefinieerd. De aan te houden ontwerpwaarde van de piekgrondversnelling zal daarbij worden vastgesteld aan de hand van de seismische hazardanalyse zoals deze is opgenomen in de bovengenoemde NAM-handreiking.

5 Kwantitatieve beoordeling van de aardbevingsrisico's

5.1 Verzamelen en valideren relevante gegevens van de constructies

Om een zorgvuldige kwantitatieve analyse van de geselecteerde onderdelen te kunnen maken is een goede inventarisatie van de bestaande gegevens noodzakelijk. De ter beschikking gestelde tekeningen, berekeningen en onderzoeksrapporten worden getoetst op volledigheid en bruikbaarheid.

Mocht blijken dat de gegevens onvolledig/onbruikbaar zijn, dan zal in het algemeen aanvullend onderzoek noodzakelijk zijn. Op dit moment wordt hier niet in voorzien in het Plan van Aanpak.

Aan de hand van beschikbaar gestelde grondonderzoeksresultaten en het binnen het DO [53] uit te voeren aanvullend grondonderzoek wordt de bodemopbouw bepaald en kunnen de grondlagen worden geschematiseerd. De omvang van deze onderzoeksgegevens wordt als voldoende geacht voor fase 2 van het aardbevingsonderzoek.

5.2 Vaststellen huidige staat

5.2.1 Vaststellen huidige staat constructies

Aan de hand van de bestaande gegevens zal in eerste instantie de huidige staat van de te beschouwen constructieonderdelen globaal worden beoordeeld, teneinde een referentie te kunnen vormen ten opzichte van de situatie onderhevig aan aardbevingseffecten.

5.2.2 Vaststellen uitgangspunten

Op basis van de geïnventariseerde gegevens en de grondonderzoeksresultaten zullen de uitgangspunten worden vastgesteld voor de uit te voeren analyses voor de geselecteerde constructies. De aan te houden ontwerpwaarde van de piekgrondversnelling zal worden vastgesteld aan de hand van de NAM-handreiking *Basis for Design* [15] en de NPR 9998:2015 [7a].

Ten behoeve van de analytische berekeningen wordt een ontwerpresponspectrum bepaald conform NPR 9998:2015 [7a]. Dit spectrum karakteriseert de onderlinge invloed van de dynamische eigenschappen van de constructie en de ondergrond in relatie tot de aardbevingsversnelingen.

5.3 Kwantitatieve beoordeling

5.3.1 Algemeen

De toetsing van de aardbevingsbestendigheid zal worden gedaan in de uiterste grenstoestand (Near Collapse) op basis van de hiervoor geldende eisen met betrekking tot persoonlijke veiligheid. De te beschouwen scenario's betreffen de te toetsen bezwijkmechanismen in de uiterste grenstoestand. De uiterste grenstoestand *Near Collapse* kan daarbij worden beschreven als de situatie waarin de bouwconstructie op instorten staat. De toetsing vindt plaats conform de NPR 9998:2015 [7a].

5.3.2 Geotechnische beoordeling

De geotechnische beoordeling zal bestaan uit een toetsing van aardbevingseffecten op de fundering en op de totale stabiliteit van de gehele constructie:

- toetsing bestaande paalfundering:
 - beschouwing verwekingseffecten op draagkracht en (verschil)zakkingen;
 - beschouwing laterale belasting op de palen uit bovenbouw (base shear force) en/of
 - toetsing gronddruk op de grondkerende wanden bestaande kelder;
- toetsing opdrijfgevaar bestaande kelder in situatie van verweking.

Als gevolg van een aardbeving kan verweking in de ondergrond optreden. Bij onderzoek naar de oorzaak van schade bij een gebouw dient verweking te worden meegenomen, zodat dit aspect een essentieel onderdeel vormt in het onderzoek van de aardbevingseffecten. Verwekingsgevaar is het grootst voor los gepakte zand en -siltlagen (beneden de grondwaterstand). In geval van verweking neigt compactie van de losse pakking op te treden waardoor in een verzadigde ondergrond wateroverspanningen kunnen optreden. Door wateroverspanning wordt de effectieve spanning gereduceerd, waardoor de draagkracht van de ondergrond afneemt. Daarnaast kunnen als gevolg van compactie maaiveldzettingen en (verschil)zakkingen van funderingen optreden. Voor een fundering op palen zal de gereduceerde draagkracht van de verweekte ondergrond in rekening worden gebracht middels een reductie van de conusweerstand en middels een reductie van de positieve kleefzone en toename van de negatieve kleefzone. Daarnaast zal een toetsing van de veiligheid tegen opdrijven van de kelder als gevolg van verweking worden beschouwd in geval van GHG (gemiddeld hoge grondwaterstand) conform NEN 9997-1 [6].

Daarnaast dienen de palen te worden getoetst op sterkte (axiale krachten, dwarskrachten en momenten) en draagkracht (horizontaal en verticaal) op basis van de optredende horizontale en verticale respons belastingen uit de bovenbouw. De krachtwerving op de palen worden getoetst gebruikmakend van het analytische rekenprogramma D-Sheet Piling (*single pile*) of D-Pilegroep (paalgroepen). De horizontale bedding van de grond wordt bepaald met methode Ménard waarbij het effect van verweking wordt meegenomen. Aan de hand van de berekende laterale verplaatsing kan de horizontale beddingsconstante van de paalfundering worden bepaald die als invoer dient in het constructieve rekenmodel.

Het effect van horizontale en verticale grondversnellingen op de gronddruk op het gebouw wordt analytisch berekend op basis van de analytische methode Mononobe-Okabe (1929) conform Annex E van NEN-EN 1998-5 [10]. Deze klassieke methode betreft een quasi-statische methode waarbij de aardbevingsbelasting in de vorm van een toename van actieve gronddruk en afname van passieve gronddruk wordt vertaald. Dit gebeurt aan de hand van de versnellingshoek θ uit de horizontale en verticale seismische coëfficiënten zoals gedefinieerd in paragraaf 7.3.2.2 van NEN-EN 1998-5. De methode Mononobe-Okabe wordt toegepast in combinatie met het analytische rekenprogramma D-Sheet Piling. De methode kent een aantal vereenvoudigingen en tekortkomingen, waardoor de toename van de gronddruk slechts indicatief kan worden bepaald. Indien blijkt dat de gronddruktoename kritiek is, kan het zinvol zijn een meer geavanceerde berekening met behulp van Eindige Elementenberekeningen met PLAXIS-2D uit te voeren. Met dit model kunnen nauwkeuriger berekeningen worden gemaakt, mogelijk kan aangetoond worden dat de gronddruktoename wel opgenomen kan worden. Op dit moment wordt hier niet in voorzien in het Plan van Aanpak.

5.3.3 Constructieve beoordeling

De constructieve beoordeling zal bestaan uit een toetsing van aardbevingseffecten op de bovenbouw, zijn fundering en op de bestaande kelder (wanden, vloeren).

Voor de berekening van de aardbevingseffecten wordt in Eurocode 8 onderscheid gemaakt in analytische methoden volgens *de lateral force method* (zie paragraaf 4.3.3.2 van NEN 1998-1 [7]) en geavanceerde numerieke methoden aan de hand van numerieke (EEM-) berekeningen volgens een *modal response spectrum analysis* (zie ook paragraaf 4.3.3.3 van NEN 1998-1 [7]).

De constructieve berekeningen zullen in eerste instantie, in verband met de in de NPR 9998:2015 gestelde eisen (hoogte gebouw, regelmaat, etc), worden uitgerekend met behulp van de *modal response spectrum analysis* methode. Deze berekeningsmethode zal over het algemeen een bovengrens vormen.

De correcte definitie van de aardbevingslast wordt in het constructieve rekenmodel gebruikt in een fysisch- en geometrisch lineair elastische berekening. De volgende parameters worden bepaald voor invoering in het model:

- de horizontale ontwerpversnelling a_h (= PGA) en seismische respons spectrum van de ondergrond;
- de importance factor van de constructie (γ), deze is reeds in rekening gebracht in de ontwerpwaarde van de piekversnelling in grenstoestand NC;
- de gedragsfactor (q) afhankelijk van de ductiliteit van de constructie.

De te onderzoeken belastingcombinaties worden bepaald met behulp van NEN-EN 1990 [1], NPR 9998:2015 (inclusief de voor zover van toepassing zijnde daarin genoemde normen en deelnormen) en met behulp van het constructieve rekenmodel.

5.3.4 *Bouwkundige beoordeling*

De bouwkundige beoordeling zal bestaan uit het beoordelen van de bouwkundige aspecten die uit de screening naar voren zijn gekomen. Hiervoor zal per onderdeel de benodigde voorzieningen, of maatregelen worden aangegeven.

Een belangrijk aspect is de toetsing van de gevelbekleding en van de glazen gevel. Voor deze laatste geldt:

- de glazen gevel:
 - check van de te verwachten opgelegde vervormingen op de constructie van de glazen gevel;
 - beoordeling van de vervormingen van het glas zelf (speel-/stelruimte). Uitgangspunt hierbij is dat deze vast zit en niet kan vervormen;
 - advies over mogelijk te nemen maatregelen, vervangen glas, plaatsen folie etc.

5.4 **Ontwerpen van maatregelen**

In geval uit de geotechnische of constructieve beoordelingen blijkt dat de constructie of constructie-onderdelen niet voldoen, dan zullen maatregelen worden ontworpen. De maatregelen zullen van constructieve aard zijn en in eerste instantie zal daarbij worden uitgegaan van:

- geotechnisch/funderingen: versterking/verzwaring van de fundering op palen;
- constructief: versterking/verzwaring van de kelderwanden en/of vloeren.

De rekenwijze waarop de maatregelen worden ontworpen is beschreven in de voorgaande paragrafen. Mochten nog verdere of meer ingrijpende maatregelen noodzakelijk blijken, dan zal eerst overleg plaats dienen te vinden met de opdrachtgever. De additionele werkzaamheden kunnen vervolgens als meerwerk worden aangeboden.

In plaats van voorstellen van verdergaande maatregelen in een additioneel vervolgonderzoek kan ook worden overwogen om het veiligheidsniveau nauwkeuriger te bepalen door middel van een analyse met geavanceerde niet-lineaire rekenmodellen (niet-lineaire statische (*pushover*) *berekening* en niet-lineaire (dynamische) *time-historie berekening* met PLAXIS en/of Axis-VM. De uitkomst kan dan zijn dat de constructie alsnog voldoet. Mocht de constructie dan alsnog niet voldoen, dan kan in ieder geval worden geoptimaliseerd in te treffen maatregelen. In het voorliggende Plan van Aanpak is niet voorzien in de toepassing van niet-lineaire rekenmodellen.

5.5 Rapportage onderzoeksfase

De resultaten van de alle genoemde werkzaamheden zullen in rapportvorm worden gepresenteerd.

De rapportage omvat de volgende onderdelen:

- Uitgangspunten (inventarisatie, gegevens, huidige staat).
- Geotechnische rapportage met de resultaten van de analyses zoals beschreven in paragraaf 5.3.2. Geconcludeerd wordt of de fundering en het te beschouwen dwarsprofiel aardbevingsbestendig is.
- Constructietechnische rapportage met de resultaten van de analyses en bouwkundige beoordeling zoals beschreven in paragraaf 5.3.3 en 5.3.4. Geconcludeerd wordt of de te beschouwen constructieonderdelen aardbevingsbestendig zijn.
- Geotechnische en constructieve uitwerking van de maatregelen teneinde de fundering en constructie aardbevingsbestendig te kunnen realiseren.

6 Literatuur

6.1 Regelgeving en normen

- [1] NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2011 Eurocode 0 - Grondslagen van het constructief ontwerp en NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2011/NB:2011, Nationale bijlage bij NEN-EN 1990, ICS 91.010.30; 91.080.01
- [2] NEN-EN 1991-1-1+C1:2011 Eurocode 1 – Belastingen op constructies – Deel 1-1: Algemene belastingen en NEN-EN 1991-1-1+C1:2011/NB:2011, Nationale bijlage bij NEN-EN 1991-1-1, ICS 91.080.01
- [3] NEN-EN 1991-4:2006 Eurocode 1 – Belastingen op constructies – Deel 4: Silo's en opslagtanks en NEN-EN 1991-4/NB:2013, Nationale bijlage bij NEN-EN 1991-4, ICS 91.010.30
- [4] NEN-EN 1992-1-1+C2:2011 Eurocode 2 – Ontwerp en berekening van betonconstructies – Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen en NEN-EN 1992-1-1+C2:2011/NB:2011, Nationale bijlage bij NEN-EN 1992-1-1, ICS 91.010.30; 91.080.40
- [5] NEN-EN 1993-1-1+C2:2011 Eurocode 3 – Ontwerp en berekening van staalconstructies – Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen en NEN-EN 1993-1-1+C2:2011/NB:2011, Nationale bijlage bij NEN-EN 1993-1-1, ICS 91.010.30; 91.080.40
- [6] NEN 9997-1:2012 Eurocode 7 - Geotechnisch ontwerp van constructies - Samenstelling van: NEN-EN 1997-1 Geotechnisch ontwerp - Deel 1: Algemene regels; NEN-EN 1997-1/NB Nationale bijlage bij NEN-EN 1997-1 en NEN 9097-1: Aanvullende bepalingen voor het geotechnisch ontwerp (ontwerp). ICS 91.080.01; 93.020
- [7] NEN-EN 1998-1:2005 Eurocode 8 – Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies – Deel 1: Algemene regels, seismische belastingen en regels voor gebouwen; NEN-EN 1998-1/C1:2009; NEN-EN 1998-1/A1:2013. ICS 91.120.25 (informatief) + [7a]: Nederlandse Praktijkrichtlijn NPR 9998, versie 2013-05-13. ICS 91.120.25 (voortschrijdend inzicht, richtlijn is momenteel nog in ontwikkeling)
- [8] NEN-EN 1998-3:2005 Eurocode 8 – Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies – Deel 3: Beoordeling en vernieuwing van gebouwen; NEN-EN 1998-3:C2:2013. ICS 91.120.25 (informatief)
- [9] NEN-EN 1998-4:2007 Eurocode 8 – Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies – Deel 4: Silo's, opslagtanks en pijpleidingen. ICS 91.120.25 (informatief)
- [10] NEN-EN 1998-5:2007 Eurocode 8 – Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies – Deel 5: Funderingen, grondkerende constructies en geotechnische aspecten. ICS 91.120.25 (informatief)
- [11] NEN-EN 1998-6:2005 Eurocode 8 – Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies – Deel 6: Torens, masten en schoorstenen. ICS 91.120.25 (informatief)

- [12] NEN 8700:2009, Grondslagen van de beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk, ICS 91.010.30; 91.080.01
- [13] FEMA 154, Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards, Federal Emergency Management Agency (FEMA), March 2002
- [14] FEMA P-424, Design Guide for improving School Safety in Earthquakes, Floods and High Winds, Federal Emergency Management Agency (FEMA), December 2010
- [15] NAM Rep. Nr. EP201403208456, Basis for design Seismic Structural Upgrading of Existing Buildings in the Groningen Area, revision 3, 9 March 2015

6.2 Rijksonderzoeksresultaten inzake gaswinning Groningen

- [16] Hazard analyses KNMI:
 - [16a] Dost, B., *Eerste resultaten van de verwachte grondbeweging bij een aardbeving met een magnitude 5.0 en van de grootte van het gebied waar een sterke grondbeweging zou kunnen optreden*, KNMI, De Bilt, augustus 2013
 - [16b] Dost, B., Caccavale, M., Van Eck, T., Kraaijpoel, D., *Report on the expected PGV and PGA values for induced earthquakes in the Groningen area*, KNMI, De Bilt, 2013
- [17] Effecten aardbevingen op kritische infrastructuur, Onderzoeksrapporten Deltares:
 - [17a] Korff, ir. M., Kruse, dr. H.M.G. et.al., *Effecten geïnduceerde aardbevingen op kritische infrastructuur Groningen (quick scan)*, Deltares, doc.nr.: 1208149-000-GEO-006, versie 02, Delft, 13 augustus 2013
 - [17b] Meijers, dr.ir. P., *Effecten aardbevingen op kritische infrastructuur, verwekingsstudie*, Deltares, doc.nr.: 1208624-007-GEO-0001, Delft, 15 januari 2014
 - [17c] Visschedijk, ir. M.A.T., Meijers dr.ir. P., et.al., *Groningse kades en dijken bij geïnduceerde aardbevingen, globale analyse*, Deltares, doc.nr.: 1208624-002-GEO-0003, Delft, 16 januari 2014
 - [17d] Verweij, ir. A., et.al., *Kunstwerken in waterkeringen, impact van geïnduceerde aardbevingen*, Deltares, doc.nr.: 1208624-008-GEO-0010, Delft, 15 januari 2014
 - [17e] Landwehr, H., et.al., *Effecten aardbevingen op hoogspanningsnet in Groningen*, Deltares, TNO, doc.nr.: 1208624-010-GEO-0001, Delft, 15 januari 2014
 - [17f] Kruse, dr. H.M.G. et.al., *Effecten geïnduceerde aardbevingen op het Gasunie-netwerk in Groningen*, Deltares, doc.nr.: 1208092-000-GEO-0005, Delft, 6 november 2013
- [18] *Het ontwikkelen van een plan van aanpak voor de preventieve versterking van gebouwen, om veiligheidsrisico's als gevolg van aardbevingen en het Groningen veld zoveel mogelijk te beperken*, Nederlandse Aardolie Maatschappij, Assen, augustus 2013
- [19] *Preliminary Structural Upgrading Strategy for Groningen*, ARUP, Amsterdam, 30 July 2013
- [20] Wijziging Winningsplan Groningen 2013, Staatstoezicht op de Mijnen, januari 2014
- [21] *Handreiking voor het uitvoeren van studies naar het effect van aardbevingen voor bedrijven in de industriegebieden Delfzijl en Eemshaven*, Deltares/TNO, doc.nr.: 1209036-000-GEO-0006, Versie 3, Delft, 23 juni 2014, definitief
- [22] *Aardbevingsbestendigheid kades noordzijde Eemskanaal*, Deltares, doc.nr.: 1209319-000-GEO-0004, Delft, 11 maart 2014 (conceptversie).

6.3 Andere publicaties en richtlijnen

- [23] Thienen-Visser, K. van et.al., *Deterministische hazard analyse voor geïnduceerde seismiciteit in Nederland*, TNO-rapport 2012 R10198, 25 juni 2012
- [24] *Bodemdaling door Aardgaswinning*, Nederlandse Aardolie Maatschappij, doc.nr.: EP201006302236, september 2010
- [25] Dost, B. et.al., *The August 16, 2012 earthquake near Huizinge (Groningen)*, KNMI, De Bilt, January 2013
- [26] Dost, B. et.al., *Monitoring induced seismicity in the North of the Netherlands: status report 2010*, Scientific report WR 2012-03, KNMI, De Bilt, 2012
- [27] Eck, T. van et.al., *Seismic hazard due to small-magnitude, shallow-source, induced earthquakes in The Netherlands*, KNMI, De Bilt, 18 January 2006
- [28] Dost, B. et.al., *Seismisch risico in Noord-Nederland*, KNMI, De Bilt, februari 1998
- [29] Haak, H. et.al., *Aardbevingen, Wat beweegt de aarde*, KNMI, De Bilt, september 2005
- [30] Meijers, P. et.al., *Gedrag van zand onder cyclische belasting*, Deltares, Geotechniek, januari 2009
- [31] Cornell, A., *Engineering seismic risk analysis*, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 58, October, 1968
- [32] Nicknam, A., *Comparison the Proposed Probabilistic-Based Time-History and the Traditional PSHA Approach*, American Journal of Applied Sciences 6 (4): 652-655, 2009
- [33] Skarlatoudis, A., et.al., *The dependence of peak horizontal acceleration on magnitude and distance for small magnitude earthquakes in Greece*, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, August 1-6, 2004
- [34] Kappos, A. et.al., *Earthquakeresistant Concrete Structures*, Department of Civil Engineering, University of Thessaloniki, Greece, ISBN 0 419 18720 0, Taylor & Vrancic, Oxon, 2005
- [35] Ishibashi, I., et.al., *Unified dynamic shear moduli and damping ratios of sand and clay*, Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Soils and Foundations Vol. 33, No. 1, 182-191, March 1993
- [36] DeJong, J.T., *Site Characterization – Guidelines for Estimating V_s Based on In-Situ Tests Stage 1 – Interim Report*, University of California, Davis, December 19, 2007
- [37] Mitchell, J.K., et.al, *Time-Dependent Strength Gain in Freshly Deposited or Densified Sand*, Journal of Geotechnical Engineering Vol. 110, 1559-1579, 1984
- [38] Idriss, I.M., et.al., *SPT-based liquefaction triggering procedures*, University of California, Davis, December 2010
- [39] Idriss, I.M., et.al., *Soil liquefaction during earthquakes*, ISBN #978-1-932884-36-4, University of California, Davis, December 2008
- [40] Hendrikse, H., *Ontwerpen van hoogbouw belast door aardbevingen, Onderzoek naar het ontwerpproces met behulp van een dynamisch rekenprogramma*, Technische Universiteit Delft, Delft, juni 2007

- [41] Brinkgreve, R.B.J., et.al., *Manual PLAXIS 3D-2012*, PLAXIS, ISBN-13: 978-90-76016-12-2, Delft, 2012.
- [42] Verheij, H.J. et.al. *Invloed van aardbevingen op overstromingsrisico's*, WL Delft Hydraulics, KNMI, NITG-TNO, GeoDelft, september 2005
- [43] Masin, D., *PLAXIS implementation of hypoplasticity*, December 2013
- [44] Masin, D., *Hypoplasticity for Practical Applications*, PhD course on hypoplasticity, Charles University in Prague, January 2012
- [45] Vrouwenvelder, A.C.W.M., *Eisen Conceptual frame work*, PAO cursus Eurocode 8: Earthquake engineering, lecture 8-4, cursus najaar 2013
- [46] O'Rourke, T.D., *An overview of geotechnical and lifeline earthquake engineering*, Geotechnical earthquake engineering and soil dynamics III 1998
- [47] TCC Mechanical Engineering II, *Pipestress & Support*
- [48] Ilki, A., Fardis, M.N., *Seismic Evaluation and Rehabilitation of Structures*, ISBN 978-3-319-00458-7, 2014
- [49] Bachman, H., *Seismic Conceptual Design of Buildings – Basic principles for engineers, architects, building owners and authorities*, DETEC, BWG Biel / Zürich, December 2002
- [50] Pekelnicky, R., Poland, C., *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*, (ASCE41-13), Convention Proceedings SEAOC 2012
- [51] FEMA 310, *Seismic Evaluation Handbook*, Federal Emergency Management Agency (FEMA), March 2002
- [52] 2003 International Existing Building Code, ISBN 1-892395-89-4, IL 60478-5797, USA
- [53] Sportaccomodatatie Vondelpad, Plan van Aanpak voor de bouw van een nieuwe sportaccomodatatie aan het Vondelpad te Groningen, d.d. 9 maart 2015 van Grontmij Nederland (doc.nr.: 711R001M, revisie 2)

Bijlage 1

Voorbeeld Rapid Visual Screening checklist (voorbeeld)

Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards
 FEMA-154 Data Collection Form

HIGH Seismicity

	Address: _____ Zip: _____ Other Identifiers: _____ No. Stories: _____ Year Built: _____ Screener: _____ Date: _____ Total Floor Area (sq. ft.): _____ Building Name: _____ Use: _____
PHOTOGRAPH	

Scale: _____

OCCUPANCY		SOIL		TYPE						FALLING HAZARDS				
Assembly Commercial Emer. Services	Govt Historic Industrial	Office Residential School	Number of Persons 0 - 10 11 - 100 101-1000 1000+		A Hard Rock	B Avg. Rock	C Dense Soil	D Stiff Soil	E Soft Soil	F Poor Soil	<input type="checkbox"/> Unreinforced Chimneys	<input type="checkbox"/> Parapets	<input type="checkbox"/> Cladding	<input type="checkbox"/> Other:

BASIC SCORE, MODIFIERS, AND FINAL SCORE, S															
BUILDING TYPE	W1	W2	S1 (MRF)	S2 (SR)	S3 (LM)	S4 (RC SW)	S5 (URM INF)	C1 (MRF)	C2 (SW)	C3 (URM INF)	PC1 (TU)	PC2	RM1 (FD)	RM2 (RD)	URM
Basic Score	4.4	3.8	2.8	3.0	3.2	2.8	2.8	2.5	2.8	1.8	2.8	2.4	2.8	2.8	1.8
Mid Rise (4 to 7 stories)	N/A	N/A	+0.2	+0.4	N/A	+0.4	+0.4	+0.4	+0.4	+0.2	N/A	+0.2	+0.4	+0.4	0.0
High Rise (> 7 stories)	N/A	N/A	+0.6	+0.8	N/A	+0.8	+0.8	+0.6	+0.8	+0.3	N/A	+0.4	N/A	+0.6	N/A
Vertical Irregularity	-2.5	-2.0	-1.0	-1.5	N/A	-1.0	-1.0	-1.5	-1.0	-1.0	N/A	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
Plan Irregularity	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
Pre-Code	0.0	-1.0	-1.0	-0.8	-0.6	-0.8	-0.2	-1.2	-1.0	-0.2	-0.8	-0.8	-1.0	-0.8	-0.2
Post-Benchmark	+2.4	+2.4	+1.4	+1.4	N/A	+1.6	N/A	+1.4	+2.4	N/A	+2.4	N/A	+2.8	+2.8	N/A
Soil Type C	0.0	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4
Soil Type D	0.0	-0.8	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.4	-0.6	-0.6	-0.4	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6
Soil Type E	0.0	-0.8	-1.2	-1.2	-1.0	-1.2	-0.8	-1.2	-0.8	-0.8	-0.4	-1.2	-0.4	-0.6	-0.8

FINAL SCORE, S														
COMMENTS													Detailed Evaluation Required YES NO	

* = Estimated, subjective, or unreliable data
 DNK = Do Not Know

BR = Braced frame MRF = Moment-resisting frame SW = Shear wall
 FD = Flexible diaphragm RC = Reinforced concrete TU = Tilt up
 LM = Light metal RD = Rigid diaphragm URM INF = Unreinforced masonry infill

Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards (FEMA 154)

Quick Reference Guide (for use with Data Collection Form)

1. Model Building Types and Critical Code Adoption and Enforcement Dates		Year Seismic Codes Initially Adopted and Enforced*	Benchmark Year when Codes Improved
Structural Types			
W1	Light wood frame, residential or commercial, ≤ 5000 square feet	_____	_____
W2	Wood frame buildings, > 5000 square feet.	_____	_____
S1	Steel moment-resisting frame	_____	_____
S2	Steel braced frame	_____	_____
S3	Light metal frame	_____	_____
S4	Steel frame with cast-in-place concrete shear walls	_____	_____
S5	Steel frame with unreinforced masonry infill	_____	_____
C1	Concrete moment-resisting frame	_____	_____
C2	Concrete shear wall	_____	_____
C3	Concrete frame with unreinforced masonry infill	_____	_____
PC1	Tilt-up construction	_____	_____
PC2	Precast concrete frame	_____	_____
RM1	Reinforced masonry with flexible floor and roof diaphragms	_____	_____
RM2	Reinforced masonry with rigid diaphragms	_____	_____
URM	Unreinforced masonry bearing-wall buildings	_____	_____

*Not applicable in regions of low seismicity

2. Anchorage of Heavy Cladding
 Year in which seismic anchorage requirements were adopted: _____

3. Occupancy Loads			
Use	Square Feet, Per Person	Use	Square Feet, Per Person
Assembly	varies, 10 minimum	Industrial	200-500
Commercial	50-200	Office	100-200
Emergency Services	100	Residential	100-300
Government	100-200	School	50-100

4. Score Modifier Definitions	
<i>Mid-Rise:</i>	4 to 7 stories
<i>High-Rise:</i>	8 or more stories
<i>Vertical Irregularity:</i>	Steps in elevation view; inclined walls; building on hill; soft story (e.g., house over garage); building with short columns; unbraced cripple walls.
<i>Plan Irregularity</i>	Buildings with re-entrant corners (L, T, U, E, + or other irregular building plan); buildings with good lateral resistance in one direction but not in the other direction; eccentric stiffness in plan, (e.g. corner building, or wedge-shaped building, with one or two solid walls and all other walls open).
<i>Pre-Code:</i>	Building designed and constructed prior to the year in which seismic codes were first adopted and enforced in the jurisdiction; use years specified above in Item 1; default is 1941, except for PC1, which is 1973.
<i>Post-Benchmark:</i>	Building designed and constructed after significant improvements in seismic code requirements (e.g., ductile detailing) were adopted and enforced; the benchmark year when codes improved may be different for each building type and jurisdiction; use years specified above in Item 1 (see Table 2-2 of FEMA 154 <i>Handbook</i> for additional information).
<i>Soil Type C:</i>	Soft rock or very dense soil; S-wave velocity: 1200 – 2500 ft/s; blow count > 50; or undrained shear strength > 2000 psf.
<i>Soil Type D:</i>	Stiff soil; S-wave velocity: 600 – 1200 ft/s; blow count: 15 – 50; or undrained shear strength: 1000 – 2000 psf.
<i>Soil Type E:</i>	Soft soil; S-wave velocity < 600 ft/s; or more than 100 ft of soil with plasticity index > 20, water content > 40%, and undrained shear strength < 500 psf.

Bijlage 2

Evaluation check list for Schools (voorbeeld)

Table 4-2: School seismic safety evaluation checklist

System Identifier	Evaluation Question	Evaluation Y or N or comment	Guidance	Data References
1	Site			
	Is there is an active fault on or adjacent to the site?		If suspected, site-specific geologic investigations should be performed.	Local building department, State geologist, local university, or local geotechnical consultant
	Does the site consist of stiff or dense soil or rock?		If softer soils that can lead to force amplification are suspected, site-specific geologic investigations should be performed.	Local building department, State geologist, local university, or local geotechnical consultant
	Are post-earthquake site egress and access secured?		Alternative routes, unlikely to be blocked by falling buildings, power lines, etc., are desirable.	Inspection by district personnel/architect
	Are utility and communications lifelines vulnerable to disruption and failure?		Security of the entire utility and communications network is the issue: the school may be impacted by off-site failures.	Inspection on site by district personnel and Mechanical/Electrical/Plumbing (M/E/P) consultants; for off site, contact local power and communications providers
	Are there alternate or backup sources for vital utilities?		Alternate sources increase the probability of the school remaining functional after an event, particularly if the school is used for post-earthquake shelter.	Inspection personnel and district personnel, M/E/P consultants, and local utility suppliers
1	Site			
	Are building setbacks adequate to prevent battering from adjacent buildings?		Inadequate spaces between building walls are common in dense urban settings.	ASCE 31, Section 4.3.1.2
	Is there adequate space on the site for a safe and "defensible" area of refuge from hazards for building occupants?		Outside spaces can be used as safe post-earthquake assembly areas for school occupants and possibly the community.	Inspection personnel and district personnel/architect/local emergency staff
2	Architectural			
	Configuration			
	Is the architectural/ structural configuration regular?		Irregular vertical and horizontal configurations, such as re-entrant corners and soft first stories, may lead to significant stress concentrations.	ASCE 31, Section 4.3.2

(Voorbeeld evaluatie checklist, eerste pagina van 5)