

HET SLIMME BOUWEN

AARDBEVINGSBESTENDIGER
BOUWEN IN GRONINGEN



AARDBEVINGSBESTENDIGER BOUWEN IN GRONINGEN

In deze uitgave worden de principes bij aardbevingsbestendiger ontwerpen toegelicht.

Oplossingen kunnen per project variëren. De initiatiefnemer en/of hoofdconstructeur van het project blijft altijd verantwoordelijk voor het juist toepassen van de in deze uitgave benoemde adviezen.

NAM en haar partners zijn op geen enkele wijze aansprakelijk voor de bouwwerken die met deze adviezen tot stand komen en/of financiële gevolgen die uit het gebruik van dit document voortvloeien.



VOORWOORD	6
AARDBEVINGBESTENDIGER BOUWEN	7
Norm	
Ontwerpprincipes	
Rekenmethodes	
DE 6 ONTWERPPRINCIPES	8
1 Reduceer de massa	10
2 Horizontale weerstand in twee richtingen	11
3 Regelmatigheid in de plattegrond	12
4 Regelmatigheid in hoogte	13
5 Robuust ontwerp	14
6 Materialen en verbindingen met het vermogen om te vervormen	15
BOUWSYSTEMEN	16
Bouwen in steen en beton	
Bouwen in hout	
Bouwen in staal	
Hoogbouw	
FUNDERINGSTECHNIEKEN	17
Funderen op palen	
Funderen op staal (strokenfundering)	
Base isolation	
Invloed van de ondergrond	
VOORBEELDEN	18
De verandawoning	20
De rietwoning	22
De supermarkt	24
De villa	26
De moderne woning	28
De twee-onder-een-kap-woning	30
NIEUWBOUW-INNOVATIE	32
Coöperatie Verderlicht	34
Econstruct	35
Hempflax	36
NBVT	37
Nederboom	38
Refhos	39
Vitavert	41
COLOFON	42

VOORWOORD

Er is steeds meer informatie over aardbevingsbestendiger bouwen. Vanwege de aardbevingen is anders bouwen in Groningen belangrijk. Het langetermijnperspectief voor de regio moet goed blijven. Dat houdt in dat bouwen hier niet significant duurder mag zijn dan in de rest van Nederland. Om dat te bereiken moeten we zoeken naar andere en slimmere manieren van bouwen.

Deze uitgave richt zich op opdrachtgevers en hun adviseurs die aardbevingsbestendigere nieuwbouwprojecten willen ontwikkelen in de regio Noordoost-Groningen. Door kennis te delen en innovatie te stimuleren willen we zorgen voor een hoogwaardig, duurzaam en toekomstbestendig woningaanbod in Groningen. Het slimme bouwen is tot stand gekomen dankzij de medewerking van heel veel partijen die nauw betrokken zijn bij de opgave om in Groningen bevingbestendiger te bouwen.

Twee jaar na de start van de Nieuwbouwregeling en de Nieuwbouw-innovatieregeling zijn er al veel voorbeelden van opdrachtgevers, aannemers en constructeurs die pionieren op het gebied van bevingbestendigere nieuwbouw. Hun daadwerkelijk gerealiseerde projecten worden hier als voorbeeld gesteld. Zo ziet u wat werkt en wat er mogelijk is. En hoewel de normen voor aardbevingsbestendiger bouwen voortdurend veranderen, blijven de ontwerpprincipes van kracht. Als u ze toepast is uw nieuwbouwproject sowieso beter bestand tegen bevingen.

Elk bouwsysteem kan aardbevingsbestendiger gemaakt worden. Het is aan u als opdrachtgever om de voors en tegens af te wegen en een keuze te maken die past bij uw wensen. Voor een optimale en kostenefficiënte oplossing is een integrale benadering nodig vanaf het ontwerp tot en met de uitvoering.

Deze uitgave is tot stand gekomen dankzij de medewerking van de opdrachtgevers en aanvragers van de Nieuwbouwregeling en Nieuwbouw-innovatieregeling. We willen hen daarvoor hartelijk bedanken.

Julia Finkielsztajn, NAM

Harm Hoorn, Zonneveld Ingenieurs

Theo van Wageningen, Ingenieursbureau Dijkhuis

Henk Kerssies, Ingenieursbureau Goudstikker - de Vries

AARDBEVINGSBESTENDIGERE NIEUWBOUW

De bevingen in Noordoost-Groningen zullen nog geruime tijd invloed hebben op de manier van bouwen.

In mei 2014 werden de eerst richtlijnen voor aardbevingsbestendige bouw gepubliceerd in een Interim Advies. Dat advies richtte zich alleen op nieuwbouw. Deze werd in februari 2015 vervangen door een nieuwe norm: de Nationale Praktijk Richtlijn.

NORM

In de Nationale Praktijk Richtlijn (NPR 9998) werd al een stuk meer inzicht gegeven in de te nemen maatregelen, zowel voor nieuwbouw als voor bestaande bouw. De geüpdatete versie van de NPR die eind 2015 verscheen nam ook de invloed van de ondergrond in Groningen mee.

De verwachting is dat de norm de komende jaren zal blijven veranderen. Dit omdat er steeds meer kennis opgedaan wordt over het gedrag van diverse gebouwtypes op verschillende soorten ondergronden. Daarnaast wordt eraan gewerkt om onderdelen van het Bouwbesluit en de NPR beter op elkaar aan te laten sluiten. Dit voorkomt dat de NPR overige bouwwetgeving tegenspreekt. Uiteindelijk zullen de extra eisen waarschijnlijk in het Bouwbesluit opgenomen worden.

ONTWERPPRINCIPES

De ontwerpprincipes voor aardbevingsbestendige bouwen blijven ook bij nieuwe normen overeind. Daarom besteden we hierna expliciet aandacht aan deze principes. Op dit moment (mei 2016) is de norm nog vrijwillig. De aanpassingen van de norm zorgen voor onzekerheid bij opdrachtgevers. Een grote meerderheid probeert echter wel om de laatste inzichten mee te nemen in hun ontwerp.

REKENMETHODES

In principe is het doel van de norm om ervoor te kunnen zorgen dat gebruikers een gebouw veilig kunnen verlaten na een beving. De kans op schade wordt bij een aardbevingsbestendiger bouwontwerp kleiner, maar kan niet uitgesloten worden. De NPR geeft meerdere methodes om aardbevingsbelasting te berekenen:

1 Lateral force methode of analysis

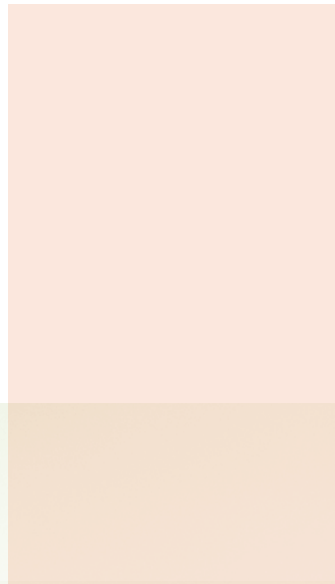
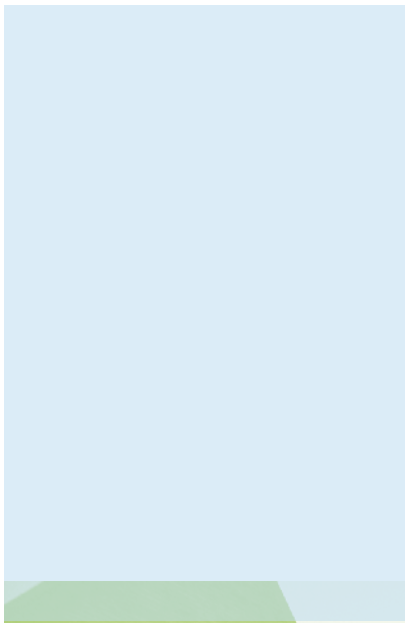
Dit is een eenvoudige en goedkope methode die snel uit te voeren is. Nadeel is dat deze methode minder nauwkeurig is, en leidt tot grove maatregelen en overdimensionering. Deze methode is vooral geschikt voor eenvoudige bouwwerken zoals eengezinswoningen en schuren.

2 Modal response spectrum analysis

Deze methode werkt iets nauwkeuriger en is geschikt voor iets complexere bouwwerken.

3 Non-linear methods

Deze zeer nauwkeurige en dure methode bevat erg complexe en dynamische rekenmodellen. Dit maakt deze methode vooral geschikt voor grote en complexe bouwwerken.





DE 6 ONTWERPPRINCIPES



1

10

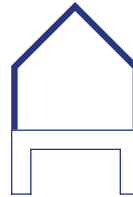
 minder gunstig
 aanbevolen



Reduceer de massa van het gebouw.



Reduceer de massa hoog in het gebouw.



Door de massa van een gebouw zo klein mogelijk te maken neemt de aardbevingsbelasting af.

HARM HOORN
 Zonneveld Ingenieurs

“Minder massa betekent een lagere horizontale kracht bij aardbevingen. Daarnaast zorgt het ervoor dat de hoofddraagconstructie minder krachten op hoeft te nemen.

Het voordeel hiervan is dat de draagconstructie bij een licht gebouw minder sterk hoeft te zijn om de aardbevingsbelasting te weerstaan dan bij een zwaar gebouw.” ”

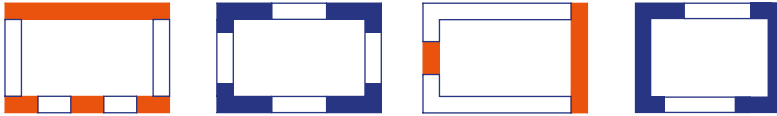
1. REDUCEER DE MASSA

Door de massa van een gebouw zoveel mogelijk te reduceren neemt de aardbevingsbelasting af. De massa kan gereduceerd worden door lichte bouwmaterialen en/of lichte bouwsystemen te gebruiken.

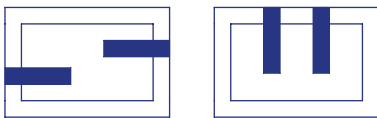
Het is beter om een gebouw zo te ontwerpen dat de zwaarste bouwdelen zich zo laag mogelijk het gebouw bevinden. Voor elementen hoger in het gebouw kunt u dan kiezen voor lichtere materialen. Daarom wordt geadviseerd om zware elementen zoals betonvloeren en gemetselde wanden tot maximaal het niveau van de eerste verdiepingsvloer toe te passen, en daarboven te ontwerpen met een lichter bouwsysteem. Denk bijvoorbeeld aan houtskeldebouw of staalframebouw in combinatie met steenstrips en lichtgewicht dakpannen.

HORIZONTALE WEERSTAND IN TWEE RICHTINGEN

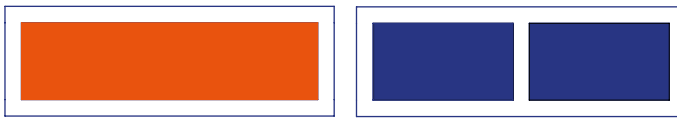
2



Voorkom torsie door het gebruik van dichte hoeken en verdeling van openingen.



Zorg voor een stabiliteitsvoorziening in het zwaartepunt.



Beperk de lengte/ breedte verhouding tot maximaal 3:1.

Het is belangrijk om in beide richtingen voor stabiliteit te zorgen en zo torsie te voorkomen.

2. ZORG VOOR HORIZONTALE WEERSTAND IN TWEE RICHTINGEN

Omdat de krachten uit een beving in alle horizontale richtingen kunnen optreden en in alle richtingen even groot kunnen zijn moet het ontwerp daarop worden afgestemd.

Het gevolg van het onjuist toepassen van deze ontwerpregel is torsie (draaiing) van het gebouw. Dit levert bij een aardbeving vaak de grootste schade op en moet zoveel mogelijk voorkomen worden. Dit kan door het toepassen van dichte hoeken en stabiliteitswanden. Het heeft de voorkeur om stabiliteitswanden per richting zoveel mogelijk met dezelfde lengte aan de gevels van het gebouw te plaatsen.

Voor een gelijkmatige krachtenverdeling is het belangrijk om de stabiliteitsvoorzieningen zo symmetrisch mogelijk te plaatsen. Als dat niet kan, dan kan ervoor gekozen worden om in één richting minimaal één stabiliteitsvoorziening toe te passen in

het zwaartepunt van het nieuwe gebouw. Het heeft de voorkeur om dit in de lengterichting te doen.



Om de optredende horizontale krachten op te kunnen nemen kan het verstandig zijn om lange gesloten wanden als stabiliteitsvoorziening in het ontwerp op te nemen- in het geval van zware bouwsystemen. Bij lichte bouwsystemen zijn de horizontale krachten kleiner. Hierdoor kan er meer ontwerp vrijheid ontstaan.

Het advies bij zware bouwsystemen is de verhouding tussen lengte en breedte van het gebouw tot $L/B = 3$ te beperken. Bij langere gebouwen zijn dilataties en meer stabiliteitsvoorzieningen in de lengterichting nodig.

De verticale krachten zijn normaal gesproken minder sterk dan de horizontale. Daarom hoeft minder rekening gehouden te worden met de verticale krachten.

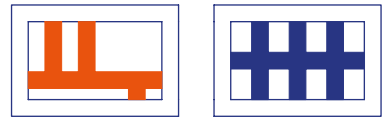
3

12

 minder gunstig
 aanbevolen



Zorg voor regelmatige vorm en waar nodig een dilatatie.



Zorg voor een regelmatige verdeling van ruimten.

Een symmetrische plattegrond zorgt voor een betere verdeling van de kracht en daarom minder kans op schade.

THEO VAN WAGENINGEN
 Ingenieursbureau Dijkhuis

“Het ontwerpen van aardbevingsbestendige constructies kan soms leiden tot complexe en tijdrovende berekeningen. Het is daarom van groot belang om uit te gaan van een heldere constructieve opzet met een eenduidige krachtswerking.” ”

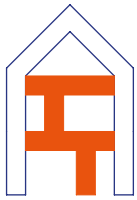
3. ZORG VOOR REGELMATIGHEID IN DE PLATTEGROND

Het ontwerp van de plattegrond dient zo symmetrisch mogelijk te zijn, en bij benadering rechthoekig. Als dat niet lukt kan de plattegrond opgeknipt worden in rechthoekige delen door middel van dilatatielijnen zodat elk afzonderlijk deel voldoet aan de regelmatigheidseisen.

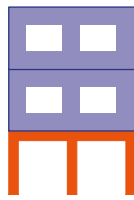
In de plattegrond is het verstandig de wanden zo gelijkmatig en symmetrisch mogelijk te verdelen. Dat geldt zeker voor wanden die als stabiliteitswand kunnen worden aangemerkt. Grote uitsparingen in vloeren, zoals trapgaten, dienen zo symmetrisch mogelijk geïntegreerd te worden.

Alle onderdelen van het gebouw dragen bij aan een vergroting van de bevestigingsbestendigheid. Bij een ontwerp met een gelijkmatige verdeling van de draagconstructie is een gelijkmatiger krachtsafdracht mogelijk waarbij er minder kans is op schade.

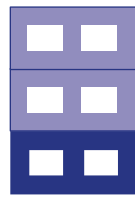
4



Plaats wanden boven elkaar.



Vermijd een draagstructuur met kolommen beneden en zware bovenbouw.



Zorg voor gelijkmatige verdeling van openingen.



Vermijd grote overstekken en vides.



Het boven elkaar positioneren van wanden, kolommen en wandopeningen maakt een gebouw sterker.

4. ZORG VOOR REGELMATIGHEID IN HOOGTE

Bij het ontwerp van het gebouw is een heldere draagstructuur het uitgangspunt. Daarbij zijn de dragende wanden boven elkaar geplaatst en worden asymmetrische structuren vermeden. Verder is er sprake van regelmatige verdeling van gevelopeningen ten behoeve van zoveel mogelijk symmetrie in de hoogte en in de lengte. Hierdoor worden verschillen in verplaatsingen vermeden.

Een zwakke etage heeft een gevel met daarin grotere raamopeningen dan in de etage erboven of heeft een zware gesloten gevel daarboven. Een dergelijk gevelontwerp is zeer ongunstig en vraagt overdimensionering van het gebouw in combinatie met een zorgvuldige krachtenafdracht richting de fundering.

Het is raadzaam een draagstructuur met wanden op kolommen te vermijden. In het ontwerp is het aan te bevelen om niet te kiezen voor grote overstekken of vides

Als een gebouw uit meerdere delen bestaat met een verschillend aantal verdiepingen per bouwdeel, dan zorgen de hoogteverschillen voor meerdere zwaartepunten. Dat betekent dat sommige gebouwdelen andere bewegingen kunnen vertonen tijdens een beving dan andere delen. Het is dan raadzaam om te kijken welke delen gekoppeld, en welke juist gedilateerd moeten worden.

5

14

- minder gunstig
- aanbevolen

Zorg voor een sterke en stevige constructie bij het toepassen van een zwaar bouwsysteem.



Zorg voor een sterke en stevig gebouwde constructie.

HENK KERSSIES

Ingenieursbureau Goudstikker-de Vries

"In de ontwerpfase van een aardbevingsbestendiger gebouw kan de ontwerper kiezen tussen twee constructietypen: 1. Een ductiele constructie met het vermogen om te vervormen. Deze heeft de neiging om mee te bewegen met een opgelegde horizontale kracht en hoeft maar een deel van deze kracht zelf op te nemen.

5. ZORG VOOR EEN ROBUUST ONTWERP

Met robuust wordt hier een sterke en stevige constructie bedoeld. Dit principe is van toepassing als u kiest voor een steenachtige constructie zoals beton. Als u kiest voor houtskeletbouw of staalframebouw is dit principe minder van belang en is ook meer vrijheid in ontwerp mogelijk. In de praktijk betekent dit een andere denkwijze waarbij 'minimaal' niet langer volstaat.

Dat betekent het volgende:

- continuïteit; de onderlinge verbindingen van de elementen zijn even sterk als de elementen zelf.
- wanden worden rondom optimaal gesteund, ook vierzijdig gekoppeld aan vloeren.
- langswanden optimaal gesteund, waar mogelijk met extra dwarswanden.
- elementen verticaal gekoppeld in plaats van droge stapelbouw. Dit betekent het verbinden van wanden en vloeren.

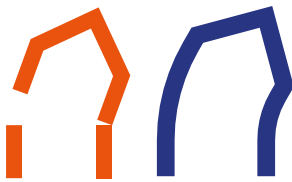
De robuustheid kan vergroot worden door geen grote gevelopeningen toe te passen en de vloeroverspanning niet te maximaliseren. Daarnaast is het aan te raden om geen hoge, lange en slanke gebouwen te ontwerpen.

Speciale aandacht is vereist voor het ontwerp en de detaillering van andere risicovolle elementen die niet tot de hoofddragconstructie behoren. Het gaat dan om schoorstenen, dakopstanden, ornamenten, balkons en luifels. Bij deze elementen is de kans op schade en valgevaar aanmerkelijk groter.

Dit kan beperkt worden door deze niet in het ontwerp op te nemen of uit te voeren met adequate constructie en/of in lichte materialen. Denk bijvoorbeeld aan kolommen onder een balkon of een lichtgewicht schoorsteen met steenstrips. Ook voor gemetselde buitenmuren zijn voldoende alternatieven beschikbaar.

MATERIALEN EN VERBINDINGEN MET HET VERMOGEN OM TE VERVORMEN

6



Gebruik materialen en details met het vermogen om te vervormen.

2. Een robuuste constructie. Deze is stijver en heeft een hogere weerstand dan een ductiele constructie. Des te hoger die weerstand, des te groter is het krachtopnemende vermogen van de constructie."

Goed toepasbare ductiele materialen zijn o.a. staal en hout. Het is beter om brossere materialen zoals metselwerk en ongewapend beton te vermijden.

6. GEBRUIK MATERIALEN EN VERBINDINGEN MET HET VERMOGEN OM TE VERVORMEN

Ductiliteit is de mate waarin een materiaal vervorming toelaat onder wisselende belastingrichtingen zonder te bezwijken.

Een bevestigingsbestendiger ontwerp met ductiel materiaal is gebaseerd op de vorming van een stabiel bezwijkmechanisme (opname van de energie uit een beving) in uiterste grenstoestand. Dit zorgt ervoor dat elementen niet bezwijken maar dat er vervorming ontstaat bij bewust gekozen plastische scharnieren in de verbindingen of in de elementen.

De plastische sterkte van de aansluiting dient hoger te zijn dan de sterkte van de aansluitende elementen; bij een plastisch scharnier in een element dient de sterkte van de verbindingen hoger te zijn. In beide gevallen zal wel een grote vervorming, maar geen breuk optreden. Bijkomend voordeel is dat de constructie krachten beter kan verdelen naar andere, sterkere

elementen zonder te bezwijken.

Een ductiele constructie is het beste te vergelijken met een apparaat dat uitgevoerd is met meervoudig aanwezige onderdelen dat blijft functioneren als één of meer onderdelen defect raken of verloren gaan.

BOUWSYSTEMEN

Bij aardbevingsbestendiger bouwen kiezen we tijdens het ontwerpproces de juiste uitgangspunten. Naast het slim toepassen van de ontwerpprincipes is het belangrijk dat het bouwsysteem en de funderingstechniek aansluiten bij het ontwerp.

Bouwen in steen en beton

In Nederland bouwen we traditioneel gezien vooral in steen en beton. Dit is een relatief zware manier van bouwen. Zwaardere constructies krijgen meer aardbevingsbelasting te verduren, waardoor maatregelen nodig zijn om het object aardbevingsbestendiger te maken. Bij een bak- of kalkzandstenen constructie ontbreekt voldoende schijfwerking, waardoor de constructie meestal moet worden versterkt met bijvoorbeeld staal. Dit is behoorlijk kostbaar.

Gewapende betonnen wanden en vloeren leveren wel de gewenste schijfwerking. Het koppelen van vloer, wand en fundering is een aandachtspunt door ingewikkelde verplichte detaillering bij bouwen in zwaardere stenen bouwsystemen. Daarnaast zijn er in de norm minimale afmetingen bepaald qua dikte van de wanden die veel groter zijn dan wat we gewend zijn.

Op dit moment zijn de meerkosten van aardbevingsbestendiger bouwen in steen en beton hoger dan bij bouwen in hout of staal.

Bouwen in hout

Steeds meer mensen kiezen voor een aardbevingsbestendigere woning in een houten bouwsysteem. Hout is relatief licht en ductiel, gunstige eigenschappen voor aardbevingsbestendiger bouwen. Naast hout kan er als gevelafwerking ook gekozen worden voor steenstrips of gevelpanelen.

Houten constructies worden ook regelmatig gebruikt als optopping op een stenen bouwconstructie. Op deze manier wordt ontwerpprincipe 'reducere gewicht in de hoogte' toegepast. Er zijn diverse houtbouwsystemen in omloop naast traditionele houtskeletbouw, waaronder gelamineerd massief houten elementen, loghuizen en sandwichpanelen.

Bouwen in staal

De constructie van de woning kan ook in staal worden opgebouwd. Het voordeel hiervan is, net als bij een houten constructie, dat het om een lichte constructie gaat. Dit zorgt voor een grote ontwerpvrijheid: ook uitdagendere bouwvormen kunnen hiermee aardbevingsbestendiger worden uitgevoerd. Er worden veel stappen gemaakt op het gebied van innovatieve staalbouw. Courante bouwsystemen in staal zijn koudgeformde staalprofielen en staalspantenbouw.

Hoogbouw

Bij hoogbouw spelen een aantal andere aspecten een rol. Allereerst is er bij hoogbouw vaak sprake van een behoorlijke massa. Dit heeft gevolgen voor zowel de fundering als de stabiliteitselementen in de bovenbouw.

Bij het ontwerpen van hoogbouw moet nauwkeurig onderzocht worden hoe binnen de geldende kaders met betrekking tot windbelasting en de overige eisen van het bouwbesluit een optimale constructie ontworpen kan worden waarbij de aardbevingsbelasting wordt geminimaliseerd. Hierbij kan gedacht worden aan het reduceren van de massa, het verhogen van de ductiliteit of het toepassen van Base isolation.

RINSE WIERSUM W2N engineers

De laatste jaren zijn wij als bureau zeer betrokken bij het ontwerpen van aardbevingsbestendige constructies. We gebruiken diverse rekenmethodes en proberen andere bouwmaterialen toe te passen voor een geoptimaliseerd ontwerp. We zijn vanaf het prille begin bijvoorbeeld voorstander van het gebruik van houtskeletbouw in het aardbevinggebied vanwege het lage gewicht en het vermogen om vervormingen te kunnen weerstaan. Voor de nieuwbouwregeling hebben we diverse ontwerpen in houtskelet aangeleverd. Samen met onze uitgekende rekenmethodes zorgt dit voor een reductie van de meerkosten bij aardbevingsbestendiger bouwen



FUNDERINGSTECHNIEKEN

Funderen op palen

Wanneer de ondiepe ondergrond onvoldoende draagkracht heeft, wordt er meestal gefundeerd op palen. Bij funderen op palen zijn er een aantal specifieke aandachtspunten: de extra horizontale wapening in de paal, de koppeling van de paal aan de funderingsbalk (bovenste 4 meter) en de koppeling van de funderingsbalk aan de begane grondvloer met extra stekeinden.

Funderen op staal

Bij voldoende draagkracht van de grond kan er ook worden gefundeerd op strokenfundering. Dit is een funderingswijze waarbij de muren of wanden via de fundering rechtstreeks op de draagkrachtige bodem rusten. Bij deze manier van funderen zijn het koppelen van het metselwerk aan de fundering en de koppeling tussen de fundering en de begane grondvloer aandachtspunten.

Base isolation

Een andere manier van funderen is base isolation. Hierbij wordt het gebouw losgekoppeld van de fundering waardoor er speling tussen beide mogelijk is. Door deze speling kan een deel van de aardbevingbelasting worden opgenomen.

Base isolation is een vrij kostbare toepassing en kan vooral efficiënt worden toegepast bij zwaardere en hogere bebouwing zoals woontorens met een compacte footprint. Voor vrijstaande woningen en langere lage bebouwing zoals rijwoningen is deze manier van funderen vooralsnog minder geschikt. Men verwacht nog wel de nodige innovatie op dit gebied.

Invloed van de ondergrond

Er komt steeds meer inzicht over de invloed die de ondergrond speelt bij de bebouwing. Bij nieuwbouw worden altijd sonderingen gemaakt om de lokale grond in kaart te brengen. Soms moeten er nu zelfs seismische diepe sonderingen worden uitgevoerd. Dit heeft te maken met de kans op verweking, die in Noordoost-Groningen nog niet helemaal uitgesloten is. Dit kan uitgesloten worden door middel van die seismische sonderingen en vervolgonderzoek naar de waterspanning tussen de zandkorrels.

Bij de tot op heden opgetreden aardbevingen in het gebied zijn geen locaties vastgesteld waar verweking is opgetreden. Voor klei- en veenlagen bestaat dit gevaar niet of nauwelijks. Bij potklei is geen risico op verweking aanwezig.

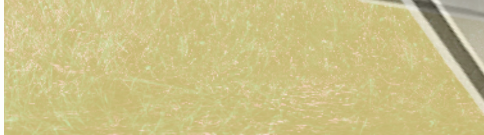
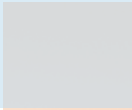
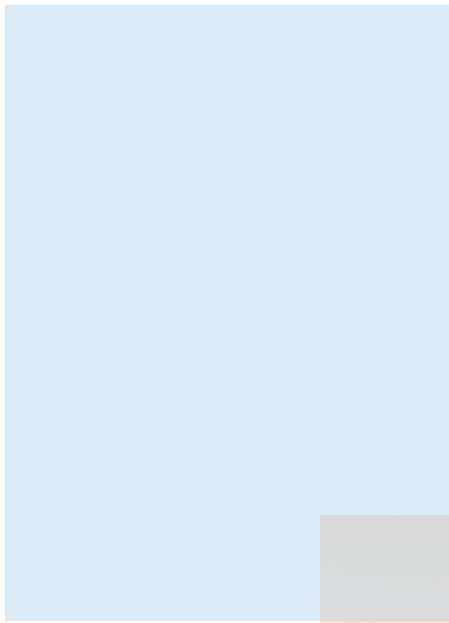
JACOB PRINS

Geveke Bouw en Ontwikkeling

“Op dit moment bouwen wij één appartementencomplex direct op Base Isolation. Twee andere appartementencomplexen worden tijdens het bouwen bouwkundig versterkt met Base Isolation. Omdat deze appartementen al verkocht waren was wachten voor ons geen optie. Daarom hebben we ervoor gekozen om gelijktijdig te bouwen en te onderzoeken hoe we konden voldoen aan de Nationale Praktijk Richtlijn. Uiteindelijk kozen we op advies van Zonneveld Ingenieurs voor Base Isolation.

De krachten van een aardbeving worden hierbij opgevangen doordat het gebouw en de fundering los van elkaar kunnen bewegen op zogenaamde ‘sliders’, twee eierschalen met daartussen een met teflon beklede donut die ervoor zorgt dat de schalen onafhankelijk van elkaar kunnen bewegen. Het hele proces rondom bouwen en versterken met Base Isolation wordt gefilmd. Zo kunnen we van dit project leren voor de toekomst.”





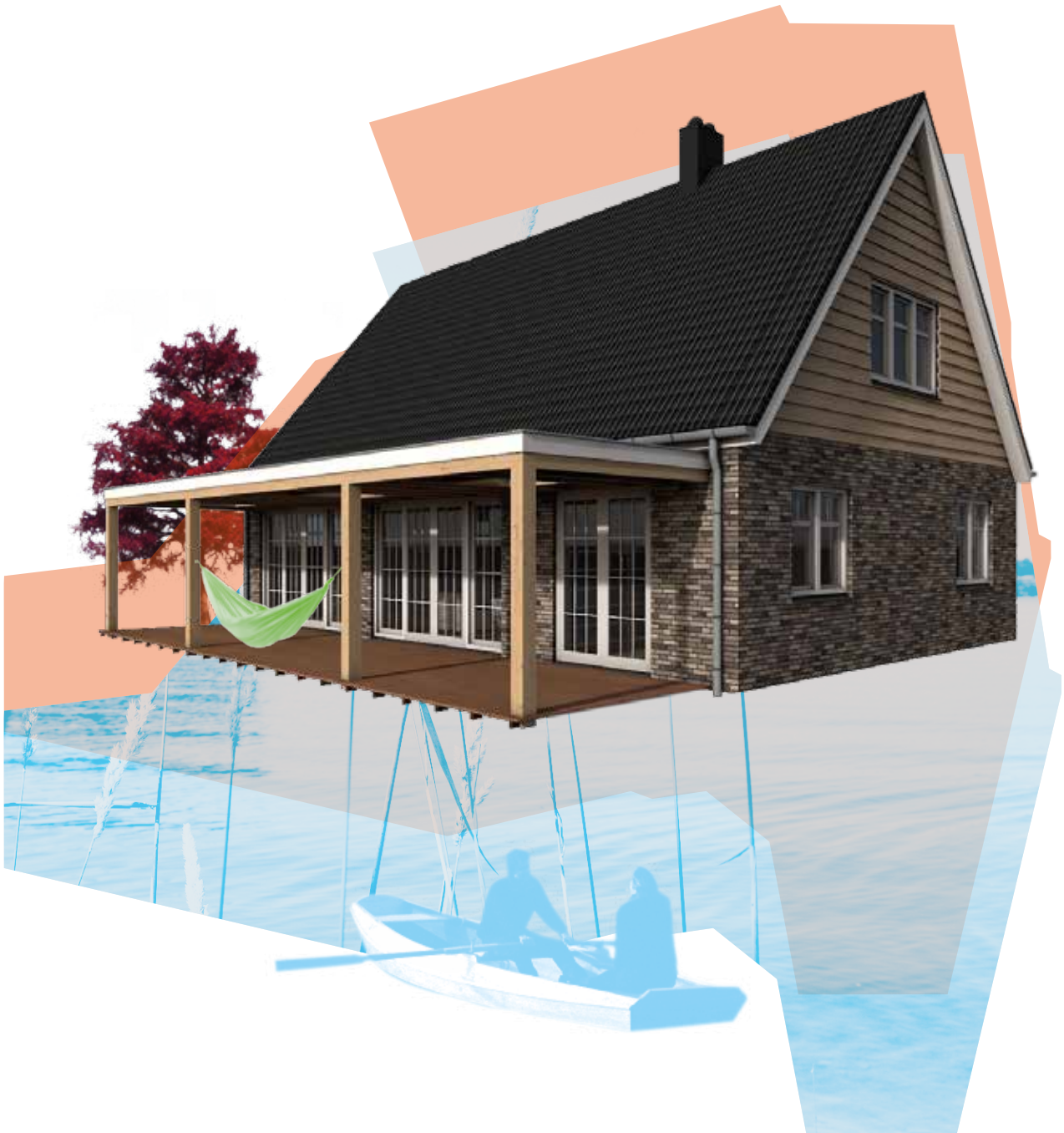
VOORBEELDEN

AARDBEVINGSBESTENDIGERE

NIEUWBOUWPROJECTEN

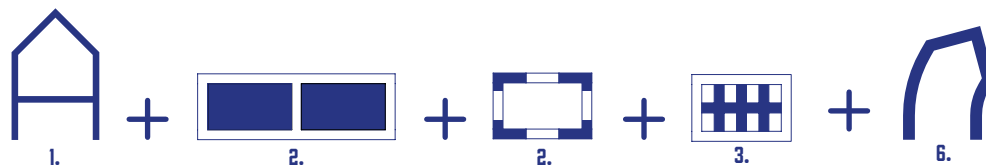
2014 - 2016





DE VERANDAWONING

architect Architraaf architecten en ingenieursbureau
constructeur Architraaf
aannemer Micasa
bouwsysteem Massief houtbouw



Dit huis is volledig gebouwd in houtskeletbouw: een licht bouwsysteem dat zorgt voor een reductie in de massa van het gebouw. De rechthoekige vorm en de gunstige verhouding tussen lengte en breedte van de woning zorgt voor een robuust geheel. Ook is de plattegrond zeer regelmatig en gaat het om een symmetrische draagstructuur.

Het huis wordt gedragen door een ringbalk op palen, waarop een betonnen begane grondvloer ligt. De verdiepingvloer is uitgevoerd door middel van een houten balklaag. Het dak is een 'sporenkap'. Hierbij lopen de houten balken (de sporen) van de nok tot de dakvoet, dus schuin omlaag, waarbij de horizontale en verticale krachten uit de kapconstructie worden opgevangen door de muurplaat. De muren zijn opgebouwd uit lichtgewicht houtskeletbouwelementen.

BEWONERS AAN HET WOORD

"Ik kan er heel kort over zijn, mijn ervaring is zeer positief. Ons huis wordt half februari 2016 opgeleverd. Wij hebben een relatief lichte woning gebouwd, zodat wij er financieel beter van zijn geworden. Onze woning heeft maar een aantal verzwaren gekregen in de vloer en in de wanden. Wij hebben dus totaal niet af hoeven wijken van onze plannen. Ook was de beoordeling en uitbetaling snel geregeld. Alle lof voor NAM. Dat mag ook wel een keer vermeld worden."

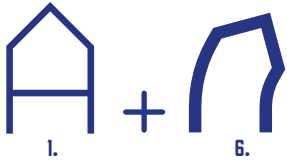


Het bouwsysteem geeft hier de vrijheid om de woning naar eigen smaak in te delen.



DE RIETWONING

architect Burovanplan
constructeur Ab Nanninga
aannemer Peter Knol Bouwbedrijf
bouwsysteem Staalstructuur met houtskeletbouw



Deze woning is aardbevingsbestendiger gemaakt door een aantal ontwerpregels toe te passen. De draagstructuur is opgezet in staal in combinatie met houten wanden en vloeren.

De woning is gefundeerd op prefab betonpalen met daarop een gestorte begane grondvloer. Deze vloer zorgt voor schijfwerking en een gelijkmatige verdeling van de belastingover de palen.

De verdiepingvloer is een houten balklaag met plaatmateriaal en fungeert als schijf. De woning is afgewerkt met houten bekleding; dit geeft de woning een landelijk en toch modern uiterlijk.

BEWONERS AAN HET WOORD

“Bij onze aanvraag stond de Nieuwbouwregeling nog in de kinderschoenen, wat voor een hoop onduidelijkheid zorgde. Logisch, en dat zal nu een stuk soepeler gaan. Aan de bereidheid van NAM lag het niet: de wil was er absoluut en uiteindelijk kwam alles goed. Je moet een paar concessies doen om veiliger te wonen. De staalconstructie van ons huis is extra dik uitgevoerd; door de woning een industrieel uiterlijk te geven past dit bij het huis. Uiteindelijk zijn wij tevreden met het resultaat. Het wonen in een bevingsbestendiger huis geeft een veilig gevoel.”



De staalconstructie zorgt voor meer vrijheid bij het plaatsen van de wanden en het toepassen van een grote raampartij in de voorgevel.

WINKELIER AAN HET WOORD

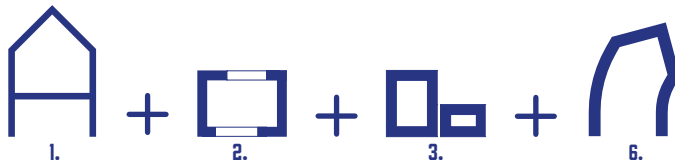
“Midden in de aardbevings-regio een nieuwe supermarkt met brasserie bouwen, dat wilden we heel graag. Natuurlijk moet je dan rekening houden met de aardbevingen. Daarom ben ik erg blij met de constructieve rol van de Nieuwbouwregeling. Natuurlijk hebben we discussies gehad, maar altijd met het doel om ons verder te helpen.

Voor alle betrokkenen was de bouw een nieuwe en leerzame ervaring, omdat dit nog niet eerder gedaan is in Nederland. Over het algemeen hebben we precies gekregen wat we wilden. Zo was het toch mogelijk een grote glazen pui te realiseren en staan alle koelingen op rubbers en hebben ze flexibele leidingen zodat ze blijven werken na een beving. Een van de weinige concessies is het gebruik van steenstrips in plaats van baksteen. Nu staat het prachtige eindresultaat er. Wij zijn er superblij mee.”



DE SUPERMARKT

architect + Peil Architecten
constructeur W2N Engineers
aannemer Jorritsma Bouw
bouwsysteem Staalconstructie



ALBERT HEIJN TE LOPPERSUM

In Loppersum staat de eerste aardbevingsbestendigere supermarkt met brasserie van Nederland. Om dit voor elkaar te krijgen is gebruik gemaakt van een licht bouwsysteem.

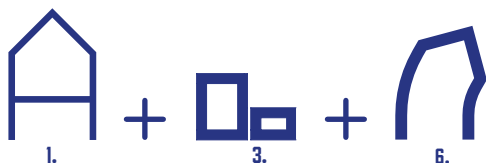
De constructie is opgezet in een staalstructuur waarbij gebruik is gemaakt van stabiliteitsverbanden in beide richtingen. Verder heeft het gebouw een regelmatige en symmetrische plattegrond, waardoor de belasting over het geheel wordt verdeeld.

Om het gebouw een passend uiterlijk te geven is aan de kant van de brasserie gebruik gemaakt van steenstrips. Steenstrips zijn een stuk lichter dan een traditionele bakstenen gevel en daardoor geschikt voor aardbevingsbestendige nieuwbouw.





constructeur ingenieurbureau W2N
aannemer Bouwbedrijf U. Veenstra
bouwsysteem Houtskeletbouw



Deze woning is een goed voorbeeld van het toepassen van de ontwerpprincipes voor aardbevingsbestendiger nieuwbouw. Dit valt allereerst op in de plattegrond van de woning. Deze is nagenoeg vierkant en hij is symmetrisch.

De garage is middels een zogeheten dilatie losgekoppeld van de rest van de woning voor optimale symmetrie en om torsie te voorkomen.

Daarnaast is de woning in een licht bouwsysteem uitgevoerd, namelijk houtskeletbouw. Hierdoor treden er minder hoge krachten op tijdens een beving en hoeven er dus ook minder extra maatregelen te worden toegepast.

BEWONERS AAN HET WOORD

Je weet dat je in dit gebied rekening moet houden met aardbevingen. Na aanmelding bij de Nieuwbouwregeling werd de werkwijze duidelijk aangegeven en werden we goed begeleid.

Uit de constructieberekeningen bleek dat we met meer en dikkere palen moesten heien. Ook werd geadviseerd zo symmetrisch mogelijk te bouwen, geen bakstenen meer boven de goot en bij voorkeur een lichte bouwconstructie, zoals houtskeletbouw.

Daarnaast hebben we dilatatievoegen gebruikt bij de aangebouwde garage en hebben we ervoor gekozen geen grote raampartijen en erkers in het bouwplan op te nemen. Inmiddels wonen we met veel plezier in het huis en vertrouwen we erop dat dat bij aardbevingen veilig zal zijn en dat er geen of minimale schade zal optreden. ”

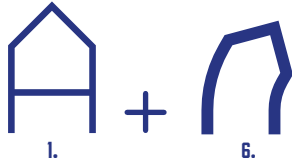


Om torsie te voorkomen is de garage 'losgeknipt' van de woning.



DE MODERNE WONING

architect OK huis
constructuur Haank bouwkundig ingenieursbureau
aannemer Kuipers & Koers Bouw
bouwsysteem Staalframe, koudgeformde stalen liggers en kolommen



Een vrijstaande woning van staalframebouw. Dit lichte bouwsysteem zorgde voor een significante reductie van de massa. Daarnaast zorgt het bouwsysteem ervoor dat de asymmetrie in hoogte gecompenseerd wordt.

Ten bate van de symmetrie werd de garage langer gemaakt. Dit voorkomt torsie. Het huis beschikt ook over stabiliteitswanden in beide richtingen. De staalconstructie zorgt ervoor dat horizontale belasting goed te verdragen is. Door het toepassen van flexibel stucwerk is de kans op scheurvorming nog verder geminimaliseerd.

Deze woning laat zien dat ontwerpkeuzes die niet optimaal zijn, toch mogelijk zijn op het moment dat andere principes goed zijn toegepast



BEWONERS AAN HET WOORD

Vanaf eind 2013 dachten we na over nieuwbouw. Uiteindelijk hebben we een perfecte kavel kunnen bemachtigen. Omdat de ondergrond van de kavel tot ruim 25 meter uit kleigrond bestaat was het noodzakelijk om licht te bouwen met een lichte fundatie. Een traditionele bouwwijze zou een hele dure fundering betekenen.

Na een hoop onderzoek hebben we gekozen voor een staalframe op een lichte fundatie. Een ideaal project voor aardbevingsbestendiger bouwen. Na aanmelding werkte NAM prettig met ons samen. De kortere heipalen staan nu niet op een vaste laag, maar dragen de constructie op basis van 'kleefkracht'. Enige concessie: de garage is verlengd (en dus groter) om zo meer horizontaal draagvlak te creëren. Tot nu toe hebben we geen schade ondervonden in ons nieuwe huis. ”



DE TWEE-ONDER-EEN-KAP-WONING

architect Jongasma | Dijkhuis architectenbureau BNA
constructeur Ingenieursbureau Goudstikker- de Vries
aannemer Bouwbedrijf Kooi
bouwsysteem Prefab beton in combinatie met houtskeletbouw



Bouwbedrijf Kooi bouwde in Appingedam 4 twee-onder-een-kapwoningen die aardbevingsbestendiger opgeleverd worden. De woningen zijn een combinatie van prefab beton op de begane grond en houtskeletbouw vanaf de etage.

Er is gebruik gemaakt van een funderingsplaat die op palen rust, en de betonvloeren zijn voorzien van een druklaag.

Daarnaast zijn in beide richtingen stabiliteitswanden geplaatst om horizontale belastingen te kunnen verdragen, en zijn gevelopeningen zoals ramen en deuren redelijk ver uit de hoeken geplaatst.

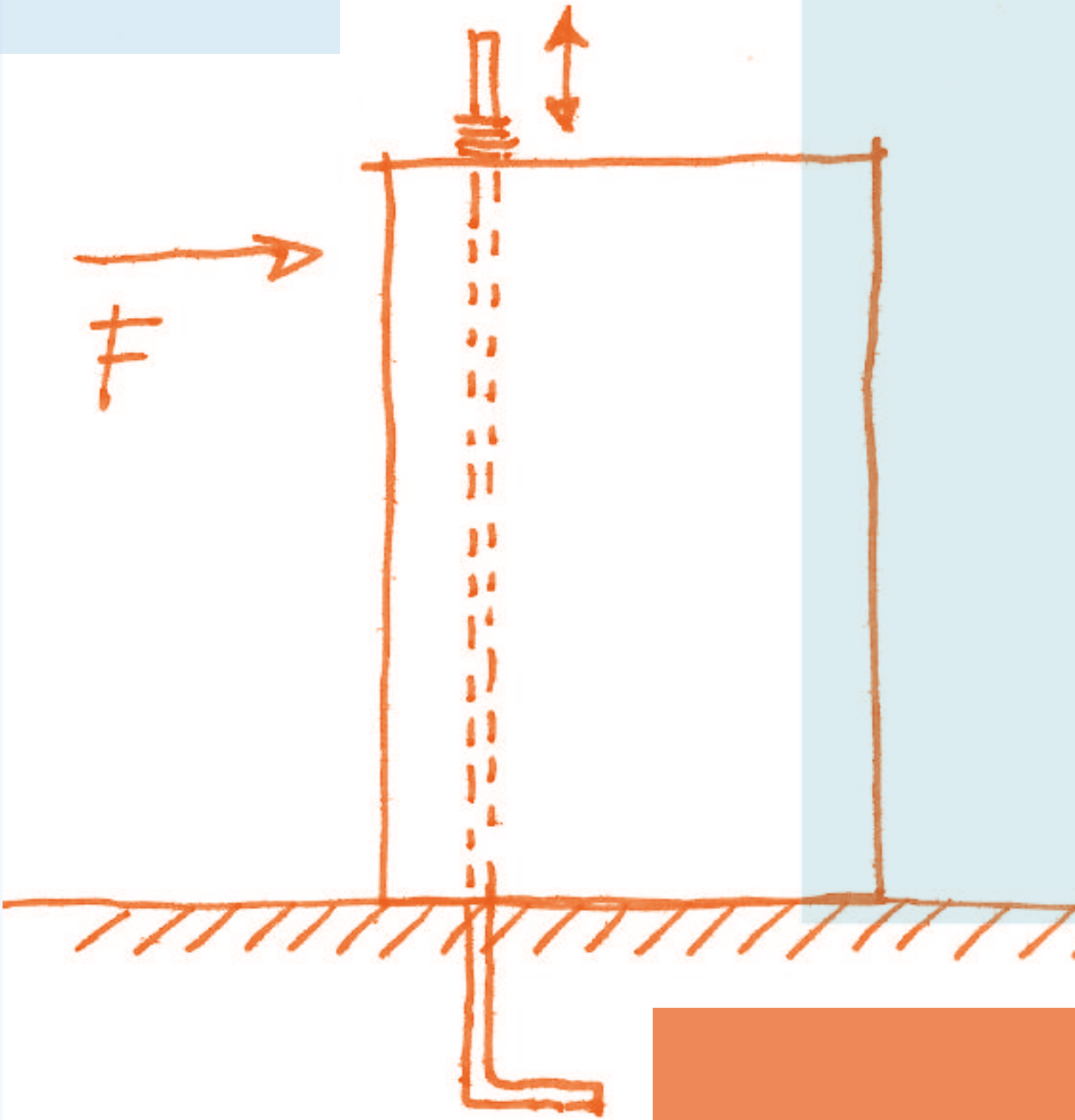


De garages zijn constructief los geknipt van de woning voor een regelmatige plattegrond.

AANNEMER AAN HET WOORD

In 2015 is bouwbedrijf Kooi gestart met 3 projecten die deelnemen aan de NAM Nieuwbouwing: een vrijstaande woning, 8 huurappartementen en 8 twee-onder-een-kapwoningen. We zijn goed en uitvoerig over de regeling geïnformeerd. Omdat we in alle drie de gevallen al vergoed waren in het ontwerp kozen voor de 'redelijke meerkosten'.

Het proces verliep uitstekend door de korte lijnen met NAM en de constructeur. De snelle screening, toetsing en financiële afhandeling zorgden ervoor dat we volgens planning konden starten met de bouwwerkzaamheden. Als bouwbedrijf hebben we veel geleerd en brede kennis en inzichten opgedaan op het gebied van aardbevingsbestendiger bouwen. De bewoners zijn ook erg tevreden; zij voelen zich nu veilig in hun woningen in Appingedam. ”



De Nieuwbouw-innovatieregeling biedt ondersteuning bij het ontwikkelen van innovatieve ideeën voor bevestigingsbestendigere nieuwbouw van woningen in het gebied boven het Groningen-gasveld. De regeling is een samenwerking tussen NAM, EPI-kenniscentrum, gemeente Loppersum en Economic Board Groningen en richt zich op ondernemers, ontwerpers en aandragers van innovatieve oplossingen.

Het doel van de regeling is een bijdrage leveren aan de ontwikkeling van duurzame, courante en aardbevingsbestendigere woningen. Hiermee wil de regeling de ontwikkeling van kwalitatief hoogwaardige woningen in Groningen die in de basis al aardbevingsbestendiger zijn versnellen. Bijdragen aan de ontwikkeling van duurzame, courante en aardbevingsbestendigere woningen.

De deelnemers aan de regeling zijn in onze ogen co-creators van de regeling: zij bepalen het succes ervan. Tot nu toe zijn er 2 studierondes geweest waarin 24 samenwerkingsverbanden een cofinanciering ontvangen hebben om hun idee te testen. Daarbij valt op dat er niet alleen compleet nieuwe ideeën getest worden, maar dat ook onderzoek gedaan wordt naar het aanpassen van bestaande producten voor de Groningse situatie.



TRADITIONEEL BOUWEN MET LICHTE PANELEN

In de Verenigde Staten en delen van Azië wordt al jaren gebouwd met Structural Insulated Panels (SIPs). In Nederland is het nog een relatief nieuwe bouwmethode, maar wel één met perspectief.

Coöperatie Vederlicht heeft de basis van SIPs verder ontwikkeld naar een compleet bouwsysteem voor comfortabele en toekomstgerichte woningen met een lage CO2-voetafdruk.

In het onderzoek worden de grenzen van de mogelijkheden van de panelen gezocht, zodat deze bouwmethode op een passende manier in Groningen toegepast kan worden.

UNIQUE SELLING POINTS

- *Door het lage gewicht van de panelen hebben opdrachtgevers in de aardbevingsregio meer vrijheid in het ontwerp.*
- *Met SIPs bouwt u op duurzame wijze met duurzame materialen.*
- *De geïsoleerde panelen maken het mogelijk om energieneutraal te wonen.*

CONTACTGEGEVENS

Coöperatie Vederlicht
www.vederlicht.house
info@vederlicht.house
06-51248381



Groter ontwerpen dankzij lage massa van de panelen: scholekster.



Passend en aardbevingsbestendiger bouwen in Groningen: het tolhuis



Achterzijde tolhuis.

BESTENDIGERE HOUSTAPELBOUW MET LOGBÖRG

Met de LogBörg heeft Econstruct de klassieke Finse losse houtstapelmethode doorontwikkeld tot een modern, duurzaam en gekoppeld houtstapelsysteem.

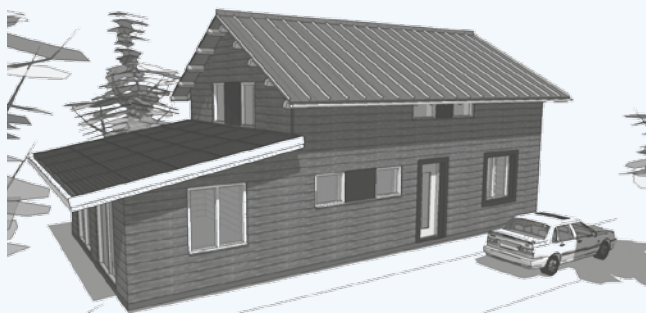
In dit systeem wordt het gebouw zo geconstrueerd dat het op een eenvoudige en nagenoeg schadevrije manier kan omgaan met de verplaatsingen die ontstaan tijdens aardbevingen.

UNIQUE SELLING POINTS

- *Zowel de constructieve als bouwkundige detaillering van de LogBörg is aardbevingsproof en blijft nagenoeg schadevrij bij een aardbeving.*
- *Hout is een ademend en natuurlijk bouw materiaal. De LogBörg is intrinsiek duurzaam en CO₂-neutraal*
- *De gelamineerde logs vormen de schil, isolatie en afwerking aan de binnen- en buitenkant van het huis.*

CONTACTGEGEVENS

*Ingenieursbureau EconStruct
www.econstruct.nl
info@econstruct.nl
058-2135615*



LogBörg met passende vormgeving voor in het Groninger landschap.



Interieur van een LogBörg.



Nature wins!

36

BOUWEN MET KALKHENNEP

Kalkhennep is een biocomposiet met unieke hygrothermische eigenschappen. Het wordt al jaren als niet-constructief isolatiemateriaal toegepast in de schil van energiezuinige gebouwen met een zeer lage CO2-voetafdruk.

De Nieuwbouw-innovatieregeling bood Hempflax de mogelijkheid om, met een aantal partners, de bevestigingsbestendigheid van kalkhennep te onderzoeken.

De hypothese was dat een bouw materiaal op basis van kalk een beter ductiel gedrag zou vertonen dan traditionele bouwmaterialen op basis van cement. Hempflax onderzoekt de materiaaleigenschappen van kalkhennep op basis van de hydraatkalkformule HempQi.



Kalkhennepwand in aanbouw.

UNIQUE SELLING POINTS

- Een kalkhennepwoning is lichter dan een traditionele woning en biedt meer thermisch comfort qua temperatuur, relatieve vochtigheid en warmtecapaciteit.

- Kalkhennep is een bouw materiaal waarmee een hoogwaardig geïsoleerd, dampopen en biobased gebouw kan worden gerealiseerd met een negatieve CO2-voetafdruk.

- De bestanddelen (hennep hout, kalk en toegevoegde mineralen) komen uit de regio of worden binnen een straal van 400 kilometer gewonnen.

CONTACTGEGEVENS

Hempflax BV
www.hempflax.com
john@kalkhennepbouwnederland.nl
06-50129109



Kalkhennep is op verschillende manieren af te werken.



Genummerd kalkhennepblok, klaar om te testen.

STIJVE KERN IN HOUTSKELET RIJWONINGEN

De Nederlandse Branchevereniging voor de Timmerindustrie onderzoekt de toepassing van een stijve kern bij houtskeletbouw rijwoningen. Uitgangspunt was het ontwikkelen van een aardbevingsbestendig houtskeletbouwsysteem op basis van de Nationale Praktijk Richtlijn (NPR 9998).

Onderdeel van de ontwikkeling is een studiefase waarin een aantal aspecten en details nader worden onderzocht en uitgewerkt. Op basis daarvan wordt een SKH-publicatie opgesteld met een stappenplan, richtlijnen en oplossingen voor rijwoningen in houtskeletbouw die blootstaan aan aardbevingsbelasting.

UNIQUE SELLING POINTS

• Houtskeletbouw is een beproefd bouwsysteem dat met relatief eenvoudige aanpassingen aardbevingsbestendiger gemaakt kan worden.

• De veiligheid wordt gewaarborgd door de stabiele kern (het trappenhuis) en/of taai wanden/schijven.

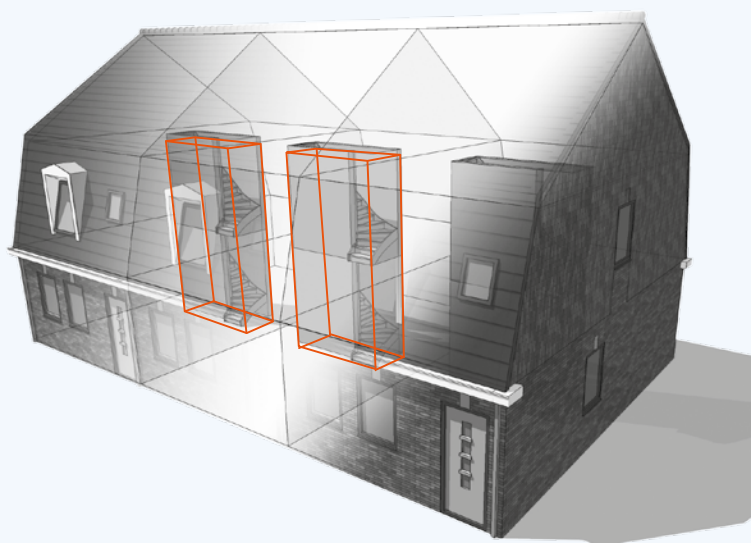
• Houtskeletbouw is de symbiose van duurzaamheid, comfort, flexibiliteit, veiligheid en betaalbaarheid.

CONTACTGEGEVENS

*Nederlandse Branchevereniging voor de Timmerindustrie (NBvT)
www.nbvt.nl
info@nbvt.nl
035-6947014*



Model van de stabiele kern.



Voorbeeld van stijve kernen in een houtskeletbouw rijwoning.

TRILLINGS- BESTENDIGE FUNDERING

Nederboom heeft op basis van Trilling Absorberend Schuimbeton (TAS) een trillingsbestendige fundering ontwikkeld. Dit schuimbeton is een speciaal ontwikkelde variant van regulier schuimbeton dat trillingen absorbeert zonder te scheuren. De fundering is opgebouwd uit meerdere lagen schuimbeton en voorzien van een constructieve betonvloer.

De Trillingsbestendige fundering neemt energie (trillingen) uit de ondergrond op, ongeacht de frequentie of richting. Zo worden trillingen van aardbevingen op de grens van ondergrond en gebouw gereduceerd, zodat een woning minder wordt blootgesteld aan aardbevingsenergie.

UNIQUE SELLING POINTS

- *De Trillingsbestendige Fundering dempt de trillingen van aardbevingen. Hierdoor ontstaat geen of minder schade aan de woning.*

- *Door toepassing van de Trillingsbestendige Fundering zijn minder versterkende maatregelen nodig in de bovenbouw.*

- *De Trillingsbestendige Fundering heeft een zeer hoge isolatiewaarde ($rc = 7m^2 K/W$).*

CONTACTGEGEVENS

*Nederboom BV
www.nederboom.nl
info@nederboom.nl
050-2111909*



Testopstelling van Trilling Absorberend Schuimbeton (TAS).

SUTEKI WOOD SYSTEM

In samenwerking met ABT Wassenaar heeft Refhos onderzocht en aangetoond dat het bestaande SUTEKI Wood System toegepast kan worden in de Groningse situatie. Hiervoor is het houtskeletbouw systeem getoetst aan het Bouwbesluit en de NPR9998 voor zowel voorbereiding, bouw en bewoning.

De houten draagstructuur van Refhos bestaat uit een beproefd en jarenlang toegepast Japans systeem: SUTEKI Wood System. Dit bestaat uit een portalenconstructie van houten kolommen en liggers in combinatie met koolstofstalen koppelingen. Het systeem is licht, sterk en flexibel, waardoor het een hoge q-factor heeft.

UNIQUE SELLING POINTS

- *SUTEKI Wood System wordt wereldwijd al tientallen jaren toegepast in aardbevingsgebieden.*
- *De aardbevingsbestendigheid van een (aangepast) ontwerp kan eenvoudig vastgesteld worden door het te toetsen aan bestaande software. Dit levert een grote besparing op de engineeringkosten op.*
- *Alle denkbare verbindingen in de draagstructuur van het systeem hebben een gecertificeerde maximale belasting.*

CONTACTGEGEVENS

*Refhos BV
www.refhos.com
rvh@refhos.com
06 -83268628*



Voorbeeld van een woning in SUTEKI Wood System.



Het SUTEKI Wood System wordt gekoppeld door middel van koolstofstalen koppelingen.

VEERCONSTRUCTIE

Door het toepassen van een voorgespannen veerconstructie met verankering op het draadeinde wordt de horizontale beweging van aardbevingen omgezet in een verticale kracht. Hiermee wordt de mogelijke vervorming van houtskeletbouwelementen voorkomen.

Vitavert heeft in een computermodel materialen getest met zo'n veerconstructie, waarna de resultaten zijn afgezet tegen een traditionele bevestiging. Uit de resultaten bleek dat wanden bij toepassing van de veer samen met een kleine aanpassing van de wand bij 80% van de voorspelde aardbevingen in Groningen slechts een minimale horizontale verplaatsing laten zien.

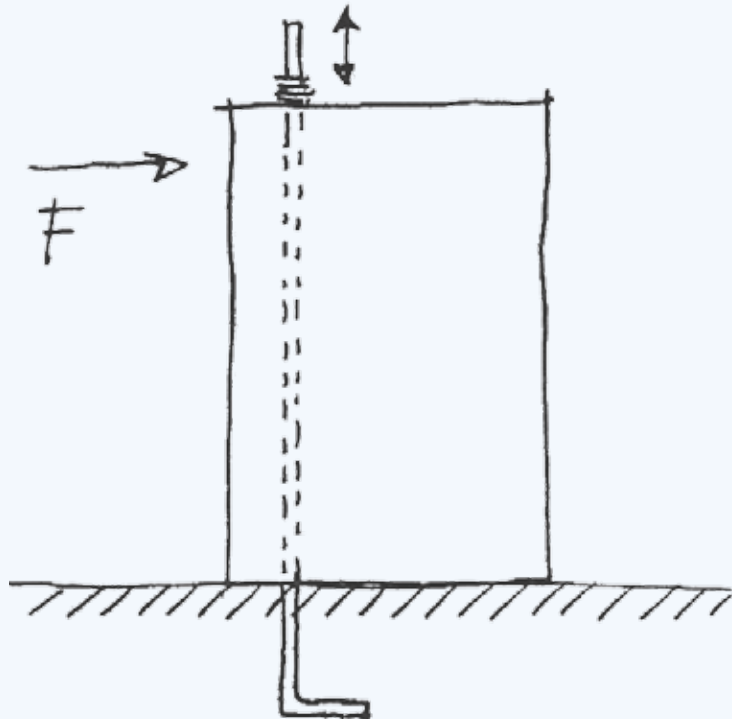
Op dit moment worden praktijkproeven voorbereid.

UNIQUE SELLING POINTS

- *Deze techniek is relatief eenvoudig toepasbaar bij prefabbouw. Er zijn geen grote investeringen in machines of techniek nodig.*
- *De huidige bouwnorm gaat alleen uit van veiligheid, terwijl dit idee ook de schade aan woningen beperkt.*
- *De veerconstructie zorgt ervoor dat er minder of kortere stabiliteitswanden nodig zijn.*

CONTACTGEGEVENS

*Vitavert Bouw & Ontwikkeling
www.vitavert.nl
info@vitavert.nl
050 -8200674*



De veerconstructie zet de horizontale aardbevingsbelasting om in een verticale kracht.

HET SLIMME BOUWEN

Uitgave

Nederlandse Aardolie Maatschappij, Assen

Projectbegeleiding

Julia Finkielsztajn, Rik Baas en Rik van Berkel

Tekst en eindredactie

Rik Baas en Rik van Berkel

Art direction

Interne Zaken, Nicole Lagarde

Illustraties

Nicole Lagarde en Maaïke Disco

Grafisch ontwerp, dtp

DISCOO, Maaïke Disco

3D modelleren, rendering, pictogrammen

Zofa architecten, Hans Overdiep

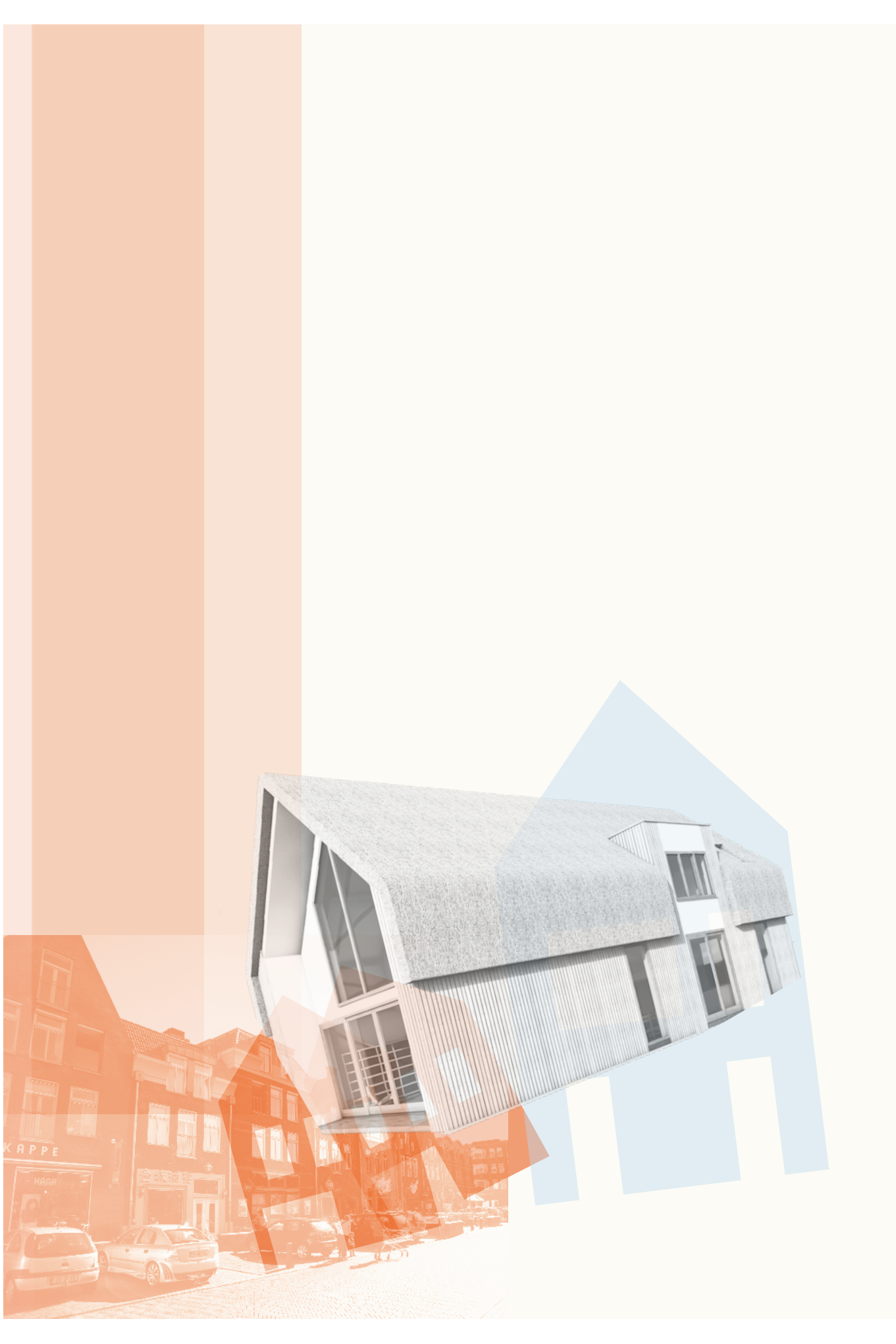
Oplage

500



Deze uitgave is tot stand gekomen dankzij de medewerking van de volgende partners en aanvragers van de Nieuwbouwregeling en de Nieuwbouw-innovatieregeling:

AHA Architecten, Architectenbureau E.J. Daling, Architraaf, Bouwbedrijf Kooi, Bouwbedrijf U. Veenstra, Brands, Bouwgroep, Coöperatie Vederlicht, Coralform, Dun Agro, Economic Board Groningen, EconStruct, EPI-kenniscentrum, Gemeente Loppersum, Geveke Bouw & Ontwikkeling, Haank Bouwkundig ingenieursbureau, HempFlax, Ingenieursbureau Dijkhuis, Ingenieursbureau Goudstikker - de Vries, Jongasma | Dijkhuis architectenbureau BNA, Jorritsma Bouw, Kroeze & Partners, Kuipers & Koers Bouw, MiCasa, Nederboom, Nederlandse Branchevereniging voor de Timmerindustrie, OK Huis, Refhos, Total Technical Solutions, Vitavert, W2N Engineers, Zonneveld Ingenieurs, +Peil bureau voor architectuur en stedenbouw.



DE 6 ONTWERPPRINCIPES

1

REDUCEER DE MASSA

Door de massa van een gebouw zo klein mogelijk te maken neemt de aardbevingsbelasting af.



Reduceer de massa van het gebouw.

Reduceer de massa hoog in het gebouw.

2

HORIZONTALE WEERSTAND IN TWEE RICHTINGEN

Het is belangrijk om in beide richtingen voor stabiliteit te zorgen en zo torsie te voorkomen.



Voorkom torsie door het gebruik van dichte hoeken en verdeling van openingen.



Zorg voor een stabiliteitsvoorziening in het zwaartepunt.



Beperk de lengte/breedte verhouding tot maximaal 3:1.

3

REGELMATIGHEID IN DE PLATTEGROND

Een symmetrische plattegrond zorgt voor een betere verdeling van de kracht en daarom minder kans op schade.



Zorg voor regelmatige vorm en waar nodig een dilatatie.

Zorg voor een regelmatige verdeling van ruimten.

4

REGELMATIGHEID IN HOOGTE

Het boven elkaar positioneren van wanden, kolommen en wandopeningen maakt een gebouw sterker.



Plaats wanden boven elkaar.

Vermijd een draagstructuur met kolommen beneden en zware bovenbouw.



Zorg voor gelijkmatige verdeling van openingen.



Vermijd grote overstekken en vides.

5

EEN ROBUUST ONTWERP

Zorg voor een sterke en stevige constructie bij het toepassen van een zwaar bouwsysteem.



Zorg voor een sterke en stevig gebouwde constructie.

6

MATERIALEN EN VERBINDINGEN MET HET VERMOGEN OM TE VERVORMEN

Goed toepasbare ductiele materialen zijn o.a. staal en hout. Het is beter om brosse materialen zoals metselwerk en ongewapend beton te vermijden.



Gebruik materialen en details met het vermogen om te vervormen.