

**concept**

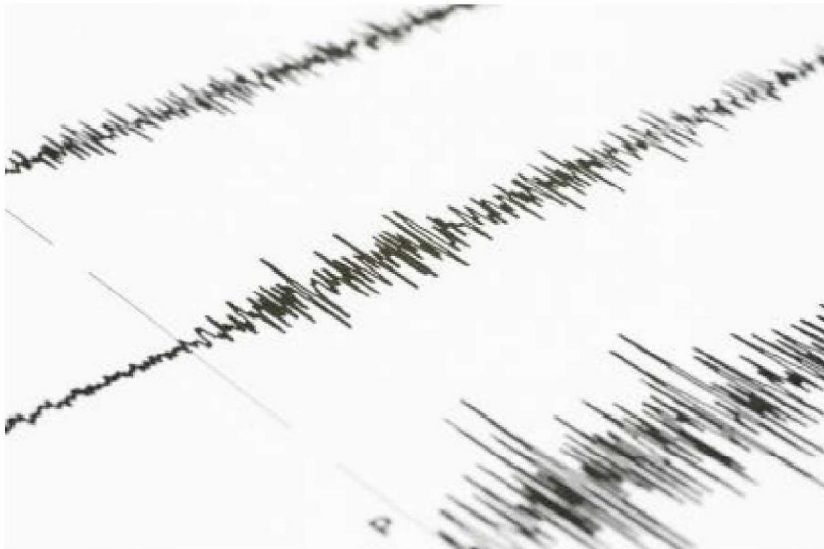
5.1.2e

Postadres  
Bezoekadres  
E-mail  
Telefoon

lid NIngenieurs  
lid NIngenieurs  
Postbus 24, 9750 AA Haren  
Rummerinkhof 6, Haren  
info@wassenaarbv.nl  
050 - 534 73 45

## Aardbevingen en de EnTranCe

### Hanzehogeschool



## Inleiding

Op verzoek van Dhr. **5.1.2e** Hanzehogeschool hebben wij deze notitie geschreven. Enerzijds handelt deze notitie over het begrip aardbevingen en constructieve veiligheid algemeen, daarna een aantal overwegingen met betrekking tot het ontwerp van de Entrance.

Recent is er grote aandacht ontstaan voor het onderwerp 'aardbevingen als gevolg van gaswinning' en wat de eventuele gevolgen en mogelijke maatregelen kunnen zijn.

De Zernike Campus is gelegen in het risicogebied en heeft plannen voor bouw van EnTranCe in Zernike noord. Vanzelfsprekend speelt deze aardbevingsproblematiek ook voor de bestaande bebouwing. De overheid en de NAM zijn op dit moment bezig met het verkennen van eventuele noodzakelijke preventieve maatregelen voor alle bestaande bebouwing in het risico gebied. De bestaande bebouwing valt echter buiten het kader van deze notitie.

De nieuwbouw van de Entrance is inmiddels aangevangen en gevorderd tot en met de begane grondvloer. Deze notitie gaat in op de vraag wat het wettelijke kader is voor het aardbevingbestendig bouwen en een grove verkenning over de aardbevingbestendigheid van het huidige ontwerp van de EnTranCe.

De overheid en de NAM spannen zich gezamenlijk in om de aardbevingsproblematiek te doorgronden en om adequate maatregelen te ontwikkelen teneinde bestaande schade te repareren en toekomstige schade zoveel mogelijk te voorkomen. De opgedane kennis is door de Rijksoverheid grotendeels vrijgegeven. Deze kennis is erg technisch en specialistisch en voor leken moeilijk te duiden. Daarnaast verschijnen in de media regelmatig artikelen van personen die hun eigen 'oplossingen' hebben om gebouwen aardbevingsbestendig te maken. Die artikelen zijn niet altijd even consistent en betrouwbaar en dat leidt tot twijfel over wat nu de beste strategie is om gebouwen beter bestand te maken tegen aardbevingen.

De NAM heeft het internationale ingenieursbureau ARUP opdracht gegeven om de gevolgen van de aardbevingen op bestaande panden te onderzoeken en het ontwikkelen van nieuwe regelgeving voor "Groninger aardbevingen". Ingenieursbureau Wassenaar en ABT werken samen met Arup om de kennis verder te ontwikkelen.

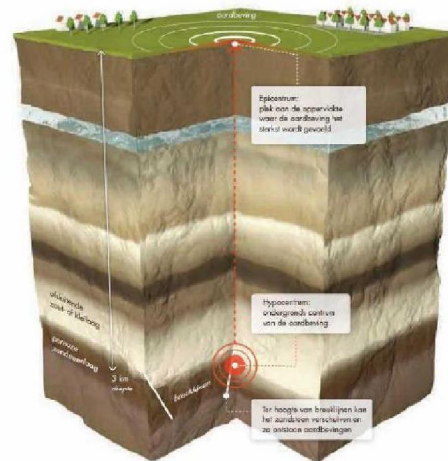
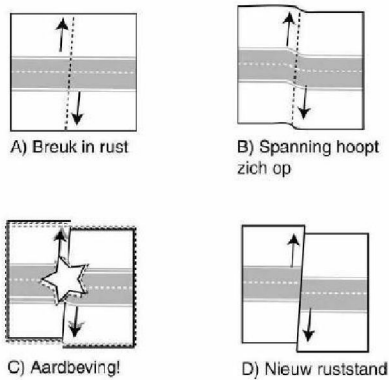
In deze notitie zullen we de relatie tussen aardbevingen en schade aan bebouwing uitleggen aan de hand van de stukken die door de Rijksoverheid openbaar zijn gemaakt. We gaan daarbij niet al te diep in op de technische details.



## concept

### Algemeen

Een aardbeving is een trilling of schokkende beweging van de aardkorst.



Aardbevingen zijn onder te verdelen in twee

- tektonische bevingen (ontstaan op grote diepte door natuurlijke oorzaken)
- geïnduceerde bevingen (ontstaan relatief ondiep als gevolg van kolen-, olie- of gaswinning).

soorten:



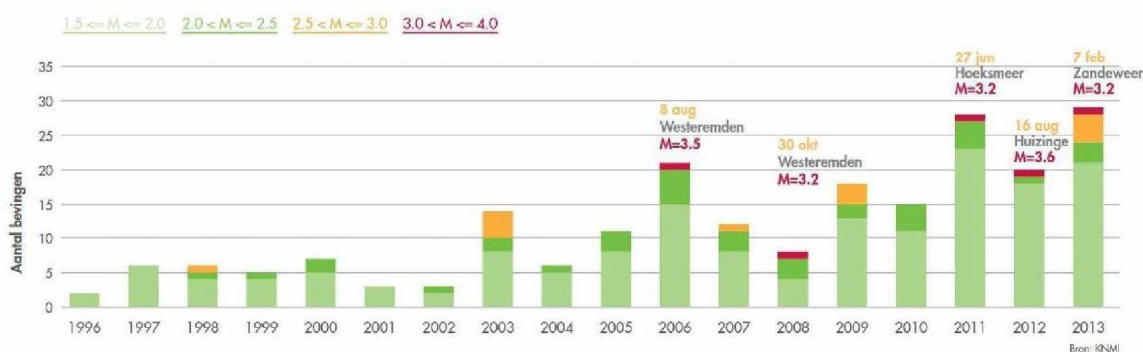
Bovenstaand kaartje toont de aardbevingen in en rond Nederland. In Groningen is sprake van geïnduceerde bevingen door gaswinning.

## Regelgeving

Elk gebouw in Nederland moet voldoen aan het bouwbesluit. Het bouwbesluit stuurt een aantal normen aan waarin de technische uitgangspunten staan geformuleerd. Rekenkundig wordt een aardbeving gezien als een 'bijzondere belasting'. Om te beoordelen of een constructie bestand is tegen een aardbeving dient deze te worden berekend op de belastingen die door de normen zijn voorgeschreven.

Het huidige bouwbesluit (2012) schrijft de Eurocode als norm voor. De Eurocode kent weliswaar een specifieke aardbevingsnorm (NEN-EN 1998, Eurocode 8), maar deze is niet bindend. Voor geïnduceerde aardbevingen zoals in Groningen heeft de NEN commissie sinds 14 mei 2014 een voorlopige ontwerprichtlijn gepubliceerd (een zogenaamde nationale bijlage op nationale Annex, waarin de noodzakelijke informatie staat voor de constructeur om op aardbevingsbestendigheid te toetsen).

Deze voorlopige ontwerprichtlijn mag van toepassing worden verklaard door opdrachtgevers maar wordt de eerste tijd (ca. twee jaar) niet aangestuurd door het bouwbesluit.



## De zwaarte van de aardbeving

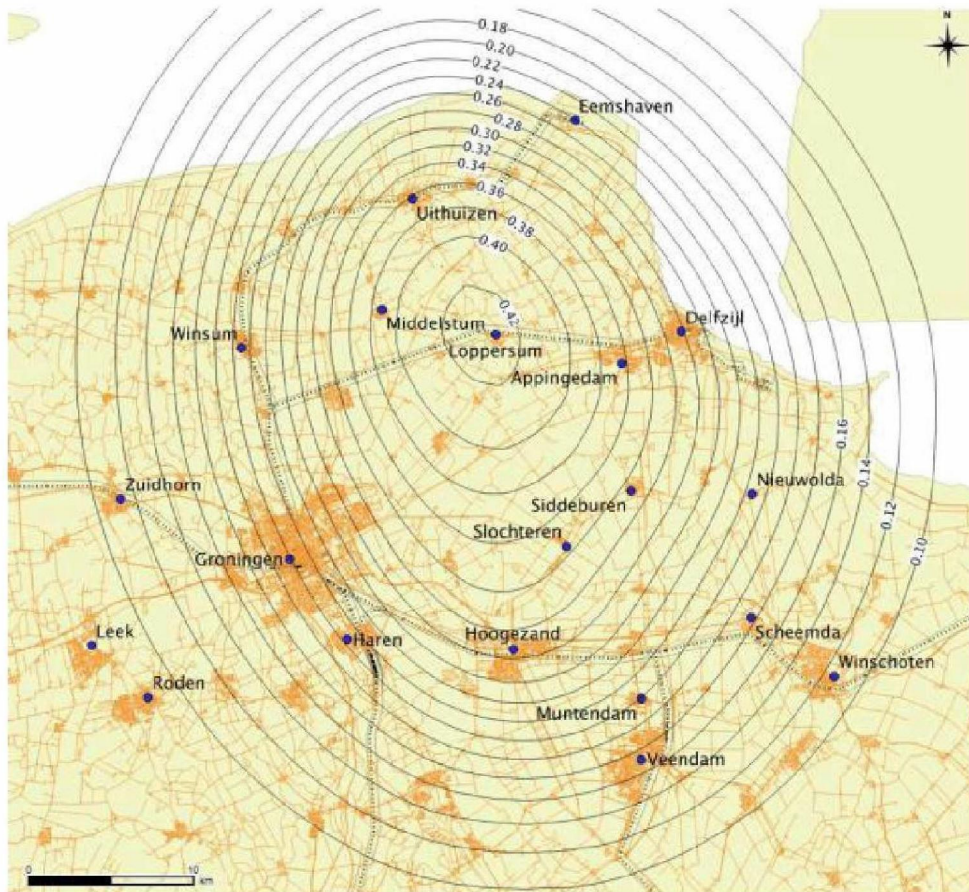
De NEN-EN 1998 gaat uit van de zwaarste aardbeving die eens in de 475 jaar voorkomt in het betreffende gebied. Dat betekent dat er een kans van 10% is dat zo'n aardbeving voorkomt in een periode van 50 jaar (de referentieperiode van een woning). Voor Groningen is berekend dat die wel eens een kracht van 5 op de schaal van Richter kan hebben. Hieronder is een tabel aangegeven met welke frequentie en zwaarte er aardbevingen ergens op de wereld optreden.

| Richter-sterkte | Effecten  | Frequentie      |
|-----------------|---|-----------------|
| minder dan 2,0  | Microbeving, onvoelbaar   | 8000 per dag    |
| 2,0 - 2,9       | Onvoelbaar maar wel te meten  | 1000 per dag    |
| 3,0 - 3,9       | Vaak voelbaar, maar veroorzaakt slechts zelden schade   | 49.000 per jaar |
| 4,0 - 4,9       | Voorwerpen in huis schudden, rammelende gebuiden, grote schade is onwaarschijnlijk  | 6200 per jaar   |
| 5,0 - 5,9       | Kan in kleine gebieden flinke schade aanrichten bij slecht gebouwde huizen. Op zijn hoogst lichte schade aan stevige gebouwen | 800 per jaar    |
| 6,0 - 6,9       | Schade aan gebouwen in een gebied tot 150 kilometer doorsnee  | 120 per jaar    |
| 7,0 - 7,9       | Grote schade in grotere gebieden  | 18 per jaar     |
| 8,0 - 8,9       | Uitgebreide verwoesting in gebieden tot honderden kilometers groot  | 1 per jaar      |
| 9,0 en groter   |   | 1 per 20 jaar   |

Deze schaal van Richter geeft echter geen duidelijkheid over de zwaarte van de aardbeving hoe we die beleven aan het aardoppervlak. De geïnduceerde aardbeving in Groningen vinden plaats op een diepte van ca. 3 km. Deze zijn dan ook veel heftiger dan een zelfde beving op de schaal van Richter op een diepte van 30 km wat bij tektonische aardbevingen veel het geval is.

## concept

Richter is echter geen geschikte maatstaf om gebouwen mee te berekenen. Daarvoor is de term PGA beter geschikt (PGA= Peak Ground Acceleration). Voor verschillende epicentra is berekend wat de PGA in de omgeving zal zijn. Alle epicentra samen leveren voor heel Groningen een voorlopige verdeling op volgens onderstaand kaartje (bron: voorlopige ontwerprichtlijn 15 mei 2014).



De stad Groningen valt grotendeels in de zone met een PGA van 0,2g. De PGA loopt in grootte op richting het noordoosten. Lewenborg, Beijum en Meerstad liggen in gebied PGA=0,3g. De Zernike Campus ligt geheel in het gebied ca. PGA= 0,24g. De maximale grootte wordt bereikt rondom Loppersum (PGA = 0,42g).

Afhankelijk van het type gebouw gaat hier nog een coëfficiënt overheen (gamma).

Deze coëfficiënten(gamma) zijn statistisch bepaald aan de hand van een risico analyse mbt persoonlijke ongelukken of erger.

Gebouw:

CC1A: schuur of bedrijfshal

CC1B: woningen

CC2: kantoorgebouwen

CC3: bijeenkomst gebouwen met kans op de aanwezigheid van meer dan 500 personen of kritische gebouwen tbv de hulpverlening.

Er wordt in de voorlopige ontwerprichtlijn geadviseerd scholen in te delen in klasse CC3!

Bovenstaande kaart en gebouwclassificatie-tabel zijn overgenomen uit de voorlopige ontwerprichtlijn. (zie bijlage).

Tabel 1: Herhalingstijd, waarde van importance factor en q-factor voor de verschillende grenstoestanden.

| Nieuwbouw en verbouw van constructies |   |                |  |   |                |                           |
|---------------------------------------|---|----------------|--|---|----------------|---------------------------|
| Gevolg-<br>klasse                     | Grenstoestand                                   |                |  |   |                |                           |
|                                       | Near Collapse (NC)                              |                |  | Significant Damage (SD)                         |                |                           |
|                                       | $P(a_d > \gamma_I \cdot a_{d,ret})$<br>[1/jaar] | $\gamma_I$ [-] | q-factor [-]                                       | $P(a_d > \gamma_I \cdot a_{d,ret})$<br>[1/jaar] | $\gamma_I$ [-] | q-factor [-]              |
| CC1A                                  | -   | 0,9            | Waarden uit NEN-EN 1998-1 vermenigvuldigd met 1,33 | -   | 0,68           | Waarden uit NEN-EN 1998-1 |
| CC1B                                  | $5 \cdot 10^{-4}$                               | 1,58           | Waarden uit NEN-EN 1998-1 vermenigvuldigd met 1,33 | $1,4 \cdot 10^{-3}$                             | 1,18           | Waarden uit NEN-EN 1998-1 |
| CC2                                   | $2,5 \cdot 10^{-4}$                             | 1,91           | Waarden uit NEN-EN 1998-1 vermenigvuldigd met 1,33 | $8,3 \cdot 10^{-4}$                             | 1,43           | Waarden uit NEN-EN 1998-1 |
| CC3                                   | $8,3 \cdot 10^{-5}$                             | 2,48           | Waarden uit NEN-EN 1998-1 vermenigvuldigd met 1,33 | $3,3 \cdot 10^{-4}$                             | 1,86           | Waarden uit NEN-EN 1998-1 |
| Gevolg-<br>klasse                     | Grenstoestand                                   |                |  |   |                |                           |
|                                       | Damage Limitation (DL)                          |                |  |   |                |                           |
|                                       | $P(a_d > \gamma_I \cdot a_{d,ret})$<br>[1/jaar] | $\gamma_I$ [-] | q-factor [-]                                       |   |                |                           |
| CC1/2/3                               | $10^{-2}$                                       | 0,52           | 1,0  |   |                |                           |

### Algemene risico's bij aardbevingen

Aardbevingen kennen twee belangrijke risico's:

1. veiligheidsrisico voor mensen die getroffen worden door vallende bouwdelen of zelfs bedolven worden onder puin
2. schaderisico aan gebouwen variërend van lichte scheurvorming tot blijvende ontwrichting of zelfs gehele instorting

Op dit moment gaat de aandacht primair uit naar het veiligheidsrisico: als een aardbeving plaatsvindt moeten mensen de tijd hebben het gebouw veilig te verlaten (life-safety) en mogen gebouwen die op aardbevingen berekend zijn niet instorten. Als er getoetst wordt volgens de Eurocode bestaat daarover voldoende zekerheid.

Een gebouw mag na de aardbeving echter wel flink beschadigd zijn. Uitgangspunt is dus niet dat gebouwen een aardbeving volledig zonder schade moeten kunnen doorstaan. Na afloop van een aardbeving moet het gebouw opnieuw beoordeeld worden op bruikbaarheid en veiligheid.

## concept



Dit is te vergelijken met de situatie bij brand waarbij de bewoners voldoende tijd moeten hebben om een brandend pand te verlaten. Een brand veroorzaakt echter wel schade en elk gebouw moet na een brand worden gecontroleerd op veiligheid.

Als we hierna spreken over 'aardbevingsbestendig' bedoelen we dat het veiligheidsrisico aanvaardbaar is. Het schaderisico blijft grotendeels buiten beschouwing.

### Aardbevingsbestendig

Gebouwen kun je op twee manieren aardbevingsbestendig maken:

- Maak een stijf gebouw. Het gebouw vervormt tijdens een aardbeving maar weinig, maar de krachten op het gebouw zijn groot waardoor de constructieve elementen bijzonder sterk moeten zijn. Door de geringe vervorming is de schade aan niet-constructieve elementen laag (zoals gevelbekleding).
- Maak een flexibel gebouw. Het gebouw vervormt tijdens de aardbeving sterk, maar de krachten op het gebouw zijn laag, waardoor de constructieve elementen niet zo sterk hoeven te zijn. Door de grote (en blijvende) vervorming is de schade aan starre, niet-constructieve elementen aanzienlijk.

De stijfheid van het gebouw is niet alleen van invloed op de kracht op het gebouw zelf, maar ook op de inventaris en op de bewoners. Dit is vergelijkbaar met het verschil tussen auto's van vroeger en van nu. Vroeger trachtte men auto's zo sterk te maken dat ze een botsing zonder schade konden doorstaan, maar de bestuurder bleek een alsmaar grotere klap op te moeten vangen hetgeen meestal fataal was. Tegenwoordig maken we de auto's flexibel (kreukelzone) waardoor de klap voor de bestuurder een stuk geringer is. Die brengt het er eerder levend van af, maar de auto moet wel worden gerepareerd (of is total loss). Bij aardbevingen geldt dat in een stijf gebouw de boekenkast eerder omvalt dan in een flexibel gebouw. Variant a) zal in de regel een hogere investering vooraf vergen. Variant b) zal in de regel meer herstelkosten geven. Op voorhand is niet aan te geven welke manier de voorkeur geniet. Dat hangt af van:

- de gebruikte materialen
- het type gebouw
- de hoogte van het gebouw
- de hoeveelheid wanden
- de bouwkundige afwerking
- de fundering
- etc.

### Praktische maatregelen

Naast een rekenkundige benadering kunnen er een aantal praktische maatregelen gehanteerd worden die gebouwen beter aardbevingsbestendig maken, zoals:

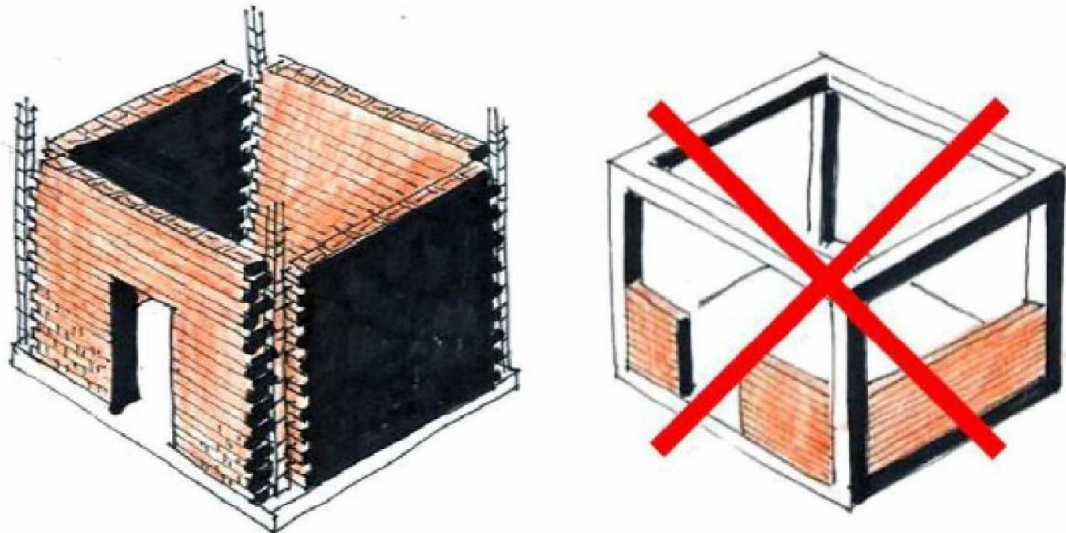
- zorg voor een eenvoudige draagstructuur  
Bij complexe draagstructuren leiden de (bij aardbevingen onvermijdelijke) vervormingen vaak tot

## concept

onverwachte spanningspieken. Eenvoudige, liefst symmetrische, structuren zijn meer voorspelbaar in hun gedrag.

- breng meer verband aan tussen constructiedelen  
Personen lopen vaak letsel op omdat bouwdelen onderling hun samenhang verliezen terwijl de onderdelen zelf bezwijken. Bijvoorbeeld een vloer die naar beneden valt omdat de dragende wand er onder vandaan schuift.
- maak geen gebruik van scheurgevoelige elementen (zoals bv. metselwerk)  
Dat geldt niet alleen voor de dragende delen, maar ook voor gevelbekleding, binnenwanden etc.
- bouw zo licht mogelijk  
Des te zwaarder het gebouw is, des te groter is de kracht van de aardbeving op dat gebouw. En zware gebouwen zijn niet per definitie sterke gebouwen.
- breng overcapaciteit aan in de fundering.  
Paalfunderingen zijn relatief zwakke elementen die door de heftige trillingen gemakkelijk kunnen breken. Het wegvallen van een aantal palen kan leiden tot instorting.

In landen met veel (tektonische) aardbevingen zijn in de loop der tijd allerlei praktische richtlijnen ontstaan. Als voorbeeld een methode die in Griekenland, China en Zuid-Amerika wordt toegepast om gemetselde wanden te versterken met een frame van gewapend beton. Het bijbehorend praktisch advies luidt: eerst de wand metselen en dan de beton storten (niet andersom)



In Nederland is nog geen ervaring hoe de hier gangbare bouwmethoden (denk aan spouwmuren, tunnelbouw, prefab casco's, etc) op praktische wijze kunnen worden aangepast teneinde de aardbevingsbestendigheid te vergroten.



## **Wat kan het aardbevingbestendig ontwerpen betekenen voor het ontwerp van Entrance?**

### **Een eerste inschatting van de aardbevingsbelasting:**

Een eventuele aardbevingstrilling kan, afhankelijk van een groot aantal variabelen, omgerekend worden naar een horizontale belasting. Deze horizontale belasting is onder andere afhankelijk van het gewicht van het gebouw en stijfheid van de stabiliserende kernen.

Met als uitgangspunt de huidige opgave van de voorlopige richtlijn en de tektonische aardbeving rekenmethodieken (uit de Eurocode 8) moeten we de PGA (Peak Ground Acceleration) van 0,24g (=2,4m/s<sup>2</sup>) aanhouden. Rekening houdend met het respons spectrum van het gebouw en de veiligheidsfactoren conform gebouw classificatie kunnen we het gebouw controleren op aardbevingen.

Door middel van een grove benadering kunnen we de horizontale belasting op het gebouw bepalen. Ter indicatie: deze belasting is ca. het 8 a 10-voudige van de horizontale windbelasting op het gebouw.

De aardbevingsbelasting is conform de voorlopige ontwerprichtlijn dusdanig groot dat het gebouw Entrance bij lange na niet voldoet aan de gevraagde aardbevingsbestendigheid.

De volgende maatregelen zijn minimaal noodzakelijk:

- Windverbanden zijn onvoldoende sterk en stijf
- Kolommen die onderdeel van windverband zijn moeten worden verzwaaard
- Er zijn meer windverbanden en dikkere buizen noodzakelijk
- Er komt trek op de palen, deze zijn hier niet op ontworpen; palen bij plaatsen?
- Schijfwerking in alle vloeren realiseren (druklaag op elke verdieping en dak toepassen)
- Zoektocht naar de zwakste schakel en zo nodig aanpassen
- Inleiding aardbevingsbelasting uit de omgeving het gebouw in via funderingsconstructie: maatregelen?

Daarnaast is verder onderzoek (cq ontwikkeling van oplossingen) noodzakelijk naar de glaskap en overgang naar de kleine loods.

Deze maatregelen zijn dusdanig ingrijpend dat dit niet gaande de uitvoering aangepast kan worden. Als het ontwerp gewijzigd gaat worden in een aardbevingsbestendige uitvoering, dan moet de bouw stil gelegd worden omdat er substantiële aanpassingen aan het gebouw noodzakelijk zullen zijn. Er zijn dan ook twee (drie) mogelijkheden:

1. Het huidige ontwerp wordt ongewijzigd uitgevoerd. De overheid toetst de eerste jaren niet op aardbevingbestendigheid. Eventuele maatregelen om het gebouw later alsnog aardbevingsbestendig te maken worden meegenomen in de aanpak van alle andere bestaande gebouwen op de Zernike campus van de Hanzehogeschool. Indien gewenst kunnen we bepalen welke aardbevingsbelasting het huidige gebouw kan opnemen.
2. De uitvoering van het gebouw wordt stilgelegd. Wij bepalen zo snel mogelijk de noodzakelijke maatregelen, stemmen deze maatregelen af met het ontwerpteam (architect en adviseur installaties), produceren werktekeningen ten behoeve van de uitvoering. Uitgangspunt bij dit ontwerp is dan de voorlopige ontwerprichtlijn NEN dd 15 mei 2014. (dus volledig aardbevingsbestendigheid op basis van huidige richtlijn).
3. De uitvoering wordt stilgelegd en er wordt een lichtere aardbevingseis afgesproken. Deze eis is dan natuurlijk zeer arbitrair. Elke waarde tussen het huidige ontwerp en volledig aardbevingsbestendig is

## concept



dan natuurlijk mogelijk. Wij willen deze benadering echter niet adviseren, maar indien u deze keuze maakt wel doorrekenen en in het ontwerp verwerken. De keuze voor deze variant zal afhankelijk zijn of een substantieel deel van het huidige ontwerp hergebruikt zal kunnen worden, terwijl bijvoorbeeld voor de volledige oplossing veel minder hergebruikt kan worden.

Een maatregel welke de aardbevingsbelasting op het gebouw substantieel terugbrengt is het verlagen van het gewicht van het gebouw. Wij denken dan met name aan het vervangen van een zwaar betondak (gekozen vanwege de klimaatbeheersing) in een stalen dak. Wellicht moet dan het installatieontwerp nog aangepast worden om een aangenaam binnenklimaat in de zomer te kunnen garanderen. Deze maatregel beperkt de aardbevingsbelasting aanzienlijk. Graag vernemen wij of dit bespreekbaar is.

Het publiceren van de voorlopige richtlijn aardbevingsbestendig ontwerpen werd al enige weken verwacht. Wij hebben dan ook een team gezamenlijk met ABT geformeerd die direct met de ontwerpwerkzaamheden kan starten.

In bijgevoegde notities wordt gesproken over een financiële pot waaruit het aanpassen van gebouwen ten behoeve van aardbevingsbestendigheid kan worden betaald. In bijgevoegde notitie wordt ook gesproken over bepaalde meer kosten. Het is waarschijnlijk dat deze kosten door de NAM of overheid gedragen cq vergoed zullen worden. Verwacht mag worden dat in het geval van de Entrance de hiervoor aangegeven maatregelen: ontwerpen en berekeningen van preventieve maatregelen voor veilige gebouwen en de daaruit voortvloeiende constructieve en bouwkundige maatregelen voor vergoeding door de NAM of de overheid in aanmerking komen.

Wij zijn inmiddels door cursussen, studie, onderzoeken en samenwerking met ARUP in staat de maatregelen te ontwerpen en te berekenen. Omdat uitwisseling van kennis tussen bureau's onderling gewenst is en zeker ook de beschikbaarheid van voldoende engineerings-capaciteit essentieel is, om het een en ander snel op te pakken, zijn wij voor de aardbevingsprojecten een samenwerking (vof) aangegaan met ABT uit Velp en Delft.

Vanzelfsprekend zijn wij bereid deze notitie mondeling nader toe te lichten.

Haren, 20 mei 2014

5.1.2e RO

In de bijlagen zijn de volgende notities opgenomen:

- Voorlopige ontwerpuitgangspunten voor nieuwbouw en verbouw onder aardbevingsbelasting in de provincie Groningen dd 7 april 2014.
- Oplegnotitie bij agendapunt interim advies aardbevingbestendig bouwen
- Consequenties Interim advies aardbevingsbestendig bouwen dd 6 mei 2014.
- FAQ aardbevingsbestendig bouwen NEN.