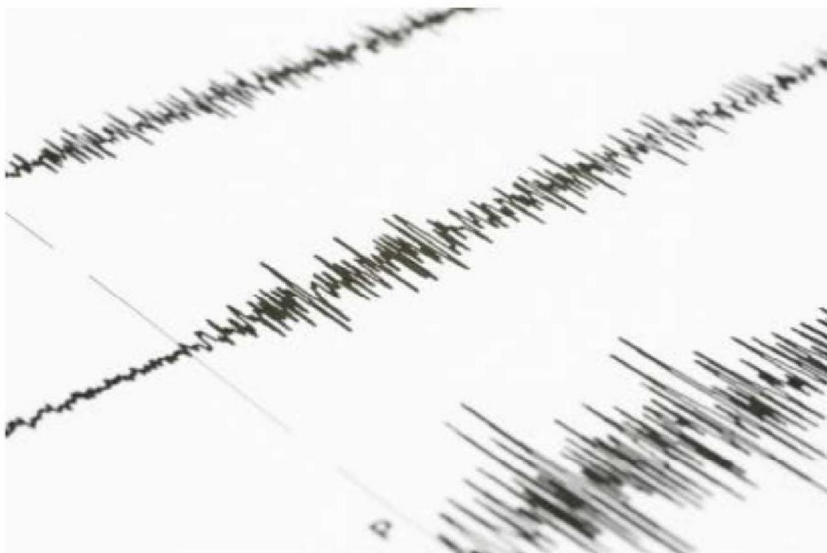


concept

5.1.2e	lid NIngenieurs
5.1.2e	lid NIngenieurs
Postadres	Postbus 24, 9750 AA Haren
Bezoekadres	Rummerinkhof 6, Haren
E-mail	info@wassenaarbv.nl
Telefoon	050 - 534 73 45

De gevolgen van aardbevingen voor Meerstad



concept



Inhoud

Inleiding.....	3
Algemeen.....	4
Regelgeving.....	5
De zwaarte van de aardbeving.....	5
Onzekerheden.....	6
Algemene risico's bij aardbevingen.....	7
Aardbevingsbestendig.....	7
Praktische maatregelen.....	9
Samenvatting.....	10

concept

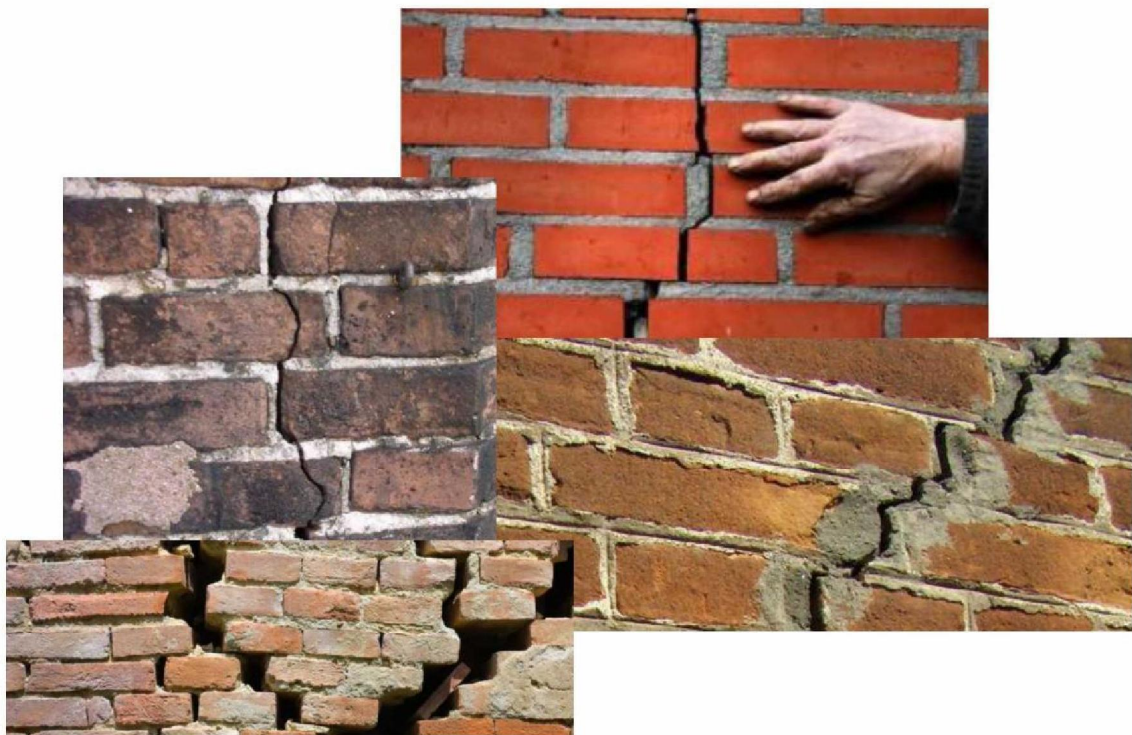
Inleiding

Recent is er grote aandacht ontstaan voor het onderwerp 'aardbevingen als gevolg van gaswinning' en wat de eventuele gevolgen en mogelijke maatregelen kunnen zijn. Meerstad is gelegen aan de rand van het risicogebied en heeft plannen voor de bouw van ca 6600 woningen. Ook bij Meerstad doet zich derhalve de vraag voor wat de betekenis hiervan is voor de bouwwijze in Meerstad. Aan ons is de vraag gesteld welke maatregelen er op basis van de huidige inzichten aan woningen genomen kunnen worden om op toekomstige richtlijnen te kunnen anticiperen.

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 het ministerie van VROM 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 woningen beter bestand te maken tegen aardbevingen.

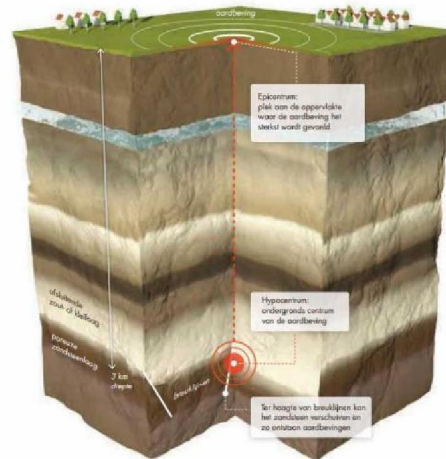
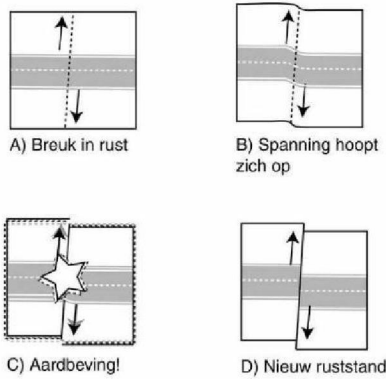
Ingenieursbureau Wassenaar maakt deel uit van het team dat door de NAM is aangewezen om de gevolgen van de aardbevingen op bestaande panden te onderzoeken. Dat team staat onder leiding van Arup, een bureau dat zich ook houdt met het ontwikkelen van nieuwe regelgeving voor 'Groninger aardbevingen'. In deze notitie zullen we de relatie tussen aardbevingen en woningschade uitleggen aan de hand van de stukken die door het Ministerie van VROM 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

soorten:

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



Bovenstaand kaartje toont de aardbevingen in en rond Nederland. In Groningen is sprake van geïnduceerde bevingen door gaswinning. Dit laatste is een type beving waar nog weinig over bekend is en waarover nog geen regelgeving bestaat.

concept

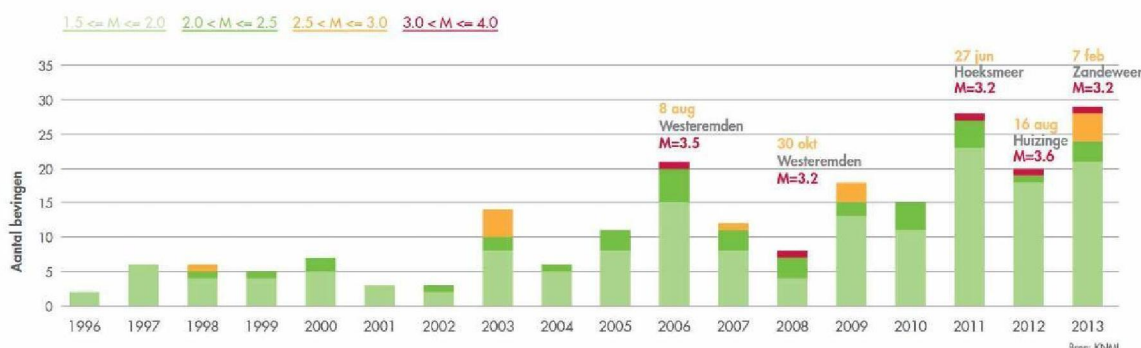
Regelgeving

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), maar deze is niet bindend. Bovendien gaat deze Eurocode uit van tektonische aardbevingen. Voor geïnduceerde aardbevingen zoals in Groningen heeft de Eurocode nog geen rekenmethoden beschikbaar. De Eurocode mag in projecten wel van toepassing worden verklaard, maar dan zal met de opdrachtgever moeten worden afgesproken welke waarden er worden aangehouden voor de National Determined Parameters (Nationale Bijlage).

Wij hanteren op dit moment de Eurocode NEN-EN 1998. De verwachting is dat er rond de zomer een voorlopige richtlijn uit zal komen die zich toespitst op de situatie in Groningen en die een aanvulling is op de Eurocode. Maar tot die tijd is onzeker of die richtlijn op tijd verschijnt, is onzeker wat er precies in zal staan en is onzeker of de richtlijn bindend wordt.

Zolang de richtlijn niet is verschenen kunnen we niet anders dan uitgaan van de algemene Eurocode met waarden die horen bij tektonische bevingen.



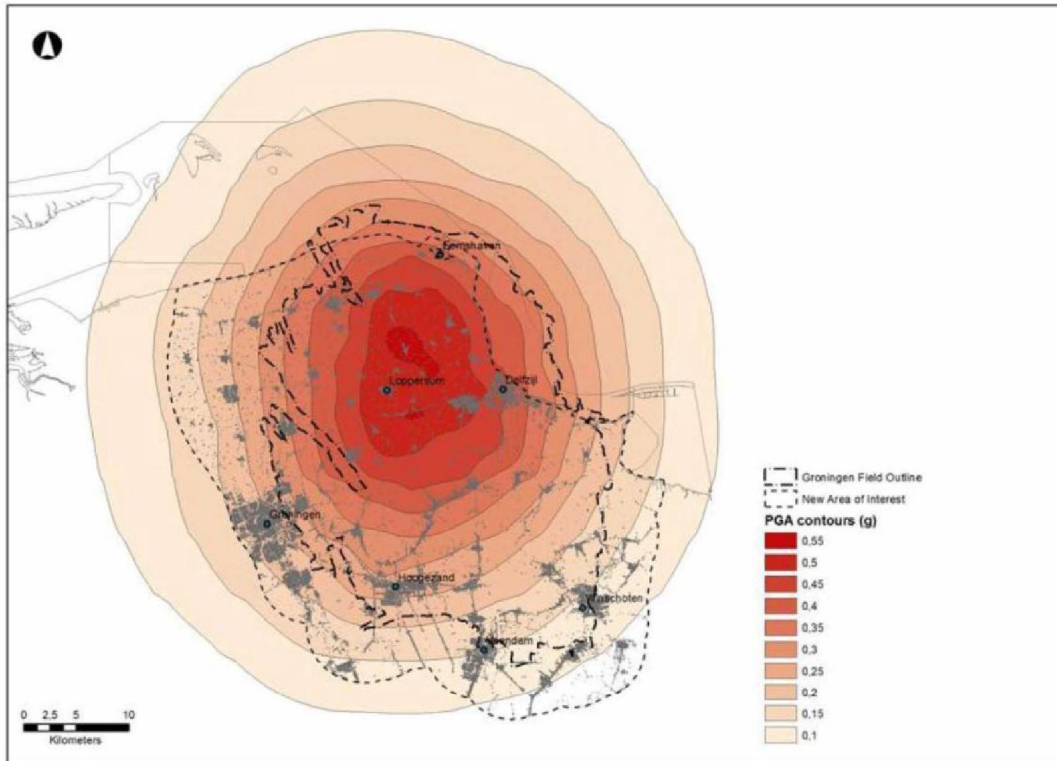
De zwaarte van de aardbeving

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.

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 geluiden, 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

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: ministerie van economische zaken).



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. Ongeveer aan het eind van de roeibaan van Harkstede begint de zone met PGA=0,35g. De maximale grootte wordt bereikt rondom Loppersum (PGA = 0,55g).

Onzekerheden

De onzekerheden rondom aardbevingen in Groningen zijn op dit moment nog groot:

- wat is de maximaal te verwachten kracht van de aardbeving (schaal van Richter)
- wat zijn de specifieke eigenschappen van de aardbeving (frequentie, versnelling)
- wat is de te verwachten duur van de beving (geïnduceerde bevingen duren aanzienlijk korter dan tektonische)
- wat is de invloed van de specifieke Groninger bodem
- wat is de beste rekenmethode om de aardbevingsbestendigheid van woningen te toetsen
- hoe kwetsbaar zijn woningen in werkelijkheid

Een onzekerheid kan natuurlijk positief of negatief uitpakken. Voor de meeste onzekerheden wordt echter verwacht dat ze uiteindelijk gunstiger zullen uitpakken dan nu wordt aangenomen. Daarom zullen de huidige waarden in de toekomst waarschijnlijk naar beneden worden bijgesteld, vooral om dat de duur van de geïnduceerde aardbevingen in Groningen minder lang zijn dan tektonische aardbevingen. Onze inschatting is dat de PGA's grofweg zullen halveren.

concept

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.



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:

- a) 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).
- b) 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

concept

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.

Om een beeld te krijgen bij de getallen hebben we berekend wat de aardbevingsbestendigheid is van een eenvoudige bouwconstructie midden in de stad Groningen. Uitgangspunt was de huidige stand van kennis, dus maximale $PGA=0,2$ en de berekeningsgrondslag is Eurocode (tektonisch). Als lijdend voorwerp hebben we gekozen voor de 'laatste pijp van Groningen' langs het CiBoGa terrein. Dat is een vrijstaande, gemetselde, schoorsteenpijp van ruim 40m hoogte.



De reden om voor een schoorsteen te kiezen is dat die goed te schematiseren is in een constructief rekenpakket en dat er maar weinig variabelen zijn die invloed hebben op de uitkomst. Bovendien kan iedereen zich persoonlijk wel een beeld vormen van de kansen van de schoorsteen tijdens een aardbeving.

De uitkomst van de berekening is dat de schoorsteen niet bestand is tegen een PGA van $0,2g$. Dat is de waarde die volgens huidige inzichten in de stad wordt bereikt als er ergens in de provincie een zware aardbeving optreedt met een kracht van 5 op de schaal van Richter.

We hebben, vooruitlopend op de verwachte versoepeling van de rekenregels, ook gekeken of de schoorsteen bestand is tegen dezelfde zware aardbeving, maar dan met een (voor geïnduceerde aardbevingen) gecorrigeerde PGA . Als correctie hebben we de PGA gehalveerd ($0,1g$). Dat is weliswaar speculatie omdat we nog niet weten wat de rekenregels voor Groningen gaan worden, maar het geeft een indicatie. Ook dan blijkt de schoorsteen niet aardbevingsbestendig.

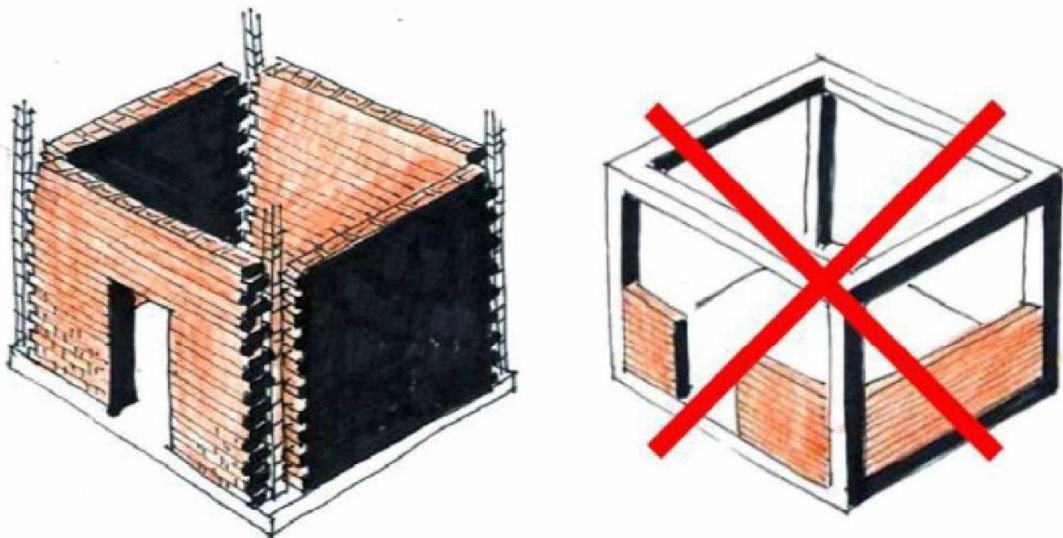
concept

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 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.

concept

Samenvatting

'Aardbevingsbestendig' betekent dat mensen hun woning veilig kunnen verlaten tijdens de zwaarste aardbeving die in de provincie Groningen verwacht wordt. Het betekent niet dat de woning geen schade oploopt bij die (of lichtere) aardbeving. Na afloop van een aardbeving moet de staat van de woning opnieuw worden beoordeeld.

De huidige regelgeving is niet geschreven op geïnduceerde aardbevingen (door gaswinning). Controle op aardbevingsbestendigheid kan vooralsnog alleen op basis van de Eurocode NEN-EN 1998 (tektonische aardbeving).

De invloed van aardbevingen is niet overal gelijk. Het gebied rondom Loppersum loopt kans op een aardbeving met een PGA van 0,55g. Verder van Loppersum af daalt de PGA. In Meerstad, Lewenborg en Beijum is er kans op een PGA van 0,3g, in de rest van de stad Groningen is er kans op een PGA van 0,2g.

De verwachting is dat de toekomstige normen voor geïnduceerde aardbevingen minder hoge (maar meer realistische) rekenwaarden geven.

Zowel op basis van de (tektonische) Eurocode NEN-EN 1998 als op basis van de verwachte rekenregels voor geïnduceerde aardbevingen is de conclusie dat 'de laatste pijp van Groningen' niet aardbevingsbestendig is.