

Onderzoek aardbevingsrisico's exemplarische bouwwerken

Plan van Aanpak ten behoeve van onderzoek en analyse van
aardbevingsrisico's op een aantal karakteristieke bouwwerken in de stad
Groningen

Definitief

Gemeente Groningen
Gedempte Zuiderdiep 98
9711 HL Groningen

Grontmij Nederland B.V.
Groningen, 11 september 2014

GMXXX, revisie D012

Verantwoording

Titel : Onderzoek aardbevingsrisico's exemplarische bouwwerken
Subtitel : Plan van Aanpak ten behoeve van onderzoek en analyse van aardbevingsrisico's op een aantal karakteristieke bouwwerken in de stad Groningen
Projectnummer : 339351
Referentienummer : GMXXX
Revisie : D01
Datum : 11 september 2014

Auteur(s) : ██████████ 5.1.2e
E-mail adres :
Gecontroleerd door : ██████████ 5.1.2e
Paraaf gecontroleerd :
Goedgekeurd door : ██████████ 5.1.2e
Paraaf goedgekeurd :
Contact : Grontmij Nederland B.V.
Rozenburglaan 11
9727 DL Groningen
Postbus 7057
9701 JB Groningen
T +31 88 811 51 11
www.grontmij.nl

Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
1.1	Achtergrond	5
1.2	Doel en resultaat	5
1.3	Afbakening	6
1.4	Waarom Grontmij?	6
1.5	Kernteam Aardbevingen Grontmij	7
1.6	Leeswijzer	8
2	Randvoorwaarden en uitgangspunten	9
2.1	Algemene beschrijving situatie en risico's	9
2.2	Veiligheidsfilosofie	9
2.2.1	Algemeen	9
2.2.2	Normen en richtlijnen	10
2.2.3	Veiligheidsklassen (Reliability Class RC)	10
2.2.4	Geotechnische categorie	10
2.3	De te onderzoeken objecten	10
2.3.1	Uitvraag	10
2.3.2	Optionele te onderzoeken objecten	11
3	Aanpak	12
3.1	Algemeen	12
3.2	Diepgang van het onderzoek	13
3.3	Toetsingsonderdelen per categorie constructie	13
3.3.1	Indeling categorie constructie	13
4	Inventarisatie en voorbereiding	14
4.1	Algemeen	14
4.2	Risico analyse	14
4.2.1	Ongewenste gebeurtenissen	14
4.3	Verzamelen relevante gegevens van de constructies	14
4.4	Valideren van de kritische delen	15
4.5	Overleg met instanties	15
4.6	Grondonderzoek	15
5	Geotechnische en constructieve analyse	16
5.1	Geotechnische analyse	16
5.1.1	Inventarisatie van de bodemopbouw	16
5.1.2	Inventarisatie seismische gegevens	16
5.1.3	Vaststellen respons spectrum voor constructieve analyses	18
5.1.4	Effecten van aardbevingsbelasting op funderingen	18
5.1.5	Mogelijke grondmechanische aspecten:	18
5.2	Constructietechnische analyse	20
5.2.1	Toetsing grenstoestanden	20
5.2.2	Kwalitatieve beoordeling	20
5.2.2.1	Normeringen versus kwalitatieve beoordeling	20
5.2.2.2	Overige principes betreffende de kwalitatieve beoordeling	21
5.2.2.3	Principes ten aanzien van bouwkundige elementen	22

5.2.3	Aanvullende benodigde berekeningen	22
5.3	Leidingen	22
5.4	Veiligheid	22
6	Resultaten	23
6.1	Rapportage	23
6.2	Kennistransformatie	23
7	Literatuur	25
7.1	Regelgeving, normen en handleidingen	25
7.2	Rijksonderzoeksresultaten inzake gaswinning Groningen	26
7.3	Andere publicaties	27

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In de provincie Groningen hebben zich in de afgelopen tien jaar zeven 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 de aardbevingen toeneemt. Deze aardbevingen werden veroorzaakt door de gaswinning uit het Groningse gasveld. Voordat er in Groningen gas werd gewonnen was er geen sprake van aardbevingen.

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 de eerste normeringen (NEN, NPR), die nog niet officieel van kracht zijn, blijkt dat ook de stad Groningen binnen het invloedsgebied ligt van mogelijke aardbevingen. Hierdoor ontstaat ook voor inwoners en bezoekers van de stad Groningen een verhoogd risico voor de volksgezondheid. Voor de gemeente Groningen is het belangrijk om inzicht te krijgen in de mogelijke risico's die aardbevingen met zich meebrengen binnen de gemeentegrenzen.

In dit kader heeft er op 4 september jl. met de heren 5.1.2e van Grontmij een aanvullend gesprek plaatsgevonden over de risico's van aardbevingen voor de stad Groningen in relatie tot de offerte uitvraag betreffende het onderzoek naar de aardbevingsbestendigheid van 17 exemplarische bouwwerken binnen de stadsgrenzen van de gemeente Groningen.

Tijdens de gesprekken is ingegaan op:

- de risico's van aardbevingen in relatie tot de exemplarische gebouwen / constructies;
- verzamelen van data (uitgangspunten);
- het doel en de wijze waarop, van de werkzaamheden die dienen te worden geoffereerd;
- uitvoeren aardbevingsanalyse en analyseren van de mogelijke schade / onderzoeksmethode;
- knelpunten en aanbevelingen;
- kennis-transformatie van medewerkers / buiteninspecteurs van de gemeente Groningen;
- beoordeling van de offerte.

Naar aanleiding van dit gesprek is door de gemeente Groningen aan Grontmij Nederland B.V. gevraagd om een Plan van Aanpak (PVA) en een offerte op te stellen voor de aardbevingsanalyse van de 17 exemplarische bouwwerken.

De werkwijze / methodiek die in het PvA grotendeels wordt gevolgd is gebaseerd op de voor de industrie in Delfzijl en Eemshaven opgestelde Handreiking voor het uitvoeren van studies naar het effect van aardbevingen van Deltares/TNO (doc.nr.: 1209036-000-GEO-0006, Versie 3 d.d. 23 juni 2014, definitief [21]).

1.2 Doel en resultaat

Het doel van het in dit voorliggend PvA beschreven onderzoek is om inzicht te krijgen in de risico's en eventuele gevolgen van een aardbeving, op de stad Groningen. Vertrekpunten hierbij zijn met name de gevolgen op het gebied van (in-/externe)veiligheid en het risico van schade op de omgeving (Milieuverontreiniging).

Door de gemeente Groningen is daartoe een lijst opgesteld van 17 kenmerkende exemplarische gebouwen. Deze gebouwen vormen een “dwarsdoorsnede” van de stad. Aan de hand van het onderzoek wordt inzicht verkregen in de aardbevingsgevoeligheid van de diverse constructies van deze bouwwerken.

Het doel van de voorgestelde aanpak is vierledig:

1. het inzichtelijk krijgen van de hoogte van de risico's en het vaststellen van de meest aardbevingsgevoelige type constructies aan de hand van een risico analyse en inventarisatie;
2. het inzichtelijk krijgen van de effecten (schade) op de geselecteerde bouwwerken;
3. door de ervaringen van deze onderzochte onderdelen een beter inzicht te verkrijgen in de risico's en gevolgen voor deze en overige gelijksoortige, bouwwerken en de externe veiligheid, waardoor input wordt verkregen voor het maken van beleid op dit dossier binnen de gemeentelijke grenzen;
4. het inzichtelijk krijgen van een praktische en efficiënte aanpak voor de technieken en methoden om de gevolgen van een aardbeving voor andere onderdelen in de stad efficiënt te kunnen beoordelen.

Hierbij zal de inzet van medewerkers van de gemeente Groningen worden meegenomen, zodat ook de kennis en expertise van deze medewerkers op met name het herkennen van aardbevingsrisico's worden vergroot.

Het resultaat van het onderzoek is een rapportage met:

- A. de toetsingsresultaten van een risico analyse en een *kwalitatieve* beschouwing van de afgesproken exemplarische bouwwerken, ten aanzien van aardbevingen;
- B. conclusies en aanbevelingen voor de diverse bouwwerken. Dit kan ook een nader onderzoek zijn, indien uit de risico analyse en de kwalitatieve beschouwingen geen duidelijke conclusies zijn te trekken of het bouwwerk veilig is of niet;
- C. beschouwing van de veiligheidsrisico's;
- D. aanbevelingen t.b.v. het te vormen beleid, inzake aardbevingsrisico's binnen de gemeente Groningen.

1.3 Afbakening

Het doel is beter inzicht te krijgen in de risico's van het eventueel bezwijken van diverse kritische constructieve onderdelen die vastgesteld worden aan de hand van een risicoanalyse en een kwalitatieve beoordeling. Dit betreffen met name constructies en de daarbij behorende bouwkundige invullingen. Overige categorieën, zoals werktuigbouwkundige, leidingtechnische als wel inventaris etc. vallen buiten de scope van het onderzoek.

Voor het onderzoeken van de betreffende constructies gaan wij er vanuit dat bestaande constructieve en geotechnische- gegevens voor handen zijn teneinde een zorgvuldig onderzoek uitgevoerd kan worden. Uitgezonderd de gegevens van de monumentale bouwwerken. Op basis van de verstrekte informatie en geïnventariseerde gegevens zal door Grontmij worden aangegeven of de ontvangen gegevens volledig zijn.

Mochten de gegevens onvolledig zijn dan zal aanvullend onderzoek noodzakelijk zijn. Bijvoorbeeld het opstellen van nieuwe constructietekeningen en berekeningen. Daarnaast zullen voor de grondmechanische controle aanvullende sonderingen nodig zijn. Op dit moment wordt hier niet in voorzien in het PvA en de offerte.

In geval uit de in dit PvA beschreven toetsing *niet* blijkt dat de beschouwde onderdelen met een grote mate van zekerheid voldoende of juist onvoldoende aardbevingsbestendig zijn, dan dient nader vervolgonderzoek te worden uitgevoerd. Op dit moment wordt hier niet in voorzien in de PvA.

1.4 Waarom Grontmij?

Grontmij is een onafhankelijk en multidisciplinair advies- en ingenieursbureau en beschikt over alle benodigde expertise voor dit project. Samenwerken met Grontmij betekent een onafhankelijke, pragmatische, doelgerichte en flexibele aanpak. Het zwaartepunt van het onderzoek ligt

met name op de vakgebieden constructie en geotechniek. Daarnaast zal er ook beroep worden gedaan op andere vakgebieden, zoals bouwkunde, risicoanalyse en leidingsystemen.

Vanuit verschillende projecten binnen Nederland is ervaring met de materie, onder meer:

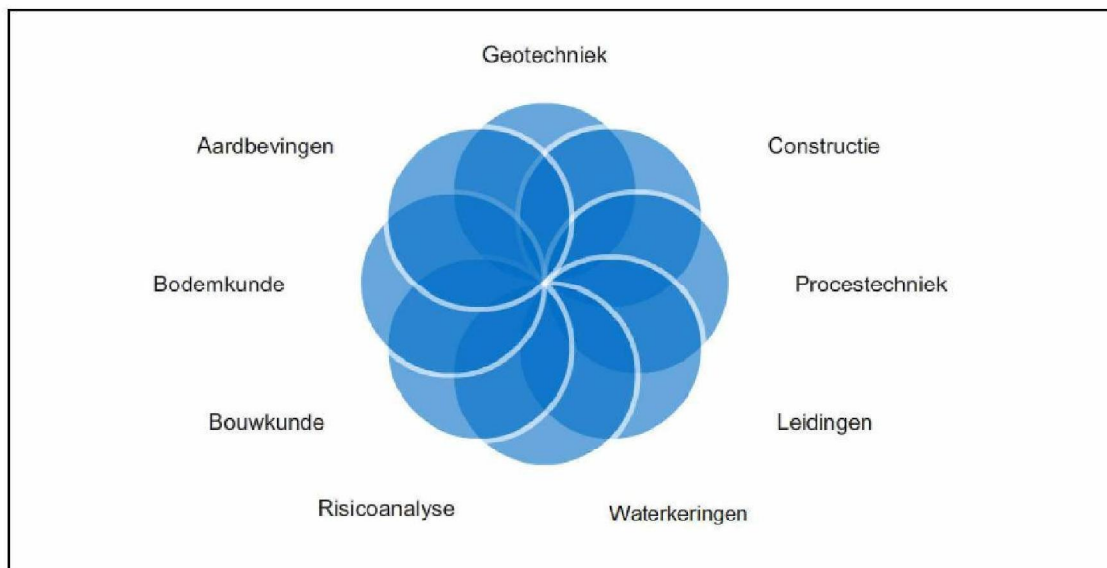
- aardbevingsanalyse A2 Maastricht.
- rapportage Buizenzone Eemsdelta.
- diverse aardbevingsbestendige bouwprojecten, zoals:
 - aardbevingsonderzoek HAT tank NUON te Diemen;
 - gebouw Wuhan New Energy Institute te China;
 - aardbevingsbestendig ontwerp verbetering noordelijke kade Eemskanaal nabij Appingedam.
- diverse geotechnische dynamische analyses voor projecten, zoals:
 - dynamische analyse Spoortunnel Delft;
 - dynamische analyse HSL-zuid;
 - dynamische analyse stabiliteitsverlies spoorbaan Groningen - Waterhuizen.
- Het toetsen van staalconstructies in de chemische industrie op aardbevingsbestendigheid.

De civieltechnische afdeling van Grontmij Turkije heeft ruime ervaring in het berekenen van aardbevingseffecten en aardbevingsbestendig ontwerpen waarbinnen aardbevingsbelastingen worden meegenomen als één van de belangrijkste randvoorwaarden. Dit gebeurt in het constructieve en geotechnische ontwerp conform Eurocode 8 en conform nationale normen zoals Earthquake Code 2007.

Daarnaast is internationaal binnen Grontmij ruime kennis aanwezig op het gebied van aardbevingen. Daar waar nodig zal deze kennis worden gemobiliseerd. De interne kwaliteitscontrole van de toetsingen zal door experts uit Duitsland en Turkije worden uitgevoerd

1.5 Kernteam Aardbevingen Grontmij

Binnen Grontmij is een Kernteam Aardbevingen opgezet dat zich multidisciplinair georganiseerd heeft om enerzijds de advisering over de verschillende disciplines (zie figuur 1.1) uit te voeren en anderzijds het kennisnetwerk te bundelen en beheren.



Figuur 1.1 Disciplines op het gebied van aardbevingen binnen kernteam Aardbevingen Grontmij

De leden van het kernteam Aardbevingen beschikken over een uitgebreid netwerk bij het rijk, gemeentes, provincies en kennisinstituten zoals Deltares, TNO, staalbouwkundig genootschap (TC13 versteviging van bouwwerken), en SBRCURnet.

Onze constructieve- en geotechnische specialisten beschikken over ruim 15 jaar specialistische kennis. Onlangs hebben de specialisten de nieuwste aardbevingscursus Eurocode 8 cursus afgerond. Het kennisnetwerk binnen Grontmij is uitgebreid tot internationaal niveau, zowel op geotechnisch en constructief gebied als op het dat van aardbevingen.

1.6 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 geven wij een beeld van de mogelijke risico's en de analyse. In hoofdstuk 3 staat onze aanpak en in hoofdstuk 4, 5 en 6 beschrijven wij uitgebreid de te volgen werkwijze. In hoofdstuk 7 is een overzicht opgenomen van de in dit Plan van Aanpak gehanteerde normen, richtlijnen en literatuur.

2 Randvoorwaarden en uitgangspunten

2.1 Algemene beschrijving situatie en risico's

De te beschouwen objecten zijn zeer divers en vormen een goed representatief beeld van de bouwwerken in de stad. Bij veel bouwwerken zijn de risico's significant.

Gelet op de in Noord-Nederland steeds vaker voorkomende aardbevingen¹ is een nadere analyse van de seismische effecten op de te beschouwen kritische onderdelen, en de omgeving gewenst. Deze effecten kunnen leiden tot:

- resonantie en excessieve verplaatsingen van constructies met als gevolg schade of bezwijken;
- verweking van de ondergrond door wateroverspanningen in verzadigde ongedraineerde toestand, dit vertaalt zich in grote vervormingen door verdichting van losgepakte zandlagen of verlies aan draagkracht en stabiliteit van funderingen;
- tweede orde-effecten bij stabiliserende elementen;
- ontoelaatbare gevolgen (storingen/schade) voor trillingsgevoelige apparatuur;
- ongewenste onderlinge interacties tussen verschillende leidingsystemen en constructieonderdelen met schade of bezwijken tot gevolg.

In de volgende hoofdstukken worden de te beschouwen effecten nader gespecificeerd voor de te beschouwen constructies.

2.2 Veiligheidsfilosofie

2.2.1 Algemeen

Een risicoanalyse betreft het systematisch analyseren in hoeverre een constructie bestand is tegen de verschillende bedreigingen die het systeem ondervindt, waarbij verschillende scenario's worden beschouwd en waarbij de mate van waarschijnlijkheid en de mogelijke gevolgen in kaart worden gebracht.

Meer concreet betekent dit het uitwerken van de volgende stappen:

- Inventarisatie van de constructie en de omgeving;
- het vaststellen van de bedreiging(en);
- het opstellen van scenario's en de mate van waarschijnlijkheid;
- het schatten van de effecten in termen van slachtoffers, milieu, schade.

Als toetskader worden de volgende wetten gehanteerd:

- Bouwbesluit waarin is voorgeschreven hoe de constructie veiligheid wordt getoetst;
- de Wetgeving voor interne- en externe veiligheid voor vervoer en opslag van GVS;
- de arbowetgeving.

¹ Er kan onderscheid worden gemaakt tussen tektonische en geïnduceerde aardbevingen. Tektonische aardbevingen hebben te maken met de natuurlijke bewegingen van de aardkorst. Geïnduceerde aardbevingen zijn het gevolg van het ingrijpen van de mens, zoals het winnen van gas. De aardbevingen in dit project worden beschouwd als geïnduceerde aardbevingen. De geïnduceerde aardbevingen in Nederland worden gekenmerkt door een beperkte magnitude (1 tot 5 op de schaal van Richter). Het epicentrum bevindt zich relatief ondiep, op circa 2 tot 4 km onder maaiveld. De aardbeving bestaat meestal uit een kortdurende klap of hooguit enkele klappen.

2.2.2 Normen en richtlijnen

In het kader van de Europese eenwording en onderlinge aansluiting van de verschillende ontwerpmethoden van de verschillende EU-lidstaten zijn de Eurocodes 0 t/m 8 van toepassing, conform Bouwbesluit 2012.

Voor Eurocode 7 gelden in Nederland de Nationale Bijlage NEN-EN1997-1/NB en de Aanvullende Bepalingen NEN 9097-1, die samen met NEN-EN1997-1 (algemene regels) als één norm NEN 9997-1 zijn samengevoegd.

Door het ontbreken van de Nationale Bijlage in Eurocode 8 wordt op dit moment in opdracht van het ministerie van Economische Zaken gewerkt aan de NPR (Nationale Praktijk Richtlijn). Deze NPR zal voorlopige basiseisen beschrijven voor de aan te houden veiligheid, de belastingen en advies geven ten aanzien van ontwerpen en/of toetsen van nieuwe gebouwen, voor verbouw en voor de beoordeling van bestaande gebouwen. De publicatie van deze NPR is voorzien kort na de zomer 2014.

Daarnaast is reeds door Deltares en TNO een Handreiking geschreven voor het uitvoeren van studies naar het effect van aardbevingen op de industriële constructies in regio Delfzijl en Eemshaven [21], die hier als toevoeging geldt op Eurocode 8.

De NPR en de Handreiking kunnen worden gezien als een voorloper op de Nationale Bijlage op Eurocode 8 en zullen worden gehanteerd als uitgangspunt bij het onderzoek. Overigens dient daarbij te worden opgemerkt dat een aantal factoren in de NPR en de Handreiking nog niet vaststaan.

Een overzicht van de normen en richtlijnen is opgenomen in hoofdstuk 7.

2.2.3 Veiligheidsklassen (Reliability Class RC)

In NEN-EN 1990 wordt onderscheid gemaakt in veiligheidsklassen (NEN-EN: reliability classes). In de risicoanalyse zullen de veiligheidsniveaus van te beschouwen constructies worden vastgesteld.

2.2.4 Geotechnische categorie

Conform NEN 9997-1 dienen de constructies in een situatie met aardbevingen of onstabiele ondergrond te worden ingedeeld in geotechnische categorieën. In de inventarisatie fase zullen de categorieën worden vastgesteld. In het algemeen zullen voor de geotechnische categorie GC 3 extra proeven of specifiek grondonderzoek worden verlangd of nodig zijn in aanvulling op het reguliere grondonderzoek. Daartoe worden seismische sonderingen aanbevolen. Deze vallen vooralsnog buiten dit onderzoek en zullen indien nodig worden geadviseerd in vervolgonderzoek.

2.3 De te onderzoeken objecten

2.3.1 Uitvraag

Voor het onderzoek is door de gemeente Groningen een selectie gemaakt (mail: 2 juli 2014) van een aantal objecten, die als voorbeeld gelden voor soortgelijke bouwwerken in de stad. Deze selectie betreft:

1. Tasmantoren;
2. Martinikerk;
3. Winkelstraat Herestraat (naastgelegen panden nrs. 35 en 42);
4. Basisschool Engelbert (vervallen);
5. Zorgcentrum Ankemaheerd;
6. Wessel Gansfort college / Heerdenpad;
7. Sportcentrum Kardingje;
8. Lewenborg flat-Lijzijde;
9. Watertoren noord;

10. Hereweg-viaduct;

11. Sluisje Slochterdiep/Eemskanaal;
12. Parkeergarage Ossemarkt;
13. Sontbrug;
14. Ring Oost: kunstwerken;

15. Rioolpersleiding va. Stad Groningen naar Garmerwolde;

16. Flat/verzorgingstehuis Bloemhof;
17. Gemeentelijke boerderij aan de Wolddijk.

2.3.2 *Optionele te onderzoeken objecten*

Naast de bovengenoemde keuze is Grontmij van mening dat bij het optreden van een aardbeving/ramp bepaalde objecten, die bij niet functioneren een maatschappelijke ontwrichting tot gevolg kan hebben, ook nader onderzocht dienen te worden.

Als voorbeeld: de verkeersleidingspost (VL-post) van ProRail, vanuit hier wordt het gehele treinverkeer in Noord Nederland geregeld. Daarnaast ook de objecten zoals de GHOR, bestaande uit brandweer, ambulanceposten en politiebureaus.

In deze offerte stellen wij voor om in aanvulling op de reeds geselecteerde bouwwerken de verkeerspost mee te nemen in belang van het doel van het onderzoek. De GHOR objecten vooralsnog niet, omdat die te divers zijn qua constructieve opzet.



Figuur 2.1 Verkeersleidingspost (VL post) ProRail te Groningen, optioneel mee te nemen in het onderzoek.

3 Aanpak

3.1 Algemeen

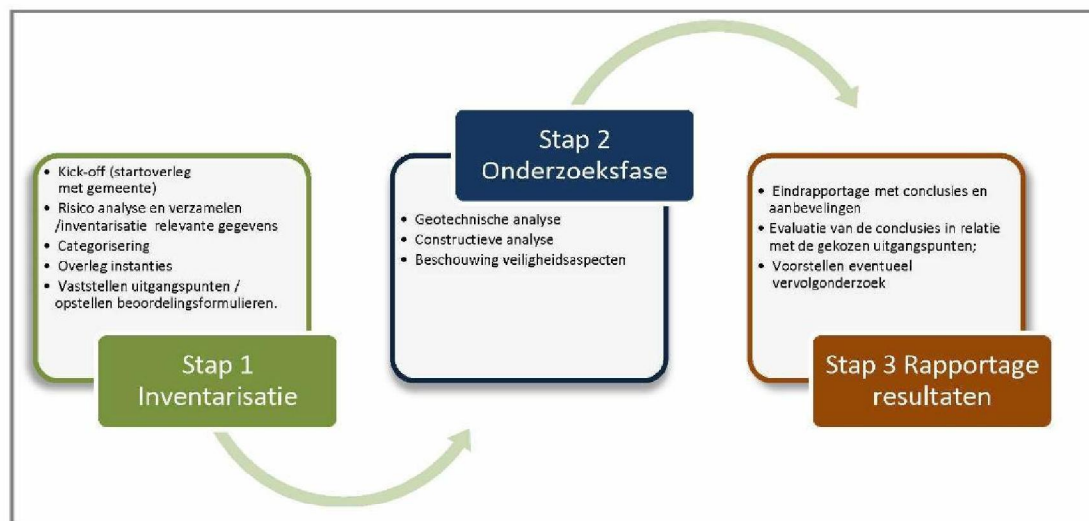
Onze aanpak van het onderzoek binnen het kader van dit PvA is opgebouwd uit drie fasen:

- Fase 1: inventarisatie fase
 - een kick-off meeting met de gemeente;
 - het inventariseren en categoriseren van de te onderzoeken objecten, de geotechnische aspecten van de ondergrond en het bepalen van de te onderzoeken aspecten van de verschillende objecten;
 - een risico en veiligheidsbeschouwing van de objecten;
 - vaststellen van de uitgangspunten, beoordelingscriteria en aspecten en het opstellen van beoordelingsformulieren;
- Fase 2: Onderzoeksfase

In deze fase worden de kwalitatieve geotechnische en constructieve analyses uitgevoerd, voor de in fase 1 geselecteerde kritische onderdelen. Dit betreft uitdrukkelijk een kwalitatief onderzoek, indien nodig ondersteund door lichte ondersteunende analytische berekeningen. De nadruk zal hierbij met name liggen op de veiligheid en zal dus voor de beoordeling de uiterste grenstoestand NC (-Near Collapse) worden gehanteerd.
Als resultaat wordt een kwalitatieve beschouwing gegeven van de veiligheid;
- Fase 3: Rapportage resultaten

In deze fase wordt de rapportage opgesteld op basis van de resultaten vanuit fase 1 en 2. In dit rapport zullen de conclusies van de onderzochte bouwwerken worden gepresenteerd en indien mogelijk aanbevelingen gedaan voor soortgelijke gebouwen, opdat de gemeente inzicht verkrijgt in aardbevingsrisico's .

De beschrijving van de verschillende fasen komt aan de orde in de volgende hoofdstukken. In figuur 3.1 is de opzet van de fasering schematisch weergegeven.



Figuur 3.1 Gefaseerde opzet aardbevingsanalyse

3.2 Diepgang van het onderzoek

Het onderzoek zal plaatsvinden op een kwalitatieve manier, waar nodig ondersteund door enkele aanvullende eenvoudige analytische berekeningen. Het is ondoenlijk en niet nodig in relatie tot het doel van de opdracht om gebouwen geavanceerd en tot in detail uit te rekenen op de impact van een aardbeving.

3.3 Toetsingsonderdelen per categorie constructie

3.3.1 Indeling categorie constructie

Teneinde voor de onderzoeksfase (fase 2) de verschillende risicoaspecten te kunnen bepalen, dienen de te toetsen constructies conform de Handreiking [21] te worden ingedeeld in categorieën. Afhankelijk van de geselecteerde kritische onderdelen geldt de volgende indeling:

- gebouwen;
- ondergrondse leidingen;
- kunstwerken;
- monumenten;

4 Inventarisatie en voorbereiding

4.1 Algemeen

Om een zorgvuldige analyse te kunnen maken zullen de verschillende te onderzoeken objecten worden besproken in een kick-off meeting met medewerkers van de gemeente Groningen. Hierbij worden de meest kritische onderdelen geïnventariseerd.

Aansluitend moeten er een aantal zaken bekend zijn en worden onderzocht op zowel civiel als (werktuig)bouwkundig gebied.

4.2 Risico analyse

4.2.1 Ongewenste gebeurtenissen

Het doel van de risicoanalyse is het systematisch in kaart brengen van de gevaren en veiligheidsaspecten die mogelijk kunnen leiden tot één van de ongewenste gebeurtenissen. Het zal met name bepaald worden door:

- gevaar voor de medewerkers in het betreffende bouwwerk (nader uit te werken welke gevaren dit zijn);
- gevaar voor de omgeving ("externe" veiligheid);
- de mate van maatschappelijke ontwrichting

Ook dient samen met de opdrachtgever een overzicht te worden gemaakt van de kanscategorieën waarbinnen het risico wordt beoordeeld.

Daarna worden in een scenario analyse vanuit de mogelijke gevaren – allen te maken met aardbevingen – de mogelijke gevolgen geïdentificeerd. In de scenario analyse worden vanuit de te onderscheiden basisgebeurtenissen, de mogelijke scenario's in kaart gebracht. Hiermee worden de risico's van de kritische onderdelen vastgesteld.

De bepaalde kritische onderdelen vormen de uitgangspunten voor het geotechnisch en constructief vervolgonderzoek in fase 2 (zie hoofdstuk 5).

4.3 Verzamelen relevante gegevens van de constructies

Voor de te toetsen onderdelen die zijn geselecteerd, dienen de volgende specifieke zaken te worden verzameld en ter beschikking te worden gesteld:

- constructief: bouwkundige tekeningen, constructieve tekeningen, constructieve berekeningen;
- geotechnisch: sonderingen, wijze van fundering, palenplannen, funderingsontwerp en funderingsberekeningen;
- werktuigbouwkunde: leidingwerk (*piping*), drukloze tanks, oplijning van de piping;
- bouwkundige (detail)tekeningen van de niet constructieve onderdelen die van belang kunnen zijn bij een aardbeving.

Op basis van de verstrekte informatie en geïnventariseerde gegevens zal door Grontmij worden aangegeven of de ontvangen gegevens volledig zijn teneinde een zorgvuldige aardbevingsanalyse uit te kunnen voeren.

4.4 Valideren van de kritische delen

De verstrekte informatie en geïnventariseerde gegevens zullen door Grontmij worden getoetst op volledigheid en bruikbaarheid. Indien niet, dan zal worden aangegeven welke aanvullende gegevens benodigd zijn om de werkzaamheden uit dit PVA te kunnen uitvoeren.

4.5 Overleg met instanties

Teneinde de kwaliteit van onze analyse-uitgangspunten te borgen, informeren wij de gemeente en vragen om een goedkeuringsverklaring van de opgestelde uitgangspunten voor de uit te voeren geotechnische en constructietechnische onderzoeken. Na goedkeuring van deze uitgangspunten starten wij met fase 2, de geotechnische en constructieve werkzaamheden.

4.6 Grondonderzoek

Voor de meeste objecten zullen seismische sonderingen vooralsnog niet aanwezig zijn. Voor de kwalitatieve beoordeling in fase 2 dat ook niet nodig zijn. Indien nader onderzoek noodzakelijk blijkt te zijn zal er een seismisch onderzoek moeten worden uitgevoerd. De kosten hiervan zijn vooralsnog niet in deze offerte opgenomen.

5 Geotechnische en constructieve analyse

5.1 Geotechnische analyse

Voor het onderzoek van de aardbevingsrisico's op de gekozen objecten is als eerste de geotechnische analyse van groot belang. Als eerste kunnen er grondmechanische mechanismen optreden die falen van de bouwwerken tot gevolg kunnen hebben. Daarnaast heeft het gedrag van de ondergrond een zeer grote invloed op het (aardbevings-) gedrag van de bovenliggende constructie.

In de geotechnische analyse kunnen de mogelijke soorten risico's goed worden ingeschat. Het is dan ook van belang eerst een gedegen geotechnische analyse uit te voeren, alvorens wordt overgegaan op de constructieve analyse van de opbouw. Hierbij dient de kanttekening te worden gemaakt dat er duidelijk een interactie is tussen het geotechnisch onderzoek en het constructieve onderzoek

5.1.1 Inventarisatie van de bodemopbouw

Aan de hand van het beschikbaar te stellen grondonderzoek wordt de bodemopbouw in het plangebied geanalyseerd en geschematiseerd. De schematisatie is in lijn met NEN 9997-1 (Eurocode 7) [6], NEN-EN 1998-1 (Eurocode 8) [7] en ervaringen met soortgelijke gronden en relevante grondparameters. Daarnaast wordt gebruik gemaakt van de relaties zoals die zijn opgenomen in de Handreiking [21].

De bodemschematisatie omvat de volgende onderdelen:

- vaststellen bodemopbouw;
- vaststellen grondparameters en statische grondeigenschappen op basis van regulier grondonderzoek (elektrische sonderingen, boringen) en gegevens uit TNO-databank en ervaringen (Grontmij-projecten uit omgeving) aan de hand van tabel 2.b van NEN 9997-1;
- vaststellen dynamische grondeigenschappen op basis van (seismische) sonderingen (zoals G_{dyn} en V_s);
- vaststellen grondwaterstand en stijghoogten.

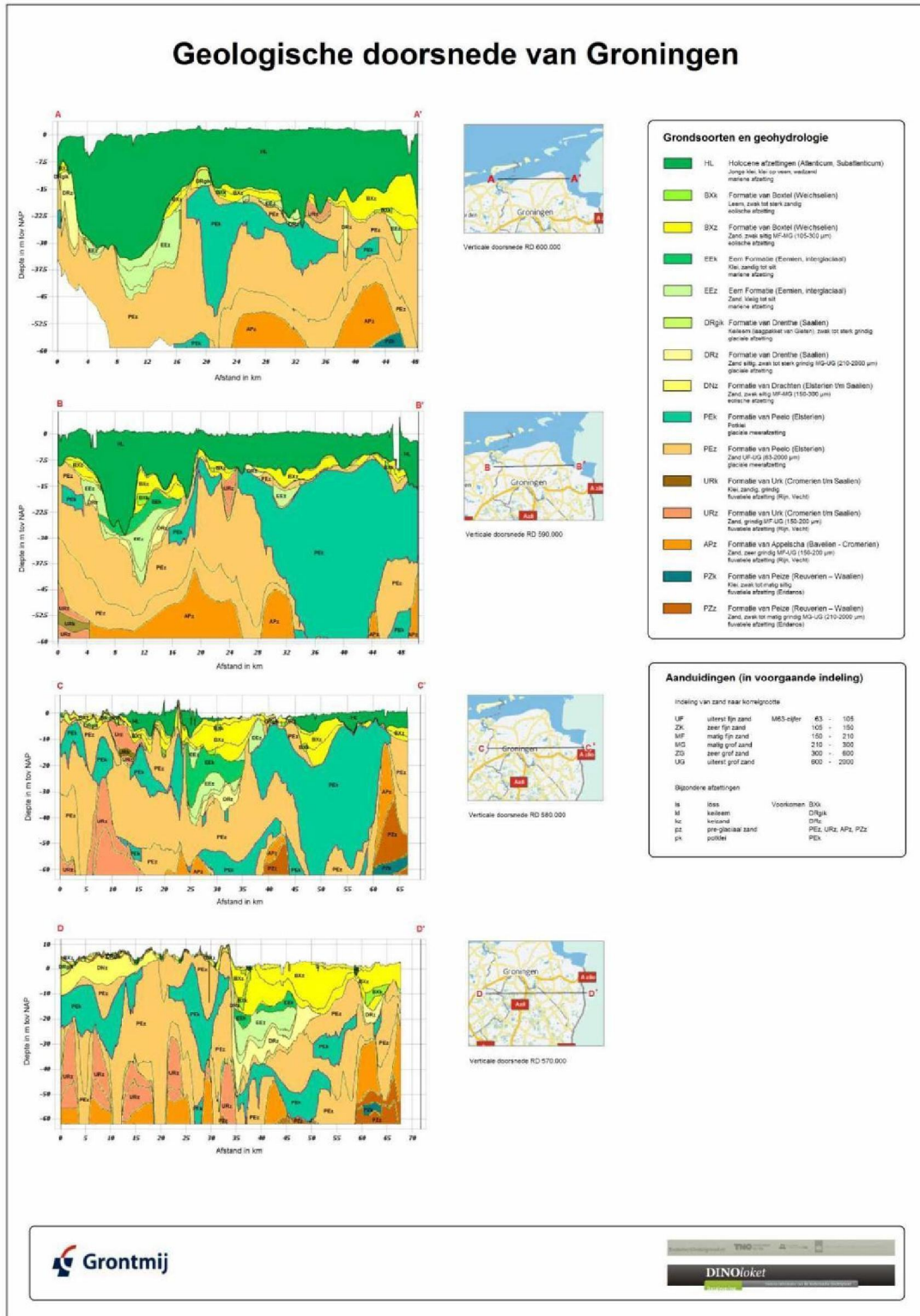
Op basis van gegevens uit TNO-databank is een geologische opbouw verkregen van de ondergrond van Groningen, waaruit een eerste indruk kan worden verkregen van de globale bodemopbouw in een aantal doorsneden. In figuur 5.1 zijn deze geologische doorsneden weergegeven.

Voor het vaststellen van de grondeigenschappen per case zal de bodemschematisatie meer specifiek worden bepaald op basis van de hierboven aangegeven grondonderzoekresultaten uit de beschikbare boringen en sonderingen zoals hierboven in de onderdelen van de bodemschematisatie is aangegeven.

5.1.2 Inventarisatie seismische gegevens

Bij toepassing van eenvoudige (analytische) methoden omvat de inventarisatie van seismische gegevens de volgende hoofdstappen:

- inventarisatie situatie en locaties;
- hazard analyse voor de bepaling van de ontwerpwaarden van de horizontale ontwerpversnelling a_h (= PGA).



Figuur 5.1 Geologische doorsnede van Groningen (grondsoorten en geohydrologie)

5.1.3 Vaststellen respons spectrum voor constructieve analyses

Ten behoeve van de constructieve berekening dient een ontwerpresponspectrum te worden bepaald. Dit spectrum karakteriseert onderlinge invloed van de dynamische eigenschappen van de constructie en de ondergrond in relatie tot de aardbevingsversnellingen. In fase 1 zal dit aan de hand van de Handreiking [21] en de NPR worden vastgesteld. Het responspectrum voor de geïnduceerde aardbevingen wijkt overigens af van de in NEN 1998-1 genoemde spectra.

5.1.4 Effecten van aardbevingsbelasting op funderingen

Voor de te beschouwen constructies dient de fundering (fundering op palen respectievelijk op staal) te worden getoetst aan de optredende aardbevingseffecten. Deze beschouwing zal plaatsvinden op kwalitatieve wijze. Indien nodig zal deze worden ondersteund door enkele analytische aanvullende analyses, waarvan de werkwijze hieronder is aangegeven.

Conform de Handreiking [21] dient voor een fundering op palen de palen tijdens de aardbeving te worden getoetst op sterkte (axiale krachten, dwarskrachten en momenten) en draagkracht (horizontaal en verticaal) op basis van de optredende horizontale en verticale krachten. De krachtwerving op de palen worden getoetst gebruikmakend van het analytische rekenprogramma D-Sheet Piling (*single pile*) of D-Pilegroup (paalgroepen). De horizontale bedding van de grond wordt bepaald met methode Ménard waarbij het effect van verweking conform de Handreiking wordt meegenomen. De draagkracht wordt berekend op basis van een gereduceerde conusweerstand als gevolg van verweking conform de Handreiking, zie ook paragraaf 5.1.5 en 5.1.6.

Voor een fundering op staal dient de seismische draagkracht te worden berekend op basis van bijlage F van NEN 1998-5. Aanvullend daarop dient de weerstand tegen horizontaal glijden tijdens de aardbeving te worden gecontroleerd conform paragraaf 5.4.1 van NEN 1998-5. Tijdens de aardbeving geldt een (mogelijk) beperkte verweking conform de Handreiking. Ook na de aardbeving dient de draagkracht te worden getoetst aan de hand van de verwekingseffecten, zie paragraaf 5.1.5 en 5.1.6.

5.1.5 Mogelijke grondmechanische aspecten:

In het kwalitatieve onderzoek worden de mogelijkheden onderzocht van een aantal bezwijkmechanismen of mogelijkheden van vermindering van draagkracht. Een aantal van deze mechanismen (zonder daarbij volledig te zijn) betreffen:

- verweking van de ondergrond, bij verzadigde, losgepakte zandlagen;
- mogelijke reductie draagvermogen van de ondergrond;
- eventuele uplift door wateroverspanning in de ondergrond;
- mogelijke (ongelijke) zakkingen fundering en scheefstand;
- toename van krachten in de palen (momenten en dwarskrachten);
- reductie macrostabiliteit en optreden van grondverplaatsingen bij grondtaluds;
- invloed op horizontale gronddruk bij kerende constructies, kades, landhoofden e.d.;
- responsie op wanden en funderingen.

De impact van enkele van deze aspecten worden onderstaand verduidelijkt.

Verweking van de ondergrond:

Als gevolg van een aardbeving kan verweking in de ondergrond optreden. 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 zakkingen van funderingen optreden.

De veiligheid tegen verweking wordt bepaald op basis van de methode EERI MNO-12 [39] waarbij deze wordt berekend uit het quotiënt van de cyclische weerstand (CRR) en de cyclische spanning (CSR). In de Handreiking [21] zijn aanvullende bepalingen opgenomen voor de bere-

kening van de veiligheidsfactor voor de situatie specifiek in Groningen. Op basis van de genoemde methode en de aanvullende bepaling in de Handreiking is een rekenmodel gemaakt waarmee de veiligheid op verweking kan worden berekend. Input voor dit rekenmodel is een sondering (en de daaruit te berekenen relatieve dichtheid van de (granulaire) grondlagen).

De kans op verweking neemt snel toe in zandlagen bij bevingen groter dan 0,2 g. Volgens de voorlopige richtlijnen NEN bevindt een groot deel van de stad Groningen zich binnen dit gebied. De eventuele gevolgen kunnen aanzienlijk zijn, wat geïllustreerd wordt door figuur 5.2



Figuur 5.2 Voorbeeld van *liquefaction* van onze Turkse collega's (aardbeving 1999 te Adapazari).

Vermindering draagkracht fundering / uplift:

Als gevolg van het optreden van wateroverspanningen bij verweking in de ondergrond zal de effectieve spanning worden verminderd, zoals hierboven reeds vermeld.

Voor een fundering op palen kan de gereduceerde draagkracht van de verweekte ondergrond in rekening worden gebracht middels een reductie van de conusweerstand conform hoofdstuk 11 van de Handreiking. Naast de reductie van de conusweerstand wordt ook de positieve kleefzone gereduceerd als gevolg van een berekende vergroting van de negatieve kleefzone als gevolg van de zakking door compactie.

Voor een fundering op staal kan de gereduceerde draagkracht van de verweekte ondergrond worden berekend op basis van een gereduceerde hoek van inwendige wrijving conform hoofdstuk 10 van de Handreiking. Daarnaast kan een controle op squeezing plaatsvinden conform de Handreiking.

Tevens kan uit de berekende wateroverspanningen de veiligheid tegen opdrijven worden getoetst in geval van ondergrondse constructies als leidingen, kelders e.d.

Maaiveldzettingen en zakking van funderingen

Als gevolg van compactie kunnen maaiveldzettingen en zakkingen van funderingen optreden. Per sondering kan een inschatting worden gegeven van de zetting (en zettingsverschillen over meerdere sonderingen) op basis van de berekende verdichting.

In geval van vervormingsverschillen in de ondergrond en fundering kunnen de zakkingsverschillen naar de constructies en verbindingen worden bepaald. Deze dienen vervolgens constructief (statisch) te worden getoetst.

5.2 Constructietechnische analyse

5.2.1 Toetsing grenstoestanden

Uiterste grenstoestand (UGT)

De aardbevingsbelastingen en spanningen zullen worden geanalyseerd aan de hand van een kwalitatieve beoordeling en eventueel eenvoudige analytische rekenmodellen waarvan de resultaten gecheckt en getoetst worden conform Eurocode 8. Deze check omvat o.a.:

- de toelaatbare spanningen in de constructie-onderdelen en funderingen in de van te voren bepaalde kritische onderdelen;
- de draagkracht van de ondergrond (zie paragraaf 5.1);
- Aansluitingen op overige constructie onderdelen;

Bij deze check dienen de optredende spanningen onder de toelaatbare te blijven. Dit betekent dat indien aan deze voorwaarden wordt voldaan *de constructie* voldoet aan het uitgangspunt van de veiligheid. Toetsing in de uiterste grenstoestand vindt plaats op basis van de ontwerpwaarde piekversnelling volgens grenstoestand NC (Near Collapse).

Bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT)

In principe wordt zoals eerder vermeld niet getoetst op de bruikbaarheidsgrenstoestand. Indien het wel wordt vereist uit bijvoorbeeld het nationale belang van eventuele gevolgen Zal voor de toetsing worden uitgegaan van de grenstoestand SD (Serious Damage).

Voor de eisen in de bruikbaarheidsgrenstoestand gelden geen algemene vervormings- en zakkings-eisen. Deze zijn specifiek afhankelijk van de gebruiks- en functionaliteitseisen van de constructie. Deze eventuele eisen zullen in de eerste fase met de opdrachtgever worden opgesteld.

5.2.2 Kwalitatieve beoordeling

Voor het beoordelen in welke mate een bouwwerk aardbevingsbestendig is, zijn een aantal principes van belang. Deze principes betreffen de hoofddraagconstructie, of de detaillering. Dit in de constructie, maar betreft ook niet constructieve (bouwkundige) elementen.

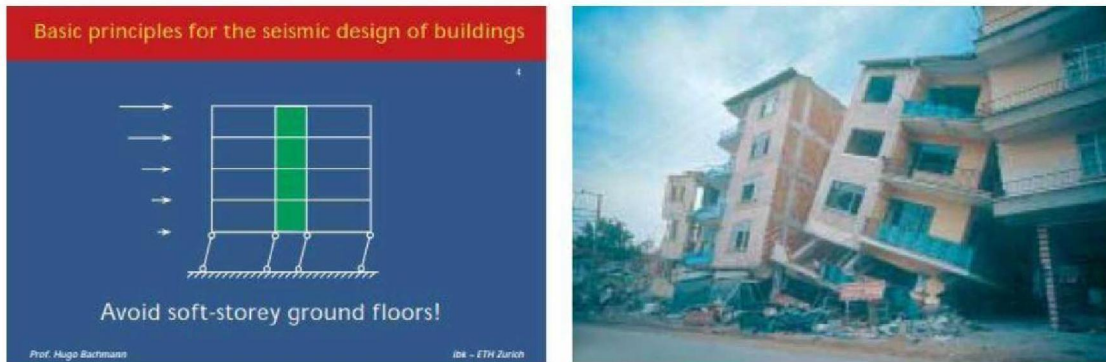
De basis principes zijn op zich relatief eenvoudig, en er kan een goede indruk worden verkregen of het *ontwerp* van een gebouw aardbevingsbestendig is. Bijbehorende berekeningen zijn marginaal en relatief eenvoudig.

5.2.2.1 Normeringen versus kwalitatieve beoordeling

Een aantal van deze principes staan ook in de van toepassing zijn de normeringen, zoals de eurocode en de toekomstige NPR 9998. Deze principes betreffen met name de hoofddraagconstructie, zoals:

- Een regelmatig gebouwworm, zowel in plattegrond als in de verticale doorsnede;
- Regelmaat in de stijfheidsverdelingen van de stabiliteitswanden;
- Regelmatige verdeling van de massa over het gebouw
- Het zwaartepunt van de massa v/h gebouw dient zo veel mogelijk overeen te komen met het Zwaartepunt (dwarskrachtmiddelpunt) van de stabiliserende wanden;
- Stabiliserende elementen dienen zonder onderbreking door te lopen van onder tot boven;

Als voorbeeld van één van de bovenstaande principes het doorlopen van stabiliserende elementen. In veel gevallen (zoals bijvoorbeeld de aangegeven hoeken) zijn de stabiliteitswanden niet of in mindere mate aanwezig op bg nivo en is het stabiliteitsprincipe op een andere manier geregeld. Figuur 5.3 geeft duidelijk de mogelijke consequenties weer:

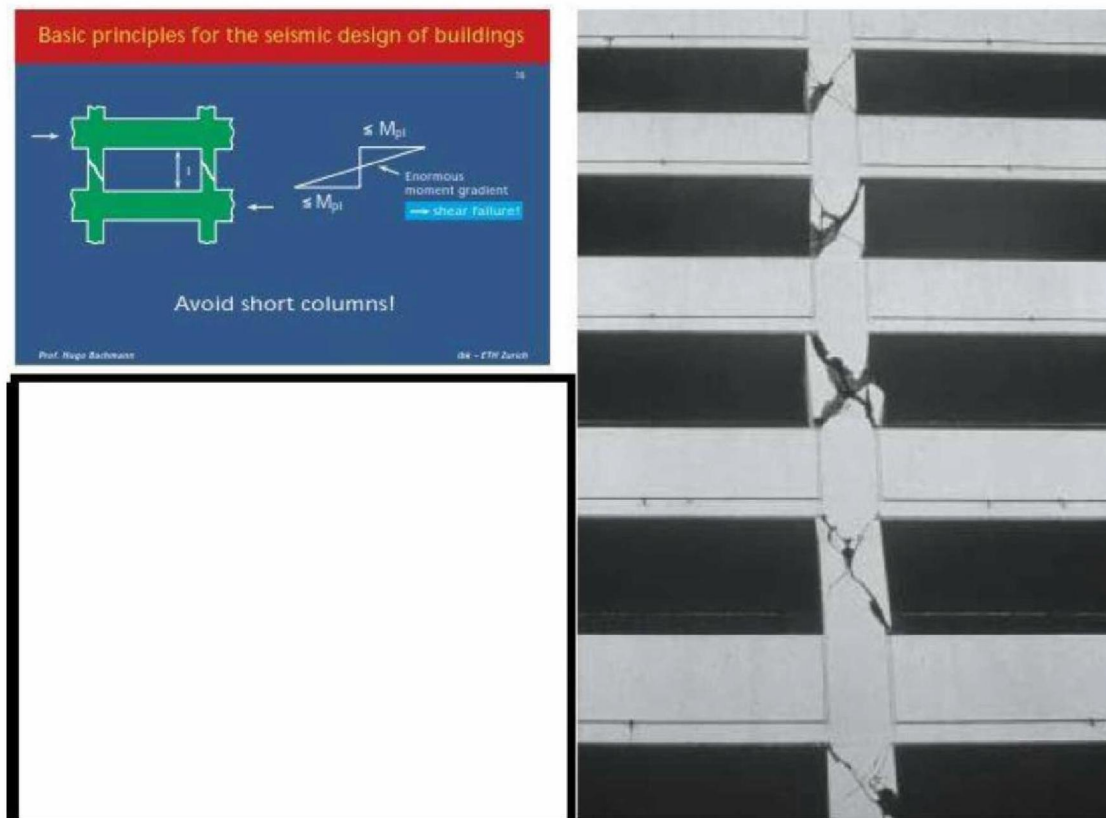


Figuur 5.3 Voorbeeld van het niet doorlopen van stabiliteitswanden op bg nivo

5.2.2.2 Overige principes betreffende de kwalitatieve beoordeling

Naast de genoemde principes die in de normeringen zijn opgenomen zijn er nog een groot aantal andere meer of minder (be)/erkende principes. Zonder volledig te willen zijn onderstaand een paar voorbeelden:

- De stijfheids(ductiliteits)verhouding tussen de kolommen en liggers;
- oversterkte in het gebouw (ductiliteit, tweede draagweg etc.);
- het vermijden van gecombineerde draagconstructie met metselwerk;
- korte kolommen;
- huidige staat van het gebouw;
- hoeveelheid horizontale doorsnedes in relatie tot de (vloer)oppervlak;



Figuur 5.4 Voorbeeld van bezwijken van de draagconstructie t.g.v. korte kolommen

5.2.2.3 Principes ten aanzien van bouwkundige elementen

Ook de bouwkundige elementen zijn belangrijk bij het beoordelen van de bouwwerken op aardbevingsbestendigheid. Een tweetal principes zijn hiervoor van toepassing:

- Diverse bouwkundige elementen (invul(metselwerk) wanden, prefab elementen) zijn van invloed op het gedrag van de hoofd draagconstructie. Bij normale belastingsgevallen (wind, verticale belasting) heeft dit meestal een positief effect. Bij aardbevingen daarentegen kan het averechts werken indien ze op een ongunstige positie staan. Bij voorbeeld als ze het torsie gedrag van het gebouw beïnvloeden.
- Bouwkundige elementen op zich. Bouwkundige elementen, zoals schoorstenen, ornamenten, opgesloten glas etc, kunnen op zich bezwijken bij een mogelijke aardbeving en een gevaar voor de veiligheid vormen. Op het gedrag van de hoofd draagconstructie heeft dit echter geen invloed.

5.2.3 Aanvullende benodigde berekeningen

Op basis van bovenstaande kwalitatieve beschouwing wordt een goede indruk verkregen van de aardbevingsbestendigheid van het gebouw en met name ook van de kritische onderdelen.

Indien er onvoldoende inzicht is verkregen zullen we voorstellen om eenvoudige berekeningen uit te voeren, om de kwalitatieve beoordelingresultaten te ondersteunen. Deze berekeningen zijn additioneel opgenomen in de aanbieding.

5.3 Leidingen

De kwalitatieve beoordeling vindt plaats op basis van een werkwijze geformuleerd in de Handreiking. De spanning in de leidingwand tijdens een aardbeving bestaat uit de som van de initiële spanningen, dit zijn de op dat moment aanwezige spanningen in de leidingen, en de spanningtoename als gevolg van de aardbeving. De vraag is: wat is de kans op schade bij optreden van een aardbeving? Om dit te kunnen beoordelen worden drie onderdelen onderzocht:

- de initiële spanningstoestand van de leiding op het moment van de aardbeving;
- de spanningtoename en vervormingen in de leiding door de aardbeving;
- de kans op schade door de verhoogde spanningen met bijbehorende vervormingen.

Het geheel wordt afgerond met een beschouwing van de kans op schade ten opzichte van het vereiste veiligheidsniveau.

5.4 Veiligheid

De geotechnische- en constructieve onderzoeken zullen worden geanalyseerd in het licht van de doelstellingen, op het gebied van de vereiste veiligheid en het maatschappelijke belang.

6 Resultaten

6.1 Rapportage

De resultaten van de alle genoemde werkzaamheden zullen in rapportvorm worden gepresenteerd. Zowel de conceptrapportage als de definitieve rapportage zal in drievoud worden aangeleverd. De rapportages worden vertrouwelijk opgesteld en blijven eigendom van de Gemeente Groningen.

Tussentijds zullen er tussenresultaten worden besproken en reviews gehouden met de Civielingenieurs en buiteninspecteurs van de gemeente, om zo de opdrachtgever te informeren en gezamenlijk het project in goede banen te leiden.

De volgende rapportages worden opgesteld:

- Uitgangspuntenrapport (ten behoeve van aardbevingonderzoek) en het bepalen van de kritisch te beschouwen onderdelen (document fase 1);
- Rapportage veiligheidsaspecten, zoals beschreven in paragraaf 4.2.;
- Geotechnische rapportage met de resultaten van de analyses zoals beschreven in paragraaf 5.1.;
- Constructietechnische rapportage met de resultaten van de analyses zoals beschreven in paragraaf 5.2 en voor de leidingen in paragraaf 5.3.
- Rapportage omtrent de veiligheid en het maatschappelijk belang, als gevolg van bovenstaande rapporten;
- Conclusies en een aanbevelingenrapportage, met daarin de bandbreedte aangeven;
- Het aangeven van knelpunten en aanbevelingen voor eventueel vervolgonderzoek.

6.2 Kennistransformatie

Het overdragen van kennis aan de medewerkers van de gemeente Groningen laten we plaatsvinden in een viertal stappen:

1. het houden van een aantal lezingen door Grontmij;
2. het gezamenlijk inventariseren en het opstellen van (een aantal) beoordelingsdocumenten;
3. het gezamenlijk invullen van de beoordelingsdocumenten en beoordelingsbezoeken aan de desbetreffende gekozen objecten;
4. het houden van een evaluatieoverleg van de bevindingen.

Ad 1) het houden van een aantal lezingen door Grontmij

Door Grontmij zal een drietal lezingen van +/- 1 uur en 1 uur (na)overleg worden georganiseerd voor medewerkers van de gemeente Groningen. De lezingen betreffen:

- een algemene introductie lezing over geïnduceerde aardbevingen in Groningen;
- een lezing over grondmechanische eigenschappen en gevolgen die van belang zijn bij een aardbeving;
- een lezing over de constructieve aandachtspunten in het algemeen, waarbij op moet worden gelet bij de berekeningen van aardbevingen en de mogelijke schadegevallen en ervaringen van Grontmij.

Ad 2) Het inventariseren en opstellen van beoordelingsdocumenten.

Voor het beoordelen van de constructies dienen de relevante gegevens aanwezig te zijn. Gezamenlijk zullen dezen worden vastgesteld. Voor de te onderzoeken objecten moet een beoordelingsformulier worden opgesteld. Voor een tweetal te onderzoeken objecten stellen wij voor dit gezamenlijk met medewerkers van de gemeente te doen (maximaal 4 sessies).

Ad 3) Invullen van de beoordelingsdocumenten en beoordelingsbezoeken

Voor het invullen van de kwalitatieve beoordelingsformulieren moet ook objecten worden beoordeeld aan de hand van de beschikbare gegevens en een werkbezoek. Ook hier stellen we voor dit voor een tweetal objecten gezamenlijk uit te voeren (2 sessies en 2 werkbezoeken).

Ad 4) Evaluatieoverleg van de bevindingen

Het evalueren van de resultaten van het onderzoek zal gezamenlijk plaatsvinden door medewerkers van de gemeente Groningen en Grontmij.

7 Literatuur

7.1 Regelgeving, normen en handleidingen

- [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] 2003 International Existing Building Code, ISBN 1-892395-89-4, IL 60478-5797, USA
- [14] NEN-EN 14015:2004, Specification site built vertical cylindrical steel tanks for storage of liquids at ambient temperature, ICS 23.020.10 (informatief)
- [15] EN 13480-3:2012 (E) issue 2(2013-08) Annex A, Dynamic analysis

7.2 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).

7.3 Andere publicaties

- [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 & Vrancis, 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