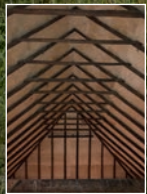


# HOUT BLIJFT WERELDSCHOKKEND

## AARDBEVINGSBESTENDIG BOUWEN



Onlangs is SKH-publicatie 17-01 *Het gedrag van houtconstructies en houtskeletbouw bij aardbevingen* verschenen. Natuurlijk ziet dit document het licht door de gebeurtenissen van de afgelopen jaren in Groningen. Het beschrijft wat er gebeurt tijdens een aardbeving en hoe hout(skelet)bouw hierop reageert, inclusief rekenvoorbeeld.

*Parkvilla's Zuidhorn; ontwerp: Onix NL Groningen. Hout is licht van gewicht; de krachten tijdens een aardbeving zijn daardoor relatief laag.*

De inhoud van de publicatie is technisch van aard: wat is de oorzaak van aardbevingen; hoe duiden we ze aan (schalen van Richter en Mecalli); wat zijn de gevolgen; de aardbeving als belasting; en de reactie van de bebouwde omgeving (gedrag constructie). Daarnaast komen de in NEN-EN 1998 (*Eurocode 8 - Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies*) en de hierop gebaseerde Nederlandse praktijkrichtlijn NPR 9998 (*Beoordeling van de constructieve veiligheid van een gebouw bij nieuwbouw, verbouw en afkeuren - Grondslagen voor aardbevingsbelastingen: geïnduceerde aardbevingen*) aan bod. Daarna wordt het gedrag van houten gebouwen (houten constructies) beschreven. De publicatie besluit met een rekenvoorbeeld, dat het gedrag van een houtskeletbouw-

woning, één uit een rij van vier, uitwerkt. De SKH-publicatie is een vrij compleet document waaraan de praktijk wat heeft.

**Oorzaak aardbevingen** Aardbevingen ontstaan doordat in de tijd opgebouwde spanningen in de (diepe) ondergrond tot lokaal bezwijken leiden. Dat gebeurt in Groningen (gevolg van gaswinning) niet anders dan elders (meestal het onderling verschuiven van tektonische platen). In Groningen werd de bovenbelasting (grondlagen boven de aardgasbel) altijd gedragen door het poreuze gesteente en de in dit gesteente aanwezige gas. In de loop der tijd is circa 80% van het oorspronkelijk aanwezige gas gewonnen, waardoor de gasdruk in het poreuze



FOTO: PETER DE KAN GRONINGEN

gesteente sterk is afgenomen. Daardoor moet het gesteente de bovenbelasting nu vrijwel alleen dragen. Als gevolg wordt het gesteente in elkaar gedrukt (compactie), wat tot bodemdaling leidt.

**Dynamische vergroting** Hier was wel op gerekend. De daling blijkt echter ook schoksgewijs op te treden, er ontstaan breuken. Hierdoor komt in een kort tijdsbestek energie vrij, die tot trillingen (versnellingen) aan het aardoppervlak leidt: aardbevingen. Versnelling is één component die een kracht bepaalt. De andere is de massa (die wordt versneld/vertraagd). Dus:  $\text{kracht} = \text{massa} \times \text{versnelling}$ . Als de versnelling niet constant is qua grootte en richting, zoals bij aardbevingen, kan de massa opslinge-

ren. Dit dynamische effect vergroot de kracht tot:  $\text{kracht} = \text{massa} \times \text{versnelling} \times \text{dynamische vergroting}$ . De versnelling(en) is/zijn afhankelijk van de aardbeving (belasting), de massa en dynamische vergroting van het gebouw (constructie).

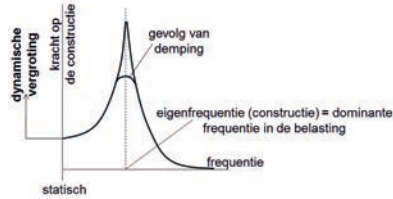
**Aanduiding aardbevingen** Een aardbeving wordt vrijwel altijd aangeduid met 'kracht op de (magnitude)-schaal van Richter'. Dit is een schaal met een *objectief* meetbare grootheid: de bij de aardbeving vrijgekomen energie (Joule). De schaal zegt evenwel niet per definitie iets over de opgetreden schade: een krachtige aardbeving op grote diepte kan veel minder schade berokkenen dan een zwakke op geringe diepte. Een andere ook wel gebruikte schaal is die van Mercalli, die zich richt op de gevolgen, de schade (*subjectief*).

**Gevolgen aardbevingen** De meeste aardbevingen worden niet eens gevoeld. Van een aantal zijn de trillingen aan het aardoppervlak zo groot, dat (een deel van) de bebouwde omgeving niet tegen de daaraan gekoppelde versnellingen kan. De krachten worden zo groot, dat de bebouwde omgeving schade ondervindt of zelfs instort. De redenen hiervoor zijn:

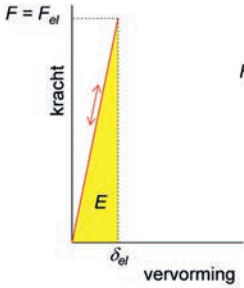
- Opslingeren door zachte grondlagen (in Groningen locatiespecifiek aan de orde)
- Onvoldoende samenhang in de constructie
- Asymmetrische constructieve vormen
- Onvoldoende sterkte van niet-constructieve of secundaire seismische elementen, zoals schoorstenen en borstweringen
- Onvoldoende sterkte-/energie-dissiperend ('vernietigend') vermogen van verbindingen/constructies (bros bezwijkgedrag)
- Zware daken zonder voldoende vooral horizontale weerstand tegen beweging van deze hoog liggende grote massa's
- Bij bestaande (historische) houten gebouwen: afgenomen sterkte als gevolg van aantasting (schimmels, insecten)
- Onvoldoende weerstand tegen branden die na de beving uitbreken.

**Voorbereiden op aardbevingen**  $\text{Kracht} = \text{massa} \times \text{versnelling} \times \text{dynamische vergroting}$ . Blijkbaar zijn lichte gebouwen met hun lage massa in het voordeel: geen zwaar metselwerk, maar lichte staalbouw en houtbouw. De dynamische vergroting is afhankelijk van de zogenaamde eigenfrequentie, een weergave van de verhouding tussen de stijfheid en massa van het gebouw. Een gebouw (constructie) heeft meer eigenfrequenties; de laagste dragen het meest bij aan het gedrag. Indien deze eigenfrequentie(s) in de buurt ligt/licgen van een in de

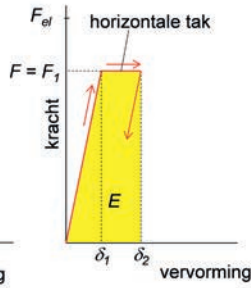
Figuur 1. Dynamische vergroting.



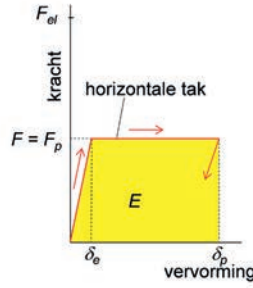
(a) Geen energie dissipatie  
kleine niet blijvende vervormingen



(b) Geringe energie dissipatie;  
kleine blijvende vervormingen



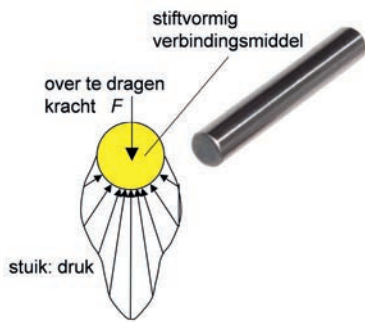
(c) Grote energie dissipatie;  
grote blijvende vervormingen



Figuur 2. Energiedissipatie en het effect op de krachten die de constructie moet opnemen.



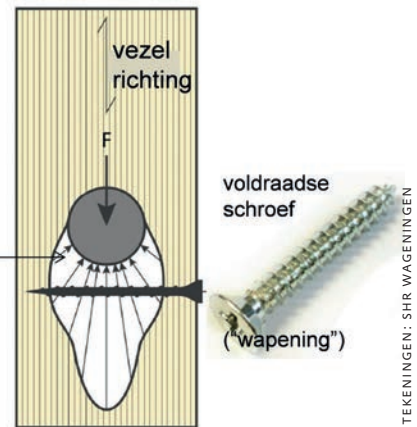
Woonkeuken Groningen; ontwerp: Onix NL Groningen. Aanbouw in hout.



Figuur 3. 'Stiftvormig' verbindingsmiddel belast hout op druk.

Figuur 4. 'Gewapende' verbinding om splijten te voorkomen.

trekcomponent loodrecht op de vezel: reden voor mogelijk splijten



TEKENINGEN: SHR WAGENINGEN

Interieur parkvilla's Zuidhorn; ontwerp: Onix NL Groningen. Een houtconstructie waarbij druk de krachten overdraagt, is in staat energie te dissiperen ('vernietigen').



FOTO'S: PETER DE KAN GRONINGEN

aardbeving voorkomende maatgevende frequentie treedt afhankelijk van de mate waarin de constructie tot demping in staat is, een (sterke) vergroting op (opslingeren). Zie figuur 1.

**Dissiperen energie** Tijdens een aardbeving komt een hoeveelheid energie vrij waarvan een deel de constructies bereikt; die zullen deze energie moeten verwerken. Afhankelijk van de constructieopbouw en de toegepaste materialen kan de constructie meer of minder energie dissiperen, door bijvoorbeeld interne wrijving, wellicht door het omzetten van energie in warmte. De gedissipeerde energie verdwijnt en de constructies worden hiermee dan ook niet belast. Conclusie: hoe meer energie wordt gedissipeerd, hoe minder energie tot daadwerkelijke belasting op de constructie leidt. Zie figuur 2; deze geeft de kracht, werkend op de constructie, weer tegen de vervormingen in de constructie. De energie ( $E$  in figuur 2), leidend tot de krachten die de constructie moet verwerken, is ongeacht het gedrag van de constructie een gegeven. In figuur 2(a) is de constructie NIET in staat energie te dissiperen. Gevolg is dat de constructie grote krachten te verwerken krijgt. In figuur 2(c) kan de constructie VEEL energie dissiperen. Daardoor vervormt de constructie sterk blijvend; de te verwerken krachten zijn echter ten opzichte van het gedrag, geschetst in figuur 2(a), sterk gereduceerd.

**Taai bezwijken** De vraag is nu wat we willen: grote krachten en kleine vervormingen (geen schade) of kleine krachten en grote vervormingen (wellicht veel schade). Dat hangt af van de functie van het gebouw (een kerncentrale mag ook tijdens de zwaarste aardbeving nagenoeg geen schade hebben) en van de zwaarte van de aardbeving (tijdens een relatief lichte aardbeving mag nagenoeg geen schade ontstaan, terwijl tijdens een zware de schade groot mag zijn doch niet tot instorten mag leiden). In het geval van zware aardbevingen, waar vooral de veiligheid een rol speelt (en niet of aangerichte schade nog te herstellen is), verdienen constructies die reageren als figuur 2(c) weergeeft duidelijk de voorkeur: de horizontale tak in de figuur kan zich ten volle ontwikkelen - er treedt zogenaamd taai bezwijken op.

**Stiftvormige verbindingsmiddelen** Als we het materiaal hout beschouwen, moeten we constateren dat de horizontale tak zich vrijwel nooit ontwikkelt: meestal bezwijkt hout zogenaamd bros bij een belasting  $F = F_{el}$ , zoals figuur 2(a) weergeeft. De horizontale tak ontwikkelt zich bij hout uitsluitend als het maatgevend bezwijkmechanisme door druk wordt bepaald. Dat is zelden het geval. Echter, in een verbinding met stiftvormige verbindingsmiddelen (draadnagels, schroeven, bouten, deuvels) worden de krachten wel via druk overgedragen. Zie fi-

guur 3. Indien deze verbindingen bepalend zijn voor het bezwijken van de constructie kan de in figuren 2(b) en 2(c) aangegeven horizontale tak zich wel ontwikkelen; er wordt energie gedissipeerd.

**Conclusies** Het voorgaande leidt tot de volgende conclusies:

1. Hout is licht van gewicht (lage massa), waardoor de krachten die zich tijdens de aardbeving ontwikkelen, relatief laag zijn.
2. Een houtconstructie met verbindingen waarbij druk (loodrecht op of evenwijdig aan de vezel) de krachten overdraagt, is in staat energie te dissiperen, waardoor de te verwerken krachten verder lager worden.

## HOUTEN CONSTRUCTIES WEERSTAAN PRIMA AARDBEVINGSBELASTINGEN



**'Gewapend'** Stiftvormige verbindingsmiddelen in hout kunnen tot splijten leiden; de treksterkte van hout loodrecht op de vezel wordt overschreden. Om dit te voorkomen - omdat bij splijten de in figuur 2 aangegeven horizontale tak zich niet ontwikkelt -, moet de verbinding in voorkomende gevallen, zoals bij wat dikkere stiften/bouten, worden 'gewapend' met bijvoorbeeld veldraadschroeven. Zie figuur 4.

**Berekening hsb-woning** Houten constructies kunnen prima aardbevingsbelastingen weerstaan. De massa is relatief laag, waardoor zich relatief lage krachten ontwikkelen. Tevens is energiedissipatie mogelijk in verbindingen waarin de krachten met drukspanningen worden overgedragen, zoals met stiftvormige verbindingsmiddelen. De samenhang in de constructie kan prima worden gerealiseerd, bijvoorbeeld via plaatvormige elementen (triplex, OSB, spaanplaat). SKH-publicatie 17-01 beschrijft deze zaken meer in detail en maakt die voor de praktijk toegankelijk via een berekening van een hsb-woning. •

ANDRÉ JORISSEN (SHR WAGENINGEN, TU/E EINDHOVEN), WIM DE GROOT (SHR WAGENINGEN)

### HOUTDAG 2017

De auteurs houden een rondetafel over dit onderwerp tijdens Houtdag 2017 (donderdag 23 november, Bomen centrum/Jardin d'Hiverre Baarn). Voor informatie/aanmelding: [www.houtblad.nl/houtdag2017](http://www.houtblad.nl/houtdag2017).