

Basis Regels voor Seismisch Bouwen en Versterken (retrofitten)



Door dr. ing. Sjoerd Nienhuys

Update april 2026

www.nienhuys.info pagina 2: Aardbevingen

Ontwikkeld naar aanleiding van de geïnduceerde aardbevingen in Groningen

Voor meer informatie zie document: *Duurzaam Herstel en Versterken van*

Woningen in Groningen (540 pagina's) op www.nienhuys.info 2^{de} pagina 'Aardbevingen'.

Abstract: Eenvoudige regels voor aardbevingsbestendig bouwen op basis van het verkeersborden principe voor ronde verbodsborden met rode rand, en vierkante verplichtingsborden met blauwe rand. Tussenvormen met ronde of vierkante borden zonder kleur zijn gebruikt. De verschillen tussen de borden worden met korte teksten toegelicht.

Kernwoorden: aardbevingen, aardbevingsbestendig, bouwen, broos, constructie, daken, funderingen, geïnduceerd, Groningen, houtbouw, lichtgewicht, massa, metselwerk, prefabbeton, portaal, ramen, retrofitten, schoorstenen, spouwmuren, veiligheid, verkeersborden, vloeren.

Inhoud

1. Introductie.....	2
2. Algemeen	3
3. Funderingen	6
4. Dragende Muren.....	8
5. Vloeren en Vloerdiafragma's.....	11
6. Daken en Dak Diafragma's	14
7. Schoorstenen en andere uitsteeksels	16

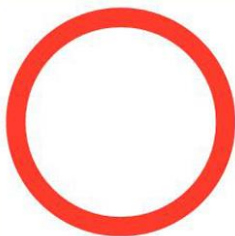
1. Introductie

Er zijn vele manieren mogelijk om de kennis over aardbevingsbestendig bouwen of bouwkundig versterken over te dragen aan verschillende groepen van de bevolking. Architecten, ingenieurs, makelaars of metselaars hebben niet alleen verschillende achtergrondkennis, maar hebben ook verschillende soorten informatie nodig. Terwijl bouwkundigen en civiele ingenieurs de Eurocode 8 kunnen bestuderen¹, zullen deze documenten voor velen te ingewikkeld zijn om te gebruiken. De Eurocode 8 is slechts matig geïllustreerd en gaat niet dieper in op het retrofitten of het versterken van bestaande gebouwen zoals hoofdzakelijk het geval is in de provincie Groningen. Ook heeft de Eurocode 8 geen uitgebreid geïllustreerde afdeling over retrofitten van bestaande bouw.

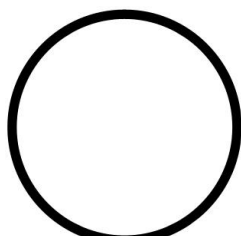
Een van de eenvoudigste manier om iets aan te geven is: “**DO DIT NIET**”, en “**DOE DIT WEL**”

Het principe van verkeersborden is gebruikt, wat wel en wat niet goed is in een aardbevingsgebied. De aanbevelingen zijn wel duidelijk, maar het geeft niet direct het hoe en waarom aan. Daarom wordt naast de twee borden een korte toelichting gegeven van de betekenis van de borden.

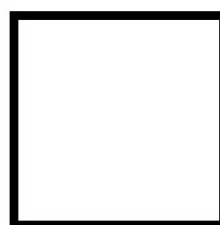
Het verkeersborden principe methode kent als hoofdgroepen het **rode ronde** verbodsbord en het **blauwe vierkante** bord dat verplicht aangeeft. Het rode driehoekige bord staat voor **opgelet** Δ.



Fout of Niet Goed.



**Niet erg goed.
Soms mogelijk.**



**Kan ook anders of
verschillende opties.**



Goed of Aanbevelen.

¹ De NPR 9998: 2015 en volgende versies zijn afgeleid van de Eurocode 8, maar gebaseerd op het verkeerde principe dat geïnduceerde aardbevingen met hun risicoprofiel 10^{-5} als een bouwongeval worden aangenomen. Dat is niet zo want de geïnduceerde aardbevingen worden veroorzaakt door het mijnbouwbedrijf en zijn te vergelijken met het plannen van een zware bom onder gebouwen of dorpen en daarmee alles laten instorten.

Omdat voor lage gebouwen meerdere oplossingen mogelijk zijn, is de zwarte cirkel geïntroduceerd (niet strikt verboden) en het zwarte vierkant (meerdere oplossingen mogelijk). De meeste ontwerpen kunnen echter met goed of fout worden aangeduid, afhankelijk van de te verwachten maximale aardbevingssterkte. De geïnduceerde bevingen in Groningen zijn licht, alhoewel er in 2015 (foutief, misleidend) gesuggereerd werd dat er veel (kwantiteit en sterkte) zwaardere aardbevingen zouden komen.

Naast deze voorbeelden kunnen ook foto's van goede en slechte oplossingen getoond worden. Over het algemeen zijn foto's minder duidelijk dan tekeningen, maar kunnen wel een grotere emotionele indruk geven.

2. Algemeen

Deze eerste serie borden betreft algemene adviezen of maatregelen die op gebouwen van toepassing zijn (volgens de Eurocode 8).

Algemene adviezen		Toelichting
<p>Grote massa</p>	<p>Klein gewicht</p>	De belasting van een aardbeving op een gebouw is direct evenredig met de massa van de constructie. Hoe groter het gewicht van het gebouw is, hoe groter de krachten van aardbeving op de constructie zullen zijn. Het is daarom belangrijk om de massa zo klein mogelijk te houden.
<p>Onregelmatig gebouw</p>	<p>Regelmatig gebouw</p>	Onregelmatige lange gebouwen krijgen vergrote aardbeving belastingen. Gebouwen moeten compact blijven. De lengte mag bij voorkeur niet meer dan vier keer de diepte zijn. Bij langere gebouwen is dilateren of extra versterken gewenst.
<p>No: L, T, H, X, U</p>	<p>> 0,02h</p>	Onregelmatige gebouwen in L plattegrond of met andere lange zijvleugels zullen extra belastingen in de hoeken ondervinden. Deze gebouwen moeten bij voorkeur gedilateerd te worden. Bij metselwerk of betonconstructies is de minimum dilatie breedte 0,02 x de hoogte.
<p>Kop-staart boerderij Aan elkaar verbonden</p>	<p>Kop-staart boerderij Dilateren Sterke glaspanelen Schoorstenen verwijderen</p>	Gebouwen met verschillende massa en stijfheden moeten eerst van elkaar gedilateerd worden. Daarna moet het oude kop-gebouw versterkt worden met sterke glaspanelen. Ook de zware gemetselde schoorstenen moeten uit de flexibele dakconstructie verwijderd worden.

Algemene adviezen		Toelichting
		<p>In een gebied met matige aardbevingen ($PGA \geq 0,2g$) is bij nieuwbouw ongewapend metselwerk van de dragende muren niet toegestaan. Groningen $\leq 0,1g$.²</p> <p>Gemetselde dragende muren moeten in een aardbevingsgebied (trek)wapening hebben rond alle openingen en langs alle openingen en muureinden.</p>
		<p>Bij rentenierswoningen met hoge ramen en smalle penanten kunnen de oude ramen vervangen worden door sterke glaspanelen die daardoor de hele gevel één sterk vlak maakt, waardoor de sterkte van de woning aanzienlijk toeneemt. Dit is een eenvoudige en relatief goedkope maatregel. Het glas kan ook goed geïsoleerd worden.</p>
		<p>Bij rijtjes- of doorzonwoningen met brede ramen kunnen deze ramen vervangen worden door sterke glaspanelen die daardoor de hele gevel één sterk vlak maakt, Hierdoor neemt de sterkte van de woningen aanzienlijk toe. Dit is een eenvoudige en relatief goedkope maatregel. Het glas kan ook goed geïsoleerd worden.</p>
		<p>De basis van een gebouw moet even breed of breder zijn dan de bovenbouw.</p> <p>De bovenbouw mag echter niet te snel smaller worden, want dan ontstaat er onregelmatigheid.</p> <p>De versmallingen $(L3 + L1) / L \geq 0,2$.</p>
		<p>De dragende muren en kolommen in een gebouw moeten sterker zijn dan de vloeren.</p> <p>Als een dragende muur of kolom bezwijkt, dan stort het hele gebouw in.</p> <p>Als een vloer scheurt of ductiel (taai) vervormd blijft het gebouw nog wel staan.</p>

² De lichte aardbevingen in Groningen kwamen niet uit boven de $PGA_{\text{horizontaal}} 0,06g$ of $PGA_{\text{verticaal}} 0,11g$. Veel van de aanbevelingen in de Eurocode 8 zijn daarom niet van toepassing. Om oude bakstenen laagbouwoningen seismisch te versterken zijn deze richtlijnen echter wel van toepassing.


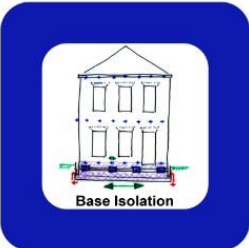



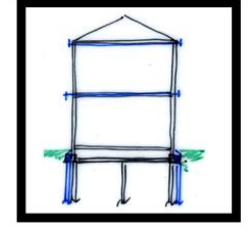


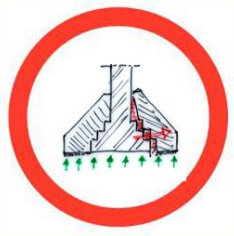
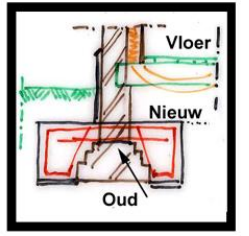
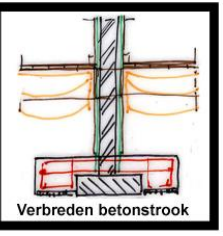
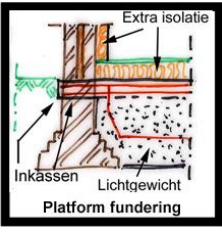
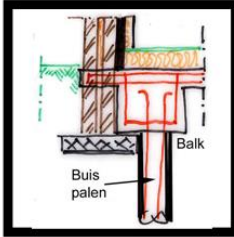
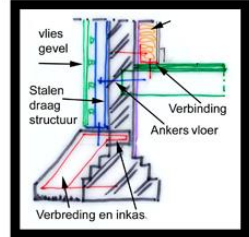
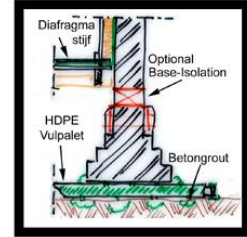
Algemene adviezen		Toelichting
<p>Top massa</p>	<p>Laag geplaatste massa</p>	<p>Wanneer een grote massa in een gebouw noodzakelijk is, dan moet deze zo laag mogelijk geplaatst worden. Een voorbeeld is een grote wateropslag of zoutbatterij. Een lage tank met een hydrofoor is dan een betere oplossing. Zware schoortenen in de top zijn daarom geen goede constructie.</p>
	<p>Lichte vloeren</p>	<p>Zware betonnen vloerconstructies leveren een grote horizontale belasting. Lichtgewicht houten vloeren geven een kleine aardbeving belasting. 50% van de nuttige vloerbelasting moet erbij opgeteld worden voor de berekening van de sterkte. Vloeren moeten aan de muren verankerd zijn.</p>
<p>Stapelbouw</p>	<p>Alles verbinden</p>	<p>Stapelbouw heeft verbindingen die slechts gebaseerd zijn op het gewicht van het gebouw en is niet bestand tegen grote horizontale afschuifkrachten. In een aardbevingsbestendig gebouw moeten er overal goede verbindingen zijn, en bij voorkeur momenten kunnen opnemen.</p>
<p>Zachte etage</p>	<p>Sterkere etage</p>	<p>Een stijfheidsverschil van meer dan 20% tussen verdiepingen moet vermeden worden. Op de begane grond etage komen vaak grote ramen voor zoals bij winkels en doorzonwoningen. In deze situaties moet de begane grond etage extra versterkt worden.</p>
<p>Torsie</p>	<p>Torsie beperking</p>	<p>Een plan dat aan één uiteinde veel muren heeft, maar aan de andere zijde veel openingen, kan bij een aardbeving torsie van het gebouw opleveren. Door in de open gedeeltes sterke portalen in te bouwen en het vloerdiafragma te versterken, wordt het torsiegevaar verminderd.</p>
<p>Hoog risico elementen</p>	<p>Geen hoog risico elementen</p>	<p>Zware uitsteeksels aan een gebouw vormen een hoog risico bij aardbevingen. Hoge en zware uitsteeksels zoals schoorstenen ondergaan extra horizontale belasting door de hoogte. Uitstekende of ingeklemde balkons ondervinden extra belastingen en momenten door verticale trillingen.</p>

In deze serie algemene adviezen en de volgende series plaatjes zijn een aantal afbeeldingen opgenomen van een aantal hoofdstukken over aardbevingsbestendig bouwen in de provincie Groningen, die gedurende 2014 en 2015 werden samengesteld aan de hand van internationale normen, praktijkvoorbeelden en oplossingen die mogelijk zijn voor de Nederlandse woningbouw. Het gehele bouwkundeboek is beschikbaar op www.nienhuys.info 2d^e pagina 'Aardbevingen' en in losse hoofdstukken.

3. Funderingen

De meestal slappe gronden in de provincie Groningen kunnen extra problemen opleveren voor gebouwen die trillingen van verkeer of aardbevingen ondervinden. Smalle en slechte funderingen, vaak in combinatie met onvoldoend onderhoud, zijn een van de hoofdoorzaken van spanningen en daarna scheuren in baksteen metselwerk. Deze scheuren kunnen groter worden bij meer trillingen. Funderingen moeten vaak verbreed worden om de extra aardbevingskrachten op te vangen.

Fundering adviezen		Toelichting	
<p>Kantelen</p>			<p>Base-Isolation of extra palen langs de kanten.</p>
<p>Bredere fundering geeft lagere gronddruk en stabiliteit.</p>		<p>Verschillende oplossingen zijn mogelijk. De <i>base-isolation</i> geeft een gelijkmatige gronddruk.</p>	
<p>Smalle strook</p>	<p>Breder</p>	<p>Bij een gedeeltelijke kelder zal de gronddruk onder de keldervloer lager zijn dan onder de stroken, en kan de smallere strokenfundering verzakken. Een kelder maakt een ongewenst verschil in de fundering. Het breder maken van de strokenfundering, en eventueel het dieper aanleggen, zal het evenwicht tussen de twee gronddrukken herstellen.</p>	
<p>Gelijke gronddruk</p>	<p>Bij zware buitenmuren en een ongelijke aanleg van de funderingsdiepte, kunnen de buitenmuren ten opzichte van de kelderfundering verzakken en naar buiten wijken. De muurfunderingen kunnen dieper en breder worden gemaakt en de muren kunnen bij elkaar gehouden worden door trekwapening.</p>		
<p>Boven de kelder</p>	<p>Base-Isolation onder kelder</p>	<p>Onder het gehele gebouw inclusief kelder kan een platform fundering gemaakt worden, waarbij de kelder wordt uitgebreid. Er kan ook een <i>base isolation</i> onder een versterkt vloerdiaphragma gemaakt worden, of onder het gehele gebouw als ook de kelder wordt uitgebreid.</p>	

Fundering adviezen	Toelichting
 	<p>Bij ongewapend metselwerk muren in oude woningen kunnen scheuren optreden ten gevolge van aardbevingen. Door het toepassen van een <i>base-isolation</i> zullen de horizontale krachten op het gebouw sterk verminderen, waardoor minder versterking aan het gebouw nodig zal zijn. Het is echter veel goedkoper om sterke glaspanelen toe te passen bij deze lichte aardbevingsprognose.</p>
 	<p>Bij zijwaarts wegdukken van de fundering zal een ingekaste platformfundering onder het hele gebouw de gronddruk laag houden en tegelijkertijd de horizontale trek opvangen. In een aardbevingsgebied zal het gebouw dan nog wel aanzienlijk versterkt moeten worden.</p>
 	<p>Bij zwakke balken over palen en zonder sterke vloerdiafragma's, kunnen gebouwen verticaal splijten wanneer de buitenste palen ten gevolge van aardbeving dieper in de grond ponsen. Door extra palen te plaatsen en de vloeren en dak te versterken kan dit scheuren worden voorkomen. Dit komt soms voor bij rijtjeswoningen.</p>
 	<p>Bij oude, grote en zware gebouwen en/of slappe grond kan het nodig zijn dat er palen door tijdelijke openingen in de platformfundering worden geperst. Daarna worden de gaten gesloten en draagt de platformfundering op deze palen. Op deze palen kan ook een <i>base-isolation</i> worden toegepast.</p>
 	  <p>Methoden om reeds bestaande smalle funderingen breder te maken.</p>
 	 <p>Sommige methoden kunnen worden gecombineerd met <i>base-isolation</i> waardoor de gebouw versterking minder uitgebreid kan zijn.</p>



In de Groningse woningbouw moet als eerste element de kwaliteit van de fundering worden onderzocht. Als deze namelijk gaat vervormen of verzakken, dan zal een seismische versterking van het gebouw deze verzakking niet kunnen tegengaan.³

Indien er dragende binnenmuren zijn, dan zullen deze relatief meer versterking en verbreding van de fundering nodig moeten hebben dan de dragende buitenmuren. Dit komt omdat versterkte en stijve vloerdiafragma's de belastingen op deze binnenmuren en in-het-vlak van deze muren aanzienlijk zullen vergroten. Bij veel dragende binnenmuren is dan een doorlopende platformfundering vaak een meer economische oplossing dan om alle funderingen individueel te verbreden.

Bij de keuze van een systeem zal naar de naastliggende gebouwen gekeken moeten worden, en in hoeverre de fundering goed te bereiken is voor de mogelijke versterkingsmethoden.

Bij kwetsbare gebouwen en monumenten kan het zijn dat een *base-isolation* de meest economische oplossing is omdat hierdoor de mate van versterking in of aan het zelf gebouw minder zal zijn. Goedkope inbouw en licht lopende roller- of glijsystemen die slechts een kleine horizontale beweging toelaten zijn hier dan zinvol, gezien het type geïnduceerde trillingen dat in Groningen voorkomt.

4. Dragende Muren

De dragende Nederlandse muren zijn relatief dun en zwak in vergelijking met muren in andere landen. De spouwmuren, waarbij slechts het binnenste spouwblad dragend is, komt in weinig landen voor. Het type dunne spouwankers dat de twee spouwbladen verbindt levert weinig sterkte aan de muren. Van oude gebouwen kunnen deze spouwankers verroest zijn. Dragende muren van minder dan 12 cm dik worden niet of nauwelijks in aardbevingslanden toegepast.

In een aardbevingsgebied is het is niet juist om de muren afzonderlijk van de vloeren te bekijken. Hetzelfde geldt indien de draagstructuur bestaat uit kolommen en balken; deze werken samen. Tussen de muren en vloeren (of daken) bestaat een interactie van overdracht van aardbeving krachten uit de fundering naar boven en krachten terug uit het gebouw naar de fundering.

In Nederland zijn de verbindingen tussen de muren en de vloeren meestal niet momentsterk. Bij de verticale trillingen van een aardbeving zal de wrijving bij opleggingen verminderen. Indien er tegelijkertijd een horizontale en verticale aardbevingsbeweging bestaat, kunnen balken of vloeren na een aantal trillingen of schokken hun opleggingen verliezen. De verankeringen in alle richtingen tussen de muren onderling en tussen de muren en de vloeren zijn daarom erg belangrijk.

³ Sinds een paar decennia waren de funderingen aan verticale schokken onderhevig, waardoor er geleidelijk veel verzakkingen zich hebben voorgedaan. De verticale schokken van de Groningse geïnduceerde aardbevingen zijn ongeveer 60% sterker dan de horizontale, waardoor verzakkingen voor belangrijke mate het gevolg van de bevingen zijn. Sinds 1980 worden er maatregelen genomen om het provinciale grondwater-niveau te reguleren en te handhaven. Echter een tijdelijke verhoging en verlaging van het grondwater-niveau kan de draagkracht van de funderingen nadelig beïnvloeden. Vooral bij oude smalle funderingen op staal zullen de trillingen en de grondwater wijzigingen invloed op de fundering hebben.

Muren adviezen		Toelichting
		Muren ontvangen bij beving zowel verticale als horizontaal belastingen. De krachten moeten in het vlak van de muur naar de fundering worden afgevoerd. Oeningen in de muren zijn daarom een verzwakking. Door sterke glaspanelen toe te passen blijft de muur sterk
		Binnenzijdige muurversterking kan toegepast worden met HoutSkeletBouw (HSB) en versterkt met Oriënted Strand Board (OSB) platen. De dikte (16 cm) kan gebruikt worden om isolatiemateriaal en dampdichte folie toe te passen. Hierdoor is er wel ruimteverlies in de woning, maar ook verduurzaming door isolatie.
		De aardbevingskrachten moeten in het vlak van de muur worden afgevoerd. Een sterk en stijf vloer- of plafonddiafragma dat aan alle muren goed verbonden is, zorgt ervoor dat de krachten in het vlak van de muren wordt afgevoerd en voorkomt krachten loodrecht op de andere muren. Muren en vloeren moeten samenwerken.
		De dragende muren en kolommen in een gebouw moeten sterker zijn dan de vloeren. Als een dragende muur of kolom bezwijkt, stort het hele gebouw in. Als een vloer scheurt of ductiel (taai) vervormd blijft het gebouw wel staan.
		Stapelbouw heeft verbindingen die slechts gebaseerd zijn op het gewicht van het gebouw en is niet bestand tegen grote horizontale krachten. In een aardbeving bestendig gebouw moeten overall goede verbindingen zijn, en bij voorkeur momenten kunnen opnemen.
		Ongewapende baksteen muren mogen niet loodrecht op-het-vlak van de muur worden belast. Bij een aardbeving vallen ze dan om. Met een brede funderingsplaat breken ze af vlak boven de fundering, op het maximale moment. De bovenrand van de muur moet de krachten naar de dwarsmuren afvoeren.
		Op elk vloerniveau moeten de balklagen of betonvloeren aan alle zijden goed aan de muren verbonden zijn. Hierdoor worden de bovenkanten van de muren vastgehouden, en de krachten via de vloer naar de dwarsmuren afgevoerd, en dan naar de fundering.

Muren adviezen		Toelichting
		Muren die loodrecht op-het-vlak aan de bovenkant niet zijn ondersteund zullen bezwijken. Scheuren worden het eerst zichtbaar rond lateien en openingen. Met een goed verbonden binnenmuur en met brede en sterke muurplaten en vloerdiafragma's worden de krachten naar de zijmuren afgevoerd.
		Zonder tussen binnenmuur is een stijf en sterk, aan alle muren verbonden vloerdiafragma nodig. Een bestaande zoldervloer kan versterkt worden door multiplex op alle balken te schroeven. Diagonale spanbanden kunnen op de vloer geschroefd worden, die de krachten opnemen en overbrengen naar de zijmuren.
		Dragende muren moeten op elke etage aan de houten of betonnen vloeren worden gekoppeld; aan alle balkkoppen en de strijkbalen. Ook moeten muren aan de dwarsmuren worden gekoppeld. Dit kan over de hele hoogte, maar moet bij voorkeur boven en onder de raam en deuropeningen en via de muurplaten.
		Bij hoge ramen en smalle penanten zullen er rondom de ramen de eerste scheuren ontstaan. Bij oudere gebouwen ontbreken de lateien vaak of zijn kort opgelegd. Door het inbrengen van trekwapening helemaal rondom het gebouw, worden de muren bij elkaar gehouden en versterkt. Sterke glaspanelen zijn effectiever.
		Smalle penanten langs hoge ramen kunnen bij belasting in-het-vlak van de muur kantelen. Door trekwapening langs de raamopening te maken en deze goed in de fundering en aan de muurplaat te verbinden worden de penanten seismisch versterkt.
		Muren die slechts 10-12 cm dik zijn, voldoen niet als draagmuren in een aardbevingsgebied. Deze kunnen gemakkelijk knikken door excentrische belasting. Dunne muren kunnen versterkt worden door GlasVezelTextiel Wapening (GVTW) aan beide kanten op te brengen (lijmen).
		Excentrische muurbelasting (ook horizontaal) moet voorkomen worden, want dat kan knik opleveren. Binnen de buitenmuren kan dit met C-frames. Tussmuren hebben fundering verbreding nodig en tweezijdige GVTW die sterk aan het vloerdiafragma is verbonden.

Muren adviezen		Toelichting
		<p>Dunne dragende binnenmuren moeten aan beide zijden versterkt worden tegen knikken. Het GVTW moet sterk aan het houten of betonnen vloerdiafragma gekoppeld worden. Dit kan door het GVTW op de vloer te plakken en de multiplexplaten hierop te bevestigen.</p>
		<p>Bij het versterken van muur-muur verbindingen met GVTW moet voorkomen worden dat in de hoeken het GVTW wordt losgetrokken. Door hoekprofielen in beide muren te schroeven wordt de verbinding sterker. Spiraalankers kunnen gelijmd ingeschroefd worden.</p>
		<p>In een gebied met matige aardbevingen ($PGA \geq 0,2g$) is bij nieuwbouw ongewapend metselwerk of niet omsloten metselwerk van de dragende muren niet toegestaan.⁴ Gemetselde dragende muren moeten in een aardbevingsgebied (trek)wapening hebben rond alle openingen en langs alle muureinden.</p>

5. Vloeren en Vloerdiafragma's

In de Nederlandse woningbouw komen vier soorten vloeren veelvuldig voor, die in een aardbevingsgebied structurele problemen kunnen hebben of veroorzaken:

1. Houten balklagen met een op gespijkerde plankenvloer. De balken zijn soms wel en soms niet aan de kopzijde in de muur verankerd. Parallel aan de muur zijn ze vaak niet verankerd.
2. Massieve, in het werk gestorte betonnen vloeren, minimaal 12 cm dik, met een afwerklaag. Deze vloeren zijn stijf in het vlak, zijn op de draagmuren rondom gestort zonder verdere verankering, en hebben een grote massa ten opzichte van andere gebouwonderdelen.
3. Betonnen (kanaalplaten) of gemetselde (NeHoBo) prefab elementen vloeren die slechts aan twee kanten zijn opgelegd en geen bovenliggend doorlopend wapeningsnet hebben. Deze vloeren zijn wel stijf, maar hebben loodrecht op de oplegrichting onvoldoende verband.
4. Betonnen prefab vloeren, opgelegd op de draagmuren, met wel een bovenliggende krimp wapening (T balkjes met invul elementen). Deze zijn vaak niet op de opgelegd op de muren die parallel aan de draagricting staan, en hebben daar geen verbinding mee.

Voor de seismische versterking van gebouwen met deze vloeren dienen de verbindingen tussen de vloeren en draagmuren verbeterd te worden. Dit heeft echter alleen zin indien de draagmuren voldoende sterk zijn om de belastingen van de vloeren op te nemen, in-het-vlak van de muur. Indien de vloeren onvoldoende stijf zijn zullen er door de vloeren en de muurmassa belastingen loodrecht-op-het-vlak van de muur optreden; hiervoor moeten de muren momentsterk zijn.

⁴ De toekomstige probabilistische maximale sterkte van de geïnduceerde aardbevingen in de provincie Groningen zal hoogst waarschijnlijk kleiner dan $PGA_g 0,15$ blijven, gezien de nationale sociaaleconomische politiek.

Het afzonderlijk behandelen van de vloer stijfte of sterkte en de verbindingen tussen de vloeren en de draagmuren, zonder de sterkte van de muren in acht te nemen is daarom niet zinvol.

Vloeren adviezen		Toelichting
<p>Te stijve vloeren</p>	<p>Ductiele vloeren</p>	<p>Te stijve of dikke betonvloeren ten opzichte van de draagmuren kunnen dunne muren doen bezwijken. Als een dragende muur of kolom bezwijkt, stort het hele gebouw in. Als een vloer ductiel (taai) vervormt of scheurt blijft het gebouw nog wel staan.</p>
<p>Geen vloer-dak verbindingen</p>	<p>Vloer of dak diafragma</p>	<p>Op elk vloerniveau moeten de balklagen of betonvloeren aan alle zijden goed aan de muren verbonden zijn. Hierdoor worden per etage de bovenkanten van de muren vastgehouden, en de krachten via de vloer naar de dwarsmuren afgevoerd in-het-vlak van deze muren, en dan naar de fundering.</p>
<p>Wegdrukken muur</p>	<p>Verbindingen muren</p>	<p>Muren moeten op elke etage aan de vloeren worden vastgekoppeld, aan alle balkkoppen en aan de strijkbalken. Ook moeten ze aan de dwarsmuren worden vastgekoppeld. Dit kan over de hele hoogte of boven en onder de raamopeningen en ter plaatse van de muurplaat.</p>
<p>Reactie krachten op massa</p>	<p>Stijf multiplex vloer diafragma Eventueel stalen trek banden diagonaal Trek wapening boven latei in muren Ankers vloer</p>	<p>Zonder tussen binnenmuur is een stijf en sterk, aan alle muren verbonden vloerdiaphragma nodig. Een bestaande zoldervloer kan versterkt worden door multiplex op alle balken te schroeven. Diagonale spanbanden kunnen op de vloer geschroefd worden, die de trekkrachten opnemen en overbrengen naar de zijmuren.</p>
<p>Torsie</p>	<p>Stijve en doorlopende vloer beperkt torsie</p>	<p>Een plan dat aan één uiteinde veel muren heeft, maar aan de andere zijde veel openingen, kan bij een aardbeving torsie van het gebouw tot gevolg hebben. Door de etagevloer horizontaal sterk en stijf te maken, en goed aan alle muren rondom te verbinden, wordt het torsiegevaar opgeheven of verminderd.</p>
<p>Kracht loodrecht op muur</p>	<p>Krachten via diafragma in vlak van muren</p>	<p>Vloerbalken liggen over de kortste overspanning. Een plankenvloer geeft een onvoldoende stijf diafragma. Door het aanbrengen van multiplex beplating en goede muurverbindingen worden de krachten in-het-vlak van de gevel afgevoerd. De gevel penanten moeten dan wel versterkt worden met trekwapening tegen het kantelen.</p>

Vloeren adviezen		Toelichting
		<p>Door het verbinden van een stijf vloerdiagrama aan de muren zal de belasting loodrecht-op-het-vlak van de muur veranderen in belastingen in-het-vlak van de muren. Een binnenmuur die eerst geen belasting had, zal in de nieuwe situatie evenveel belasting ondervinden als de twee buitenmuren samen.</p>
		<p>Spouwmuur. Houten balken zijn aan de kops kant vaak alleen opgelegd of sommige balken zijn met een kort anker achter het binnen spouwblad vastgezet. Het vloerdiagrama wordt versterkt met multiplex en alle balken worden van buiten af met ankers vastgezet, en het vloerdiagrama aan het binnen spouwblad.</p>
		<p>Een optie bij een gemetselde muur met veel openingen is om aan de binnen kant van de muur een Hout Skelet Bouw (HSB) constructie te maken en die met spiraalankers over de gehele hoogte aan de muur vast te schroeven. De balken worden met hoekprofielen verbonden.</p>
		<p>Voorbeeld met steens muur. Bij de parallelle balken (strijk balken) moeten deze met de vloeren aan de muren worden vastgezet. Het is belangrijk dat het muurankers voldoende lagen baksteen metselwerk vast houden en niet slechts enkele bakstenen.</p>
		<p>De houten vloeren moeten door de binnen muren heen aan elkaar gekoppeld zijn om een doorlopend diafragma te maken. Dit kan door metalen trekbanden door de muur te steken en op de twee vloerdiagrama's vast te zetten op de GVTW en onder de multiplex laag.</p>
		<p>Betonnen vloeren zijn veel zwaarder en stijver dan houten vloeren en dus moeten de muren en muurverbindingen sterker zijn. De spouwmuur moet wel de krachten van de vloer kunnen opnemen. Bij veel of grote openingen in de muren is deze verbinding onvoldoende sterk.</p>

Vloeren adviezen		Toelichting
		<p>Bij muren met veel openingen kan aan de binnenkant een HSB of C-staal frame worden geplaatst dat over de gehele hoogte aan de binnenkant van de gemetselde muur wordt vastgezet en aan de betonvloer. De binnenzijde wordt daarna extra geïsoleerd.</p>
		<p>De opgelegde zijde van betonnen vloeren hebben geen goede slipvrije verbinding met de muren (vilt tussenlaag). Deze verbinding kan verbeterd worden door de GVTW met gelijmde spiraalankers en een 2 mm metalen hoekplaat op de muur en in de vloer vast te zetten.</p>

6. Daken en Dak Diafragma's

In de Nederlandse woningbouw hebben de daken meestal een houten draagconstructie, waarbij de dakpannen bedekking uit veel kleine beweegbare stukjes bestaat. Hout is veel buigzamer of elastischer dan de bakstenen topgevels, waardoor bij een belasting door wind of een aardbeving dit hout elastisch zal vervormen. Wanneer de beweging groter is dan de elastische vervorming die de baksteen kan opnemen, zal het baksteen scheuren. Omdat topgevels boven in het gebouw zitten zullen deze het eerst kapot gaan. Daken die vervormen oefenen druk uit op de onderliggende muren.

Sommige van de borden zijn tegelijkertijd van toepassing op muren of diafragma's. Dit geeft aan dat de verschillende onderdelen niet afzonderlijk versterkt kunnen worden, maar dat versterking altijd in combinatie met andere gebouwoonderdelen gedaan moet worden.

Daken adviezen		Toelichting
		<p>Belasting van een dak op een lange zijmuur kan deze muur naar buiten drukken. Door het vloerdiafragma van de zolder sterk en stijf te maken en aan de muurplaat te verbinden, wordt de aardbeving belasting van het dak via het stijve vloerdiafragma naar de binnen en buiten dwarsmuren afgevoerd.</p>
		<p>Door de beide dakvlakken stijf en sterk te maken worden de krachten van het dak naar de zijmuren afgevoerd. Dit werkt echter alleen als de lengte van het dak niet te groot is en er bij een lang dak tussen draagmuren zijn; anders blijft het toch meer flexibel dan het metselwerk van de lange gevel.</p>




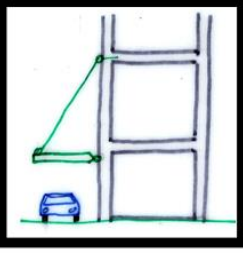




Daken adviezen	Toelichting
	<p>Bij gebouwen zonder zolder moeten er trekstangen van muur tot muur onder het dak gemaakt worden, of een stijve zoldervloer aangebracht. Het hele pannendak kan lichter gemaakt worden door de pannen te vervangen door lichte geprofileerde metalen dakplaten in dakpankleur of dakpanelen met geïntegreerde PV-folies.</p>
	<p>Er kan geen vloerdiafragma gemaakt worden. Bij een grote horizontale dak belasting kunnen de muurplaat en lateien in de muurdikte sterker gemaakt worden; deze moeten sterk aan de dwarsmuren verbonden zijn. In de dakspanten kunnen trekstangen worden aangebracht.</p>
	<p>Gemetselde topgevels worden vanwege hun hoge positie extra belast. De toppen kunnen bij aardbevingen losbreken. Het dak verstijven en goed verbinden is één oplossing. De hele topgevel van een lichtgewicht en flexibel materiaal maken is een veel betere oplossing.</p>
	<p>De gebintfundering zakt na enige tijd. Het dak van de grote schuur drukt daardoor de lange lage muur naar buiten. Door de gebinten hoger op een bredere fundering te zetten komt het dak in de oude positie. De zijmuur kan ingekort of opnieuw gemetseld met een bredere fundering.</p>
	<p>De gebintzetting zal via de kapconstructie de hoge zware kop muren naar buiten drukken. Na het hoger zetten van de gebinten moet hier de muur volledig worden losgekoppeld van het flexibele spant. De hoge zware muur kan aan de binnenkant ondersteund worden met dwarsmuren of frames op een eigen fundering.</p>

De laatste twee voorbeelden laten zien dat een beweging van het dak van de grote schuur ontstaat door de zetting van de fundering van de gebinten; hierdoor worden de muren rondom de flexibele kapconstructie weggedrukt. In zon geval kan niet slechts de muur, of de kap of de fundering worden aangepakt, maar moeten alle drie de aspecten tegelijkertijd worden aangepakt.

7. Schoorstenen en andere uitsteeksels

In baksteen gemetselde schoorstenen hebben een relatief grote massa en zitten hoog in het gebouw. De basis van de gemetselde schoorstenen is vaak onderbroken door series loodslabben, waardoor er geen verticale verbinding in het metselwerk bestaat. Wanneer de gemetselde schoorsteen op een flexibele houten kap staat, wordt de kap in een aardbeving extra belast, waardoor het risico van door het dak vallen of van het dak vallen van de zware schoorsteen wordt vergroot. Inwendige schoorsteenkanalen zijn vaak geheel gebarsten. Scheve (versleepte) kanalen zijn een extra gevaar. Gebouwuitsteeksels kunnen borstweringen, balkons en luifels zijn. Deze moeten zo geconstrueerd zijn dat ze bij een aardbeving geen extra belastingen op de draagstructuur kunnen leveren.

Schoorsteen adviezen	Toelichting
	<p>Een gemetselde spouwmuur schoorsteen heeft een grote massa. Een houten kap is flexibel, ook van rijtjeswoningen. Bij een hoogte tot 7 mag de verhouding tussen de netto basis en de hoogte niet meer zijn dan 4 : 1. Bij > 4/1 moet deze vervangen worden door een RVS geïsoleerd pijpje of een lichtgewicht schoorsteenmodel.</p>
	<p>Bij zware gemetselde schoorstenen die boven de 10 m op een houten kap staan, mag de verhouding tussen de netto basis en de hoogte niet meer zijn dan 3 : 1. Bij > 3/1 moet deze vervangen worden door een RVS geïsoleerd pijpje of een lichtgewicht schoorsteenmodel. Een hoge oude kap moet ook versterkt worden.</p>
	<p>Alle schuine gemetselde schoorsteen kanalen moeten verwijderd worden en vervangen door lichte geïsoleerde RVS pijpen. Vrijstaande gemetselde kanalen in een flexibele houten kap lekken meestal en moeten ook vervangen worden door RVS pijpen. Zware binnen staande schoorsteen kanalen bij voorkeur verwijderen.</p>
	<p>Een zware gemetselde schoorsteen op een stoel geeft bij een aardbeving een dwarsbelasting op de reeds erg kwetsbare geveltop. Deze moet vervangen worden door een kleine RVS-pijp of een lichtgewicht schoorsteen omhulsel met geïsoleerde RVS binnen pijp.</p>

Schoorsteen adviezen		Toelichting
		<p>Zware uitsteeksels aan een gebouw vormen een risico bij aardbevingen. Hoge en zware uitsteeksels zoals schoorstenen ondergaan extra horizontale belasting door de hoogte. Uitstekende of ingeklemde balkons ondervinden extra belastingen en produceren extra momenten in de muren door verticale trillingen.</p>
		<p>Een zware luifel zal door de verticale aardbeving trilling hoge moment belastingen op die muur of kolom uitoefenen. Hierdoor kan de kolom of muur bezwijken en het hele gebouw instorten. Een opgehangen lichtgewicht constructie, of een ondersteunde constructie is veel veiliger.</p>
		<p>Niet beeldbepalende of historische schoorsteen verwijderen; vervangen door RVS pijp die gedeeltelijk onder het dak doorloopt. Hoge borstweringen of uitstekende topgevels vastzetten aan een sterk frame en aan versterkt dak. Zware pleisterwerkornamenten vervangen door duurzame lichtgewicht glasvezel kopieën.</p>
		<p>Over de openbare straat hangende torentjes zijn een extra risico voor voetgangers tijdens een aardbeving. Deze zijn niet op aardbevingen gebouwd en moeten verwijderd worden. Slechts in bijzondere gevallen kan een lichtgewicht glasvezel kopie worden toegepast.</p>

Deze lijstjes geven een voorbeeld van een eenvoudige presentatie over wat geadviseerd is in een aardbevingsgebied. De feitelijke maatregel voor het gebouw hangt af van de te verwachten maximale aardbevingssterkte (de PGA horizontaal en verticaal)⁵ en de details van de constructies. Hiervoor wordt naar de betreffende hoofdstukken verwezen.

⁵ In het geval van Groningen waren er prognose aardbevingen die volstrekt verkeerd werden bepaald. Bij geïnduceerde aardbevingen dient bepaald te worden wat de maximale toelaatbare sterkte is. Daarna moeten de zwakste woningen worden versterkt voordat men de gasproductie opvoert wat eventueel tot iets zwaardere schokken kan leiden. Dit hele proces werd in Groningen verkeerd aangestuurd. Zie andere documenten op www.nienhuys.info tweede pagina 'Aardbevingen' voor dissertatie en korte versies.