Burgerboek

webversie

Duurzaam Herstel en Versterking van Woningen in Groningen

door Sjoerd Nienhuys, oktober 2023

DUURZAAM HERSTEL en VERSTERKEN van Woningen in Groningen

Na de aardbevingsproblematiek en afbouw van de aardgasproductie

Het Burgerboek, als bijlage bij de dissertatie van Sjoerd Nienhuys

Webversie september 2024

Colofon

DUURZAAM HERSTEL en VERSTERKEN van Woningen in Groningen

Na de aardbevingsproblematiek en afbouw van de aardgasproductie

Burgerversie op de website op de tweede pagina
van www.nienhuys.info
en ook de 13 losse hoofdstukken, met >1500 illustraties, schetsen, foto's en grafieken. Websiteversie zonder lege pagina's.

http://510790959.swh.strato-hosting.eu

© Copyright, schetsen en lay-out: Sjoerd Nienhuys

Materiaal uit dit boek mag alleen worden gebruikt onder referentie van de bron en de website.

Origineel fotomateriaal van gebouwschade is zo veel mogelijk niet-herleidbaar gepresenteerd, alhoewel de gebouweigenaar misschien een detail van zijn of haar gebouw kan herkennen.
Foto voorpagina van Hanneke Andringa, https://hannekeandringa.wixsite.com/portfolio/afstudeerproject

ISBN-nummer eerste draft en kennismaking Boekversie mei 2021 (geen editing): 9789 0820 4081
Eerste druk van de draft en kennismakingsversie (geen editing) werd in juni 2021 gefinancierd door de NCG.
Uitgever spiraal-gebonden draftversie: Publisherpro, Rotterdam: https://www.publisherpro.nl

Copyright © September 2024 webversion. Sjoerd Nienhuys.
All rights reserved. No part of this publication may be used and/or reproduced, by any means, without mentioning of the author and its website.

Voor de Groningers,

die sinds de Huizinge beving van 16 augustus 2012 in steeds grotere onzekerheid hebben geleefd omtrent het verloop van de aardbevingen en wat er van hun woningen terecht moest komen. Zodat ze kunnen bestuderen wat er allemaal mogelijk is en wat de beste opties zijn in hun situatie. Zodat ze beter overleg kunnen plegen met de aannemers over de te nemen maatregelen. Zodat ze voor een veilige toekomst kunnen plannen, en rustig kunnen slapen, zonder zorgen dat hun woning instort door een aardbeving.

Voorwoord

Sinds 1990 traden er lichte trillingen op in de provincie Groningen, vanwege de aardgasexploitatie van een zeer groot gasveld onder de provincie, dat in 1965 in Slochteren ontdekt werd. Sinds 2000 werden het lichte aardbevingen, die in oude met baksteen gemetselde woningen in Groningen, lichte scheurschade en verzakkingen veroorzaakten. Met de beruchte dubbele aardbeving van 16 augustus 2012 te Huizinge werd veel gebouwschade opgelopen. Sinds 2014 is er een Nationale Praktijk Richtlijn tot stand gekomen, de NPR9998[1], met een eerste officiële versie voorjaar 2015. Die NPR had een nationaal bijlagekaartje die helaas op een verkeerde basis was gestoeld. Niet op de basis van wat voor soort trillingen en bevingen toelaatbaar waren voor de oude bebouwing in de provincie Groningen, maar wél op basis van wat de maximaal haalbare aardbeving was bij extreem snelle gasexploitatie, en die waarde dan nog eens extra verhoogd met onzekerheden[2].

Met die extreem hoge aardbevingsbelasting zijn de ingenieursbureaus aan de slag gegaan om met die richtlijn als basis, uit te rekenen of de ongeveer 200.000 woningen in het betrokken gebied bestand water tegen die NPR-prognose Mmax aardbevingen. Moesten ze versterkt of vervangen worden, of gesloopt en opnieuw-gebouwd? Niet alleen dat, maar de NAM en alle commissies en instellingen die zich met het thema bezighielden namen ook die NPR-PGA waarden over.

Niet alleen dat, maar de hele bevolking werd verkeerd voorgelicht over de ‘toekomstige sterkte’ van de aardbevingsverwachting. Het gevolg daarvan was dat men in de stress raakte vanwege het aangezegde instortingsgevaar, de waardevermindering van de woning en de verwachtingen voor de toekomst in het algemeen. Daarbij kwam dat de versterkingsoperaties slechts erg langzaam op gang kwamen, en nauwelijks de beschadigde woningen aanpakte. Daar overheen kwamen de problemen met de identificatie van de aardbevingsschade en de trage herstelprocedures van de NAM.

Direct na de Huizinge 2012 beving liet de NAM door haar consultant Arup een planning maken voor de provinciale herstel en versterkingsactie die over een periode van ongeveer 6 jaar nodig zou zijn (van 2014 tot 2020) om de bebouwing in de provincie aardbevingsbestendig te maken. Het ging dan over ongeveer 350.000 gebouwen, inclusief een groot aantal gebouwen in de hoofdstad Groningen zelf. Dat zou een klus van vele miljarden euro’s zijn, waarvoor geen bouwpersoneel voorhanden was.

Een van de conclusies was dan ook dat er voor Groningen een nieuw kader aan vakmensen moest worden opgeleid; schade inspecteurs, bouwvakkers, aannemers, inspecteurs BoWoTo (Bouw en Woningtoezicht), monumentenzorg, productiepersoneel voor nieuwe materialen en technieken en ambtenaren. Al die categorieën vaklieden moesten meer weten over de effecten van aardbevingen en hoe (met name) de woningbouw versterkt moest worden.

In 2013 ben ik begonnen om op basis van honderden schaderapporten en mijn internationale kennis en ervaring op het gebied van aardbevingen en bouwkundig herstel, systematisch informatie samen te brengen over de geleden schade en hoe er versterkt moest worden. Medio 2015 was het basismateriaal opgetekend in een groot aantal training modules. Dit materiaal werd tijdens 2020 samengevat in het onderhavige boek, met hoofdstukken per gebouwonderdeel.

Bouwkundig seismisch ingenieur Sjoerd Nienhuys

[1] De NPR was een vertaling van de eurocode 8, een goed document dat geen vertaling of correcties behoefde. Wat wel nodig was, was een actualisering van het landenkaartje voor Nederland. Dat kaartje gaf alleen de aardbevingen aan in het zuiden van Nederland, met als sterkste beving die van Roermond in 1992.

[2] De maximale Piek Grondversnelling (PGA = Piek Grond Acceleratie) van die NPR was 0,42g of 5X de gemeten PGA in Huizinge (0,085g). Dat zou in termen van Richter ongeveer een 1000 x sterkere aardbeving betekenen. Bij een dergelijke aardbeving zou >50% van alle gebouwen in de provincie zeer zware schade opleveren, en waarbij meerdere gebouwen gedeeltelijk of geheel zouden instorten met tientallen dodelijke gevolgen.

Beoogd lezerspubliek

Ofschoon dit materiaal allereerst voor het MBO in Groningen werd ontwikkeld, geeft het voor verschillende categorieën personen een vereenvoudigde informatie over de mogelijkheden van het verduurzamen van de woningen op gebied van seismische sterkte. Het onderdeel verduurzamen is beperkt gehouden, omdat daar al veel over beschikbaar is vanuit verschillende bronnen.

De doelgroepen voor de deze documentatie zijn:
De schade inspecteurs, die na een schademelding een opname moeten maken, de beoordelen maken en helpen om een begroting op te stellen. Zonder dat ze goed weten waarom een schade optreedt, kunnen ze een verkeerde beoordeling maken en de woningeigenaar benadelen.

De woningeigenaar kan op basis van de informatie in dit boek een goed inzicht krijgen waarom er scheuren in het gebouw zitten en wat eraan te doen is om verdere scheuren te voorkomen. Voor het versterken kan een combinatie gevonden worden tussen aannemers en Doe-Het-Zelf (DHZ), maar in alle situaties is het belangrijk dat de woningeigenaar weet wat er aan de hand is, de mogelijkheden en de beperkingen van elke methode of voor welk woningtype.

De aannemer of klusbedrijf kan de verschillende versterkingsmethoden onderscheiden en beter leren kennen, en met de gebreken aan de beschadigde woning beoordelen wat de beste methode is voor versterken en thermisch isoleren. De aannemer kan dan met de woningeigenaar overleggen wat de wensen zijn en of er opties zijn voor DHZ van bijvoorbeeld de isolatie, of een gefaseerde uitvoering van het werk. De aannemers en de bouwmarkten kunnen ook als toeleveranciers fungeren voor materialen en gereedschappen.

De bouwvakker zal na bestudering beter begrijpen waarom een maatregel wordt toegepast en wat dat voor effect heeft op de constructie. Wat is het verschil tussen cosmetisch wegwerken van een scheur of ‘licht versterken’. De verschillende schade-oorzaken en mogelijke versterkingen worden uitgelegd, en wat de meest kritische punten zijn die aandacht moeten hebben.

De architect en ingenieur. In sommige situaties moet er wel wat gerekend worden, bijvoorbeeld wanneer het gebouw wel erg smalle raampenanten heeft, of wanneer er al een flinke schade aan de fundering geconstateerd wordt. Dit berekenen kan met de eenvoudige (goedkope) statische methode, die in het hoofdstuk MUREN wordt toegelicht. De meest praktische versterkingsmethode in combinatie met de isolatie kan dan worden doorgerekend.

De woningcorporaties hebben zelf al veel bouwkundige kennis over en zijn al bezig met versterken of sloop en nieuwbouw. Het zijn vooral de rijtjes- en doorzonwoningen die seismisch gezien de zwakste gebouwen zijn en sowieso op de nominatie staan om te verduurzamen. Wellicht geeft dit boek nog wat inspiratie. Ook voor de financieringsopties voor particulieren kan er een belangrijke rol voor de woningcorporaties en bouwfondsen zijn weggelegd.

Hiermee hoop ik dat:

- De gegeven informatie helder en duidelijk is, en voorkomen wordt dat het seismisch versterken geheimtaal blijft voor de burger en kleine aannemers.
- De combinatie met het ‘lichte versterken’ de verduurzaming grondig wordt aangepakt.
- Dat er slimme financieringsvormen ontwikkeld worden die helpen om voor de minder draagkrachtigen in de provincie goed leefbare en duurzame gemeenschappen te creëren.
- Er aangetoond wordt dat het cultureel erfgoed op slimme manieren hersteld en versterkt kan worden zonder dat er ingrijpende veranderingen in de architectuur nodig zijn.
- Dat het cultureel erfgoed in de provincie weer een actieve maatschappijfunctie krijgt.
- Dat voor geïnduceerde aardbevingen nooit meer een Mmax wordt berekend, maar de bevingen beperkt blijven tot waartegen de bebouwing normaliter bestand is.

Samenvatting en Leeswijzer

Het boek heeft een aantal Internetverwijzingen en links die in de web-versie www.nienhuys.info aangeklikt kunnen worden om de bron te onderzoeken en meer te weten te komen. Weblinks kunnen met de tijd verlopen zijn.

Hoofdstuk 1: Begrippen en Afkortingen. Het hoofdstuk is een **ALFABETISCHE LIJST** met uitleg van de meest gangbare begrippen over de door de gaswinning veroorzaakte geïnduceerde aardbevingen. Personen die aardig bekend zijn met de aardgasproblematiek kunnen dit hoofdstuk 1 overslaan of eventueel terugbladeren als ze een nadere uitleg willen.

Hoofdstuk 2 gaat over de gebouwvorm en de verschillende typologieën die in de provincie aanwezig zijn. Elke typologie heeft eigen problemen bij aardbevingen en heeft dus ook eigen oplossingen nodig. De bestuurlijke afspraken van 6-11-2020 zijn hier gedeeltelijk vermeld.

Hoofdstuk 3 gaat over Schoorstenen en Geveltoppen die een extra hoog risico vormen. Om klimaatredenen kunnen in principe alle niet-gebruikte schoorstenen verwijderd worden. Vanwege architectonische overwegingen kunnen lichtgewicht modellen worden toegepast.

Hoofdstuk 4: Funderingen en Hoofdstuk 5: Base-isolation zijn belangrijk in elk schadepatroon. Kleine, voor de mens niet-voelbare trillingen kunnen ook tot verzakkingen en gebouwschade leiden. Een goede fundering is nodig voor en duurzaam gebouw.

De hoofdstukken over Muren versterken (6), Lateien (7), Vloerdiafragma's (8) en Daken (9) behandelen die gebouwonderdelen. Vooral de muren, of de buitenschil van de gebouwen, met de grote ramen en kozijnen zijn een belangrijke factor in zowel het (seismisch) versterken als voor het verduurzamen in termen van thermisch isoleren.

Hoofdstuk 10 over de Grote Gebintenschuur geeft aan dat hier andere technische aspecten spelen dan bij de woningbouw en dat deze op hun eigen manier moeten worden verholpen. Verduurzamen van deze grote schuren kan alleen goed wanneer er nuttige bestemmingen voor deze gebouwen zijn die een economisch rendabel gebruik garanderen. Wanneer Groningen geen krimpregio meer is en de gebintenschuren productief gebruikt gaan worden, kunnen ze echt verduurzaamd worden.

Hoofdstuk 11 geeft Drie Typische Voorbeelden van hoe het niet moet maar toch in 2015 gebeurde. Overmatig versterken volgens de 2014 regels. Gebouw slopen. Slechte analyse en besluitvorming. Soms leert men meer van de fouten van anderen dan van goede voorbeelden.

Hoofdstuk 12 geeft een inleiding tot het Verduurzamen van een woning met onder andere wat informatie over isoleren. Meer op: www.MilieuCentraal.nl en vele gespecialiseerde websites zoals www.degroenemenukaart.nl en de eerste pagina op www.nienhuys.info . Op deze eerste pagina staan een twintigtal documenten die dieper ingaan op het isoleren van woningen en verduurzamen.

Hoofdstuk 13: Basisregels voor Seismisch Bouwen en Versterken is een geïllustreerde samenvatting van de meeste relevante maatregen van wat niet moet en wat wel moet. Het is gebaseerd op het verkeersborden principe met **rood-rond als verbodsbord** en **blauw-vierkant als gebodsbord.**

Inhoudsopgave. Plaats de cursorpunt op het onderwerp of hoofdstuk en dan Ctr-klik voor directe link met die pagina. Bij touchpad dubbelklik.

Inhoudsopgave

Voorwoord..... 5
Beoogd lezerspubliek..... 6
Samenvatting en Leeswijzer..... 7
Inhoudsopgave figuren. 14
Hoofdstuk 1 BEGRIPPENLIJST 22
1.0. Inleiding 23
Aardbevingen 24
Aardbevingen in Nederland 25
Aardbevingsbestendig 27
Aardbevingsbestendig Bouwen – Nieuwbouw 29
Aardbevingsbestendig - Verbouwen 30
Aardbevingsbestendig versterken 33
Aardgas, ontstaan van 34
Accelerometer 35
Base-isolation *(Base-isolation)* 36
Belangrijkheidsfactor 38
BENG. Bijna Energie Neutrale gebouwen 39
Biogas productie 40
Bodemdaling (Komvorming) 40
Bodemdaling commissie 41
Boorgatseismometer 41
Bouwbesluit 42
Bouwkundig versterken 42
BoWoTo. Bouw en Woning Toezicht 43
Breuk(vlak) 43
Capaciteitsmethode voor ontwerp 44
Circulair bouwen 45
Compactie 45
COP Coëfficiënt van Performance 46
Cultureel erfgoed (Heritage) 47
CVW, Centrum Veilig Wonen 47
Damage State (schade niveau). 48
Decibel en dB(A) 50
Diafragma *(Diaphragm)* 50
Dilatatie van gebouw 52
Directe bezetting of gebruik 52
Duur van een aardbeving 53
Ductiel of Taai 55
Duurzaam Bouwen (Circulair Bouwen) 56
Dynamisch onafhankelijke eenheid 57
Eigen Gebrek 58
Elasticiteit (of veerkracht) 61
Epicentrum 62
EVS (*Extended Visual Screening*) 62
Flexibiliteit voor gebouwen 63
Frequentie schokken en sterkte. 63
Gebouwtype *(building typology)* 64
Gedragsfactor *(Behaviour factor)* 68
Geïnduceerde aardbeving 69

Grondwater **72**
HAS, Helical Application System **73**
Hoofdconstructie **74**
Hoog-Risico Elementen **74**
Hoog-Risico Gebouwen **74**
Hypocentrum **75**
Instituut Mijnbouw Schade, IMG **76**
Inklinking **76**
Komvorming **76**
Koudebrug (verkeerd, maar ingeburgerd taalgebruik) **77**
KNMI, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut **77**
Kwetsbaarheidsdiagram **78**
Ladder van Lansink **79**
Lateral Force Resisting System (statische weerstand berekening) **80**
Magnitude of Intensiteit **80**
Maximum aardbeving, Mmax **82**
Meetnetwerk **83**
Momentsterke structuur **83**
Nationale Coördinator Groningen (NCG). **83**
Niet-constructief gebouw onderdeel **83**
NLTHA. Non-Linear Time-History Analysis **84**
Noodmaatregelen **86**
Nederlandse Praktijk Richtlijn, NPR9998 ..... **86**
Onveilige situatie **87**
Op staal (gebouwd of gefundeerd) **87**
Permeabiliteit **88**
Piek grondversnelling, PGA (acceleratie) **88**
Platform fundering, plaatfundering **89**
Primaire seismische gebouw onderdelen **90**
Ratio *(aspect ratio)* **90**
Reservoir, reservoirgesteente **91**
Reservoirdruk **91**
Richter, schaal van **91**
Respons spectrum **92**
Risicofactor **93**
Schade beoordeling **94**
Schaliegas **95**
Scheurvorming **96**
Secundaire seismische gebouw onderdelen **96**
Seismiciteit **97**
Seismische golven **97**
Seismograaf of seismometer **98**
Seismogram **98**
Sterk Constructief Glaspaneel **99**
Stutten en ondersteuning **100**
Terugkeertijd (herhalingstijd) **100**
Testen op sterkte **101**
Testwoningen **102**
Tilt-meter **103**
Triggerwerking **104**
Trilling-meter, seismometer **104**
Uitputting gasveld **105**
Veengronden **106**

Veiliger maken **107**
Verduurzamen **108**
Verweking **108**
Wokkels of spiraalwapening **109**
Zandsteen, reservoirgesteente **109**
Zetting van de grond **110**
Zoutlaag (*Zechstein*) **110**
Hoofdstuk 2 GEBOUWVORM en SCHADE-RISICO **112**
2.0. Inleiding **113**
2.1. Aanbevelingen van de NPR9998 (Eurocode 8) **114**
2.2. Lange gebouwen dienen opgesplitst te worden **116**
2.3. Grachtenpand of stadswoning **118**
2.4. De problematiek van rijtjeswoningen en doorzonwoningen **119**
2.5. Gebouwen moeten bij voorkeur regelmatig van vorm en belasting zijn **121**
2.6. Er mogen geen verticale abrupte veranderingen zijn **123**
2.7. Er mag geen grote verticale verandering van massa en symmetrie zijn **125**
2.8. Verbouwingen kunnen leiden tot onregelmatige stijfheden in een gebouw **127**
2.9. De drie as-richtingen van het gebouw moeten symmetrisch zijn **128**
2.10. De sterkte en stijfheid tussen constructies mogen elkaar niet storen **129**
2.11. Directe belastinglijnen van en naar de fundering **130**
2.12. Constructieve symmetrie **131**
2.13. Risicovolle gebouwonderdelen identificeren **133**
2.14. Typologieën voor de risicovolle elementen is noodzakelijk **136**
2.15. Versterken en dan verder klimaat-technisch verduurzamen **137**
2.16. Kleine onregelmatige woning **141**
2.17. Gebouwinspectie met snel onderzoek risicovolle gebouwen, RVS **143**
2.18. Voorbeeldwoningen per typologie **147**
2.19. Lange termijnplanning **148**
2.20. Beheer en uitvoeringsstructuur **149**
Hoofdstuk 3 SCHOORSTENEN en GEVELTOPPEN **151**
3.0. Inleiding **152**
3.1. Relatieve gebouwversterking **153**
3.2. Cultureel erfgoed **154**
3.3. Opties voor schoorsteen vervangen **156**
3.5. Open haard en duurzaamheid **158**
3.6. Schoorsteen versterken **160**
3.7. De jaren '30 schoorstenen en voorbeeld **162**
3.8. De schoorsteen op een 'stoel' **164**
3.9. Schoorsteen midden op het dak of wolfseind **166**
3.10. Stijver en sterker maken van de dakconstructie **168**
3.11. Lichtgewicht schoorsteen **169**
3.12. Versterking van de draagconstructie **170**
3.13. Zijwaartse ondersteuning van schoorstenen **176**
3.14. Lichtgewicht schoorstenen **178**
3.15. Geveltoppen **179**
3.16. Versterking topgevel versiering **181**
3.17. Uitkragend gebouw onderdeel of balkon. **182**
3.18. Historisch erfgoed boerderij Zuidpool **184**
3.19. Fabrieksschoorsteen **186**
Hoofdstuk 4 FUNDERINGEN VERDUURZAMEN **188**
4.0. Inleiding **189**
4.1. Herkennen van oorzaken **190**
4.2. Probleem identificatie **191**

4.3. Evenwichtsdraagvermogen 192
4.4. Grondwaterstand wijziging en verzakking 194
4.5. Veranderd fundering belastingpatroon door aardbeving 199
4.6. Verandering van het belastingpatroon door diafragmaversterking 201
4.7. Kelders en gemetselde uitgetande funderingen 204
4.8. Zijdelings wegdrukken van funderingen op staal 209
4.9. Verduurzamingsopties voor funderingen 211
4.10. Verticale scheuren in rijtjeswoningen 216
4.11. Verwijding van buitenmuren bij lage woning 216
4.12. Het verdichten van de ondergrond van het gehele gebouw 218
4.13. Extra funderingspalen, buis, schroef, pers 219
4.14. Verbreden fundering met platen of vulpaletten 220
4.15. Plaat- of platformfundering 'op staal' 222
4.16. De toepassing van *Base-isolation* bij een bestaande palenfundering 225
4.17. Youtube filmpjes fundering herstel systemen 226
Hoofdstuk 5 BASE-ISOLATION 227
5.0. Inleiding. 228
5.1. Fragiele gebouwen en monumenten 230
5.2. Kosten afwegingen vóór maatregelen 231
5.3. Maximale horizontale verplaatsing 232
5.4. Technische Randvoorwaarden *Base-isolation* 234
5.5. Overige *Base-isolation* systemen 242
5.6. *Base-isolation* voor bestaande bouw in Groningen 243
5.7. De voor- en nadelen van de Teflon glijder 251
5.8. Detaillering van de voorgestelde Teflon *Base-isolation* 253
5.9. Detaillering van het voorgestelde naaldrollersysteem 254
5.10. Kogelroller *Base-isolation* 256
5.11. Toepassing bij Groningse woningbouw 257
5.12. Verdere ontwikkelingen met rubber-PUR 258
Hoofdstuk 6 MUREN VERSTERKING 262
6.0. Inleiding 263
6.1. Muren en kolommen dragen de constructie 264
6.2. Voorkom krachten loodrecht op de bakstenen muur 265
6.3. Versterken tegen belasting loodrecht op het vlak van de muur 268
6.4. Glasvezel textiel muurwapening binnenmuren 269
6.5. Houtskelet toevoeging op dunne binnenmuren 273
6.6. Stalen C-profielen op binnenmuren 275
6.7. Schade varianten bij smalle raam- en deurpenanten 276
6.8. Versterken van penanten met GVTW 280
6.9. Berekening van binnenmuur en penantversterkingen 283
6.10. Berekening in de lengterichting, langs de Y-as. 283
6.11. Berekening in de dwarsrichting, langs de X-as. 288
6.12. Ongelijke krachtverdeling tussen penanten 290
6.13. Versterkingen van voor- en achtergevels met veel openingen 293
6.14. Plaatsen/versterken van dwarsmuren die de horizontale krachten opnemen 294
6.15. Binnenzijde versterken met zware houten profielen en OSB platen 296
6.16. Smalle penanten versterken met brede plaatstaal u-profielen 297
6.17. Portaalconstructie binnen van hout of staal 298
6.18. Versterkte of gewapend betonnen deur- en raamkozijnen 300
6.19. Versterkte aanbouw aan het gebouw 302
6.20. Dichtmetselen van een of meerdere ramen 303
6.21. Plaatsen van sterke constructieve isolerende glaspanelen 304
6.22. Diagonalen in en voor de raamopening en buitenom, exo-skelet 308

6.23. Nieuwe sterke en geïsoleerde buitengevel 309
6.24. Muurherstel en versterking met rvs-spiraalwapening (wokkels) 313
6.25. Verwijdering van de baksteen muur top 317
6.26. Kostenaspecten 318
Hoofdstuk 7 LATEIEN en TOGEN 320
7.0. Inleiding 321
7.1. Tabel: Scheuren Rond Lateien en Togen in Bakstenen Muren 322
7.2. Basisprincipes van seismisch versterken 326
7.3. Uitrekenen of inzicht? 329
7.4. Geen latei boven de binnendeuren 330
7.5. Imitatie lateien en togen zonder wapening 332
7.6. Verduurzamen, muurherstel, oplappen of slopen? 333
7.7. Geen latei maar wel funderingsproblemen 334
7.8. Kalkmortel metselwerk 335
7.9. Geen latei, maar geen funderingsproblemen 336
7.10. Geen wapening in rollaag met scheur middenin 338
7.11. Slappe latei in het vlak van de muur 340
7.12. Doorgezakte latei 343
7.13. Muur versterkingsopties boven ramen 344
7.14. Portiekboog 345
7.15. Scheuren rondom latei oplegging 346
7.16. Torsie scheuren 349
7.17. Ringbalkconstructie rondom gebouw 350
7.18. Vroegere bouwmethoden en bouwfouten 351
7.19. Hele gebouwconstructie bestuderen 354
Hoofdstuk 8 VLOERDIAFRAGMA'S 356
8.0. Inleiding 357
8.1. Horizontale doorbuiging van muren 358
8.2. Verticale doorbuiging van muren 359
8.3. Verschillende vervormingen van vloeren 360
8.4. Muurverbinding van stijve systeemvloeren 365
8.5. Verstijven van houten vloeren; de balken 368
8.6. Beweging van het gebouw door traagheid 371
8.7. Verbindingen van houten vloeren met de muren 373
8.8. Balkconstructie rondom de buitenkant 375
8.9. erankering van portaalconstructies 376
8.10. Diafragma verstijvingsoplossingen houten vloeren 378
8.11. Gebruik van droge ingeboorde renovatie spiraalankers 385
8.12. Sterkte berekening 388
8.13. Horizontale Excentriciteit 390
8.14. Voorbeeldberekening van excentriciteit in het plan 394
8.15. Berekening massa en belasting 395
8.16. Berekening traagheidsassen. 396
8.17. Algemene observaties 397
Hoofdstuk 9 DAKDIAFRAGMA 398
9.0. Inleiding 399
9.1. Hoger in het gebouw is meer beweging 400
9.2. Verschillende dakvormen 401
9.3. Binnenzijdige versterking en isolatie steens-muur 404
9.4. Hoe ouder, hoe droger en losser de verbindingen 405
9.5. Versterkingsmethoden 408
9.6. Binnenzijdig of buitenzijdig isoleren. 410
9.7. Versterken samen met het isoleren 410

9.8. Verstijven en versterken van het dakbeschot 411
9.9. Verminderen van belasting door andere topgevels 414
9.10. Het Mansardedak 416
9.11. Spankabels 417
Hoofdstuk 10 GROTE GEBINTEN SCHUUR 421
10.0. Inleiding 422
10.1. Onderhoud en verduurzaming 423
10.2. Eerst dilateren, dan herstellen 424
10.3. Loskoppelen van kopgebouw 426
10.4. De muren moeten losgekoppeld van het schuurdak 428
10.5. Schematische constructie gebinten structuur 431
10.6. De kopgevels voor en achter 433
10.7. Berekening van alleen de hoge muur 437
10.8. De grote deuren aan de kopzijde 438
10.9. Lange lage zijmuren vervangen 440
10.10. Versterking van gebinten en spanten 443
Hoofdstuk 11 DRIE TYPISCHE PROJECTEN 449
11.0. Inleiding 450
11.0. Herbeoordeling van drie projecten 451
11.1. Kleine vrijstaande woning 452
11.2. Seismische versterking 457
11.3. Uitgevoerd versterkingsprogramma 458
11.4. Alternatief licht versterken 461
11.5. Bungalow met twee vloerhoogten 462
11.6. Veranderen van raam/deur-indeling ter versterking 465
11.7. Het versterken van de dragende binnen- en buitenmuren 467
11.8. Alternatief van licht versterken van de bungalow 470
11.9. Garage op zandvulling achter de woning 472
Hoofdstuk 12 VERDUURZAMEN 481
12.0. Inleiding 482
12.1. De kleine woning verduurzamen 483
12.2. Krimpje verduurzamen? 483
12.3. Twee-onder-een-kap verduurzamen, woongroep, rijtjeswoningen 485
12.4. Wat is verduurzamen? 486
12.5. Is het gebouw nog langdurig en duurzaam te bewonen? 489
12.6. De kosten van verduurzamen. 491
12.7. Isoleren en de BENG 493
12.8. Isolatie van de gebouwschil 495
12.9. Duurzaam door recycling en hergebruik 496
12.10. Maak een planning voor hergebruik 497
12.11. Circulair Design Collectief 502
12.12. Duurzaam door milieuvriendelijke materialen 503
Hoofdstuk 13 BASIS SEISMISCHE REGELS 505
13.0. Voorwoord 506
13-1. Het verkeersborden model 507
13.2. Algemeen 507
13-3. Funderingen 509
13-4. Dragende muren 512
13.5. Vloeren en vloerdiafragma's 514
13.6. Daken en dak-diafragma's 517
13.7. Schoorstenen en andere uitsteeksels 519
Nabeschouwing 521

Inhoudsopgave figuren.

Hoofdstuk 1 Verklaringen.

Pagina

Figuur 1-1. Geïnduceerde aardbeving. 24
Figuren 1-2. Locatie van aardschokken. 25
Figuren 1-3. Verkeerde voorstelling bevingen. 25
Figuren 1-4. KNMI-aardbevingen 1900-1996. 26
Figuur 1-5. Juiste hoogte verhoudingen. 27
Figuur 1-6. Aardbeving Christchurch. 28
Figuur 1-7. Trekdiagram van staal. 28
Figuur 1-8. KNMI Webtool NPR9998:2018. 30
Figuur 1-9. Bodemkaartje provincie Groningen. 31
Figuur 1-10. Doorzonwoningen. 32
Figuren 1-11. Oude gebouwen zijn zwak. 32
Figuur 1-12. Effect op een zwak huis. 33
Figuur 1-13. Wijk Opwierde-Zuid. 34
Figuur 1-14. Impressie plantengroei. 35
Figuur 1-15. Accelerometers funderingen. 35
Figuur 1-16. Registratie van aardbeving. 36
Figuur 1-17. Base-isolation principe schets. 36
Figuren 1-18. Molen te Westerwijtwerd. 37
Tabel gevolgklasse. 38
Figuren 1-19. Gebouwvormen met gevolgklasse. 38
Tabel BENG 39
Figuur 1-20. Biogasinstallatie van Host. 40
Figuur 1-21. Geschatte maximale bodemdaling. 40
Figuren 1-22. Oppervlaktetrillingen, bodemruis. 41
Figuur 1-23. Windbelasting op kop woning. 42
Figuur 1-24. Jarino woningen uit jaren '70. 43
Figuur 1-25. 2014 kaartje breukvlakken. 44
Figuur 1-26. Stijve en flexibele elementen. 44
Figuur 1-27. Gasdrukgrafiek van 1963- 2019. 45
Figuren 1-28. Mechaniek van compactie. 46
Figuur 1-29. De COP en SCOP-waarden. 46
Figuren 1-30. Cultureel erfgoed in Groningen. 47
Figuren 1-31. DS1, DS2 en DS3 in de NPR. 48
Figuren 1-32. Schade patronen DS3 en DS4. 48
Figuur 1-33. De buitenventilator. 50
Figuur 1-34. Rigide diafragma. 51
Figuren 1-35. Stijve vloeren, flexibele kolommen. 51
Figuren 1-36. Onregelmatige plattegrond. 52
Figuren 1-37. Scheuren door kleine zettingen. 53
Figuur 1-38. Drie beving metingen. 54
Figuur 1-39. Zoutbult kan schok beïnvloeden. 54
Figuur 1-40. Grote verschillen met tektonisch. 55
Figuren 1-41. Ductiele kolommen parkeergarage. 55
Figuur 1-42. Steenstrips in vele kleuren. 56
Figuren 1-43. Aanpassingen duurzame renovatie. 56
Figuur 1-44. Renoveren geeft veel afval. 57
Figuren 1-45. Gebouwdelen dilateren. 58
Figuur 1-46. Verwijdering van trekstangen. 59
Figuur 1-47. Bouwvormen en aardbevingsschade. 59
Tabel eigen gebrek volgens NAM. 60
Figuren 1-48. Woning in de stutten, vooraanzicht. 60
Figuren 1-49. Scheuren langs stalen kolom. 61
Figuur 1-50. Hypocentrum en epicentrum. 62
Figuur 1-51. Dijkzichtflat in Delfzijl. 63
Figuur 1-52. NAM grafiek aantal bevingen. 64
Figuur 1-53. NAM-grafiek loopt t/m 2017. 64
Tabel gebouwomschrijvingen URM, Arup. 65
Figuren 1-54. Versterking en thermisch isoleren. 67
Figuren 1-55. Zonneboilers, PV- en PVT-panelen. 68
Figuren 1-56. Doosvorm, gewapend metselwerk. 68
Figuren 1-57. Omsloten metselwerk en frames. 68
Figuren 1-58. Metalen skelet, gewapend beton. 69
Figuur 1-59. Deltares rapport doorsnede. 69
Tabel verschillen tektonisch en geïnduceerd. 70
Figuren 1-60. Fasen van instorting. 72
Figuur 1-61. Gedeeltelijke zakking lang gebouw. 72
Figuur 1-62. Historische boerderij Garrelsweer. 73
Figuren 1-63.Toepassing van spiraalwapening. 73
Figuren 1-64. Hoog-risico-elementen. 74
Figuren 1-65. Zware betonnen vloeren. 75
Figuren 1-66. Zachte etage. 75
Figuur 1-67. Het gemeentehuis in Leermens. 75
Figuur 1-68. Inklinking of bodemdaling. 76
Figuur 1-69. Komdaling. 77
Figuur 1-70. Lange warmtelekken. 77
Figuur 1-71. Kwetsbaarheidsdiagram. 78
Figuren 1-72. Oude herenboerderijen. 79
Figuren 1-73. Ladders van Lansink. 79
Tabel Richter en Mercalli schalen. 81
Figuur 1-74. Vergelijking van schalen. 82
Figuren 1-75. KNMI- meetnetwerk. 83
Figuur 1-76. Neerstorten van gevels. 84
Figuren 1-77. Kleine stukjes van 30 x 30 cm. 85
Figuur 1-78. NLTHA-berekening van school. 85
Figuren 1-79. Risicovolle gevelconstructies. 86
Figuur 1-80. Dreigingskaartje met PGAg 0,022. 87
Figuren 1-81. Schoorstenen zijn risicovol. 87
Figuren 1-82. Funderingen op staal moeten breder. 88
Figuren 1-83. Aanleg van platformfundering. 89
Figuren 1-85. Plaatfundering met betonwapening. 90
Figuur 1-86. Ratio van de muurpenanten. 90
Figuur 1-87. De pijpen van de boorlocaties. 91
Figuur 1-88. Response spectrum. 92
Figuur 1-89. Hoge schoorsteen is hoog risico. 93
Figuren 1-90. Topgevel is hoog risico. 94
Figuur 1-91. Oplegging van een latei. 94
Figuur 1-92. Mogelijke schaliegas gebieden. 95
Figuur 1-93. Secundaire gebouwonderdelen. 96
Figuur 1-94. Seismiciteit 2013 tot 2016. 97
Figuur 1-95. Drie soorten seismische golven. 97
Figuur 1-96. Twee seismogrammen. 98
Figuur 1-97. De horizontale radiale beving. 98
Figuren 1-98. Versterking van gevels. 99
Figuren 1-99. Methoden van stutten. 100
Figuren 1-100. Testprogramma's in Italië. 101
Figuren 1-101. Details van testwoningen. 102
Figuur 1-102. Drie typologieën en testwoningen. 102
Figuren 1-103. Platformfundering met portalen. 103
Figuur 1-104. Scheuren door triggerwerking. 104
Figuur 1-105. Drie assen van een trilling-meter. 104
Figuren 1-106. Plaatsen van de trilling-meters. 105
Figuur 1-107. Oude winningsplan 2007. 106

Pagina

Figuur 1-108. Grondsoortenkaart 2006. 106
Figuur 1-109. Stutwerk bij ingangspartij. 107
Figuur 1-110. Daling gemiddeld gasverbruik. 108
Figuur 1-111. Verweking van zandgrond. 109
Figuur 1-112. Uluru Rock in Australië. 109
Figuur 1-113. Zetting bij zandophoging. 110
Figuur 1-114. De Zechsteinsee. 111

Hoofdstuk 2 gebouwvorm.

Pagina

Figuur 2-1. Onregelmatigheid gebouwvorm. 114
Figuren 2-2. Onregelmatige vorm gebouwen. 115
Figuren 2-3. Effecten van seismische golven. 115
Figuur 2-4. Dwarsbelasting Seismische golven. 116
Figuur 2-5. Ongelijkmatige plattegrond gebouw. 116
Figuur 2-6. Seismische dilatatie. 116
Figuren 2-7. Scheuren rijtjeswoningen 'op staal'. 117
Figuren 2-8. Scheuren bij aanbouwen. 117
Figuren 2-9. Compacte gebouwvorm. 117
Figuren 2-10. Ontwerpfout seismische belasting. 117
Figuur 2-11. Verschillende bouwmaterialen. 118
Figuren 2-12. De tussen muren zijn gesloten. 118
Figuren 2-13. Aanleunende woningen. 118
Figuren 2-14. Grachtenpanden met grote diepte. 119
Figuur 2-15. Aardbevingsbelasting rijtjes. 120
Figuur 2-16. Afbeelding van montagebouw. 120
Figuren 2-17. Grote ramen maken zachte etage. 120
Figuur 2-18. Basisvorm van rijtjeswoningen. 121
Figuren 2-19. De toren is tweemaal zo hoog. 121
Figuur 2-20. Massa en fundering verschillend. 121
Figuren 2-21. Onregelmatigheden woningen. 122
Figuren 2-22. Kop-hals-romp boerderij kwetsbaar. 122
Figuur 2-23. Schuur omgebouwd woonruimte. 123
Figuur 2-24. Verschillende funderingen. 123
Figuur 2-25. Lang en met abrupte veranderingen. 123
Figuren 2-26. Onregelmatigheden in een gebouw. 124
Figuren 2-27. Onderbroken diafragma. 124
Figuren 2-28. Teruggezette entree. 124
Figuren 2-29. Woningen met een portiek. 125
Figuur 2-30. Ongelijke stijfheden in de hoogte. 125
Figuren 2-31. Overhangend gebouw. 125
Figuur 2-32. Verschil in stijfheid van etages. 126
Figuren 2-33. Verandering van stijfheid. 126
Figuur 2-34. Zetting aan de zijkanten. 126
Figuren 2-35. Moment-vaste constructie. 127
Figuur 2-36. De stijfheids-as en massa-as. 128
Figuren 2-37. Scheuren vanwege torsie. 129
Figuur 2-38. Brosse schoorsteen, flexibele kap. 129
Figuren 2-39. Stalen spanten en golfplaten. 130
Figuren 2-40. Druklijnen moeten doorlopen. 130
Figuur 2-41. Herhalende sterke structuur. 131
Figuur 2-42. Ongelijke symmetrie. 131
Figuren 2-43. Ongelijke stijfheden twee richtingen. 131
Figuur 2-44. Verhoudingen van openingen. 132
Figuur 2-45. Boven-belasting is bepalend. 132
Figuur 2-46. Gebruik van sjabloon bij RVS. 133
Figuren 2-47. Drie risicovolle elementen. 134
Figuren 2-48. Risicovolle schoorstenen. 134

Pagina

Figuren 2-49. Vrijstaande façade topgevels. 134
Figuren 2-50. Zware gemetselde dak-uitbouwen. 135
Figuren 2-51. Risicovolle geveltoppen. 135
Figuur 2-52. Pie chart van risicovolle situaties. 135
Figuur 2-53. Grafiek windbelastingen. 137
Tabel aantal woningen inde provincie Groningen. 137
Figuren 2-54. Soorten lage woningen. 138
Figuren 2-55. Twee-onder-een-kap-woningen. 139
Figuren 2-56. Verschillende rijtjeswoningen. 139
Figuren 2-57. Flatgebouwen en portiekwoningen. 139
Figuur 2-58. Buitenste hoeken versterken. 140
Figuur 2-59. Verwijderen van de oude gevel. 140
Figuren 2-60. Historische boerderij Base-isolation. *141*
Figuur 2-61.Twee funderingen onder gebouw. 141
Figuren 2-62. Sprongen in de fundering. 142
Figuren 2-63. Dilateren of doorverbinden. 142
Figuren 2-64. Weinig woonruimte in lage zolder. 142
Figuren 2-65. Seismisch versterken bij laag dak. 143
Figuur 2-66. Bungalow in de steigers. 143
Tabel risiconiveau voor Mmax PGAg 0,1. 144
Figuur 2-67. Zijmuren zonder funderingen. 145
Figuren 2-68. Aardbevingsschade tektonisch. 145
Figuren 2-69. Gemetselde fundering 'op staal'. 146
Figuur 2-70. Wegwerken van scheuren. 146
Tabel scheuren opties en resultaten. 147
Figuren 2-71. Verschillende rekenmethoden. 147
Figuur 2-72. Warmteverliezen bij een woning. 148
Figuur 2-73. Verplichting tot beter isoleren. 149

Hoofdstuk 2 Schoorstenen

Pagina

Figuur 3-1. Na heen en weer schudden. 152
Figuur 3-2. Monumenten zijn vaak beschermd. 153
Figuur 3-3. Schoorsteen heeft grote massa. 154
Figuren 3-4. Verschillende modellen schoorsteen. 154
Figuren 3-5. Verschillende soorten geveltoppen. 155
Figuur 3-6. Jaren '30 woning architectuur. 156
Figuur 3-7. Verbreding van metselwerk. 157
Figuur 3-8. Imitatie lichtgewicht schoorsteen. 157
Figuur 3-9. Geïsoleerde lichtmetalen pijpen. 157
Figuren 3-10. Aantal schoorstenen. 158
Figuur 3-11. Ventilatie buitenunit warmtepomp. 158
Figuren 3-12. Soorten hout en gaskachels. 159
Figuur 3-13. Houtkachel geeft veel fijnstof. 159
Figuren 3-14. Schoorstenen uit New Zealand. 160
Figuren 3-15. Berekening dwarskracht. 161
Figuur 3-16. Gevallen schoorsteen. 161
Figuren 3-17. Hoge slanke schoorsteen. 161
Figuren 3-18. Rvs geïsoleerde pijpen. 162
Figuren 3-19. Woningen zonder schoorsteen. 162
Figuur 3-20. '30 woning met twee schoorstenen. 162
Figuren 3-21. Gesinterde sierbakstenen. 163
Figuur 3-22. Versterking schoorsteen. 163
Figuur 3-23. Methode van versterken. 164
Figuren 3-24. Oude en nieuwe schoorsteen. 164
Figuren 3-25. Schoorstenen op stoel. 165
Figuren 3-26. Kopgevel schoorstenen. 165
Figuren 3-27. Constructies schoorsteenstoel. 166

	Pagina
Figuur 3-28. Onder lege sier-schoorsteen.	*166*
Figuur 3-29. Geen topgevelschoorsteen.	*166*
Figuren 3-30. Schoorsteen op wolfseinde.	*167*
Figuur 3-31. Historische woning in Usquert.	*167*
Figuur 3-32. Historische woning in Loppersum.	*167*
Figuur 3-33. Zonder schoorsteen op wolfseinde.	*167*
Figuren 3-34. Versleepte schoorsteen.	*168*
Figuur 3-35. Verdroogd, gekrompen dakbeschot.	*168*
Figuur 3-36. Statistiek hoog-risico elementen.	*169*
Figuren 3-37. Prefab lichtgewicht schoorsteen.	*170*
Figuren 3-38. Schuine asbestpijp schoorsteen.	*171*
Figuur 3-39. Monument met schoorsteen.	*171*
Figuren 3-40. Schoorstenen bij woningrenovatie.	*171*
Figuur 3-41. Verplaatsing bij aardbeving.	*172*
Figuren 3-42. Monument, vrijstaande schoorsteen.	*172*
Figuren 3-43. Schoorstenen in kapconstructie.	*173*
Figuren 3-44. Versleepte schoorsteen.	*173*
Figuren 3-45. Versleepte schoorstenen.	*173*
Figuren 3-46. Asbest pijpen voor ventilatie.	*173*
Figuren 3-47. Vervangen door PVC-buizen.	*174*
Figuren 3-48. Gebrek aan draagcontinuïteit.	*174*
Figuur 3-49. Schoorsteen op langs-muur.	*175*
Figuur 3-50. Scheuren in binnenmuren.	*175*
Figuur 3-51. Kruiselingse binnenmuren.	*175*
Figuur 3-52. Schoorstenen zonder functie.	*176*
Figuren 3-53. Een staaf is onvoldoende.	*176*
Figuren 3-54. Bovenste stuk is verlengd.	*176*
Figuren 3-55. Stabiel in één richting.	*177*
Figuur 3-56. Verankering opties.	*177*
Figuren 3-57. Soorten schoorstenen.	*177*
Figuren 3-58. Geïsoleerde rvs-schoorstenen.	*178*
Figuren 3-59. Lichtgewicht composietschoorsteen.	*178*
Figuren 3-60. Monumentaal met steen-strips.	*179*
Figuren 3-61. Karakteristieke geveltoppen.	*179*
Figuur 3-62. Constructie detail geveltop.	*180*
Figuren 3-63. Modellen geveltoppen.	*180*
Figuren 3-64. Vrije zijhoeken van geveltoppen.	*180*
Tabel overzicht beslissingsschema maatregelen.	*181*
Figuur 3-65. Geveltop versterking.	*181*
Figuur 3-66. Hardstenen afdekelementen.	*182*
Figuren 3-67. Verankeringsmethode ballustrade.	*182*
Figuur 3-68. Ingestort betonnen balkon.	*182*
Figuren 3-69. Uitkragende schoorsteen basis.	*183*
Figuur 3-70. Beoordeling van een geveltop.	*183*
Figuren 3-71. Monument met 5 schoorstenen.	*184*
Figuren 3-72. Borstwering met spanbanden.	*184*
Figuren 3-73. Extra schoorsteen bijgebouw.	*185*
Figuren 3-74. Oorzaak van gevelschade.	*186*
Figuren 3-75. Houten topgevel is flexibel.	*186*
Figuur 3-76. Schoorsteen in Tjamsweer.	*186*
Figuur 3-77. Schoorstenen trekken krom.	*187*
Figuren 3-78. Stalen ringbanden.	*187*

Hoofdstuk 4 Funderingen

	Pagina
Figuren 4-1. Golfbewegingen bij aardbeving.	*190*
Figuur 4-2. Grafiek van de aardbeving.	*191*
Figuur 4-3. De grond druklijn.	*192*
Figuren 4-4. Verticale P-trillingen.	*192*
Figuren 4-5. Ontwikkelingen funderingen.	*193*
Figuur 4-6. Fundering types.	*193*
Figuur 4-7. Bewegingsanalyse trilling.	*194*
Figuur 4-8. Effect wasmachine-centrifuge.	*194*
Figuren 4-9. De komdaling.	*195*
Figuur 4-10. Bodemdaling.	*196*
Figuren 4-11. Aanbouw verzakking.	*197*
Figuur 4-12. Schade na uitbaggeren.	*197*
Figuur 4-13. Plaatselijke verzakking.	*198*
Figuren 4-14. Verdroging en inklinking.	*198*
Figuren 4-15. Boerderij op een terp met bomen.	*198*
Figuren 4-16. Draaiing, verzakking buitengevel.	*199*
Figuur 4-17. Gebouw op een stukje veen.	*199*
Figuren 4-18. Computertekening van belasting.	*200*
Figuren 4-19. De façade palenrijen.	*200*
Figuren 4-20. Monolithische gebouwen.	*201*
Figuur 4-21. Effect vloerdiafragma.	*202*
Figuur 4-22. Funderingen verbreden.	*202*
Figuren 4-23. Verwijderde houten vloer.	*203*
Figuur 4-24. Toevoeging gewapende betonstrook.	*204*
Figuur 4-25. Buitenspouwblad verwijderen.	*204*
Figuur 4-26. Woningen met een kleine kelder.	*205*
Figuren 4-27 Kelder scheuren.	*205*
Figuur 4-28. Fundering dieper aangelegd.	*206*
Figuren 4-29. Kapotte, lekke hoofdriolering.	*206*
Figuren 4-30. Woningen met gresbuizen.	*207*
Figuren 4-31. Verzakking van staanders.	*207*
Figuren 4-32. Latere aanbouw.	*208*
Figuren 4-33. Verkeersdrempel.	*209*
Figuur 4-34. Draaiing van dijkwoningen.	*209*
Figuur 4-35. Kwelwater en verweking.	*209*
Figuur 4-36. Latere aanbouwen.	*209*
Figuren 4-37. Zijwaarts uitwaaieren druk.	*210*
Figuur 4-38. Scheuren naar boven.	*210*
Figuren 4-39. Toename van scheuren.	*211*
Figuur 4-40. Ring wapening.	*212*
Figuren 4-41. Verbreden van funderingen.	*213*
Figuur 4-42. Extra palen onder de fundering.	*213*
Figuren 4-43. Verbreding met vulpaletten.	*214*
Figuur 4-44. Platformfundering en Base-isolation.	*214*
Figuur 4-45. Onderste fundering stabiel.	*215*
Figuren 4-46. Verzakken van staanders.	*215*
Figuur 4-47. Lage buitenmuren loskoppelen.	*215*
Figuur 4-48. Verticale scheur slappe fundering.	*216*
Figuren 4-49. Wijken van de gevel boven ramen.	*217*
Figuren 4-50. Injecties met expansiehars.	*218*
Figuur 4-51. Naast de fundering injecteren.	*218*
Figuren 4-52. Uretek opblaas powerpiles.	*219*
Figuren 4-53. Buis-perspalen (de Waal).	*219*
Figuren 4-54. Schroefpaal of boorpaal.	*220*
Figuur 4-55. Basis isolerende buitengevel.	*220*
Figuur 4-56. Verbreding binnenmuur fundering.	*220*
Figuur 4-57. Betonplaten onder fundering.	*221*
Figuur 4-58. Nienhuys vulpaletten.	*221*
Figuur 4-59. HDPE-pallets 1 m^2.	*222*
Figuur 4-60. Platformfundering werkvolgorde.	*222*
Figuur 4-61. Smalle funderingen 'op staal'.	*223*

Pagina

Figuur 4-62. Zonder sterke glaspanelen. 223
Figuren 4-63. Aanleggen van platformfundering. 223
Figuur 4-64. Aanbrengen van wapening. 224
Figuur 4-65. Platformvloer en Base-Isolation. 224
Figuren 4-66. Perspalen door uitsparingen. 225
Figuur 4-67. Base-isolation *op funderingsbalk.* 226
Figuren 4-68. Mini Base-isolation *op palen.* 226

Hoofdstuk 5. Base-isolation

Figuur 5-0. Nieuw-Zeeland parlement gebouw. 227
Figuur 5-1. Gevel parlementsgebouw. 228
Figuren 5-2. Rijksmonumenten. 230
Figuur 5-3. Boven-fundering 1 m opgetild. 231
Figuur 5-4. Vrijstaand, bouwjaar 1905. 232
Figuren 5-5. De trillingsfrequentie. 232
Figuur 5-6. Gebouw ductiliteit μ. 233
Figuren 5-7. Geen seismische versterking. 234
Figuren 5-8. Base-isolation *toepassing.* 234
Figuur 5-9. Vermindering van belasting. 235
Figuren 5-10. Centraal elastisch rubber. 235
Figuur 5-11. Toepassing perspalen. 236
Figuren 5-12. Schokdempers (viscose). 236
Figuur 5-13. Pendulum glider. 237
Figuur 5-14. Dubbele pendulum glider. 237
Figuur 5-15. Maurer dubbel concave slider. 237
Figuur 5-16. Roller systeem, vlak. 237
Figuur 5-17. Gemeentehuis Loppersum 2014. 237
Figuur 5-18. Maurer systeem toegepast. 238
Figuur 5-19. Verplaatsing >1/3de oplegbreedte. 238
Figuren 5-20. Aanleg platformfundering villa. 239
Figuren 5-21. Aanleg platformfundering hoeve. 239
Figuur 5-22. Nieuwbouw met stalen frame. 240
Figuren 5-23. Lead Rubber Bearing system. 240
Figuur 5-24. Voldoende beweegruimte. 241
Figuren 5-25. Base-isolation *met kelders.* 241
Figuren 5-26. Flexibele waterleiding. 241
Figuren 5-27. Andere Base-isolation *systemen.* 242
Figuren 5-28. Meer Base-isolation *systemen.* 242
Figuren 5-29. Springveren en damwand. 242
Figuur 5-30. Eenvoudige montage. 243
Figuur 5-31. Vrije overspanning opening. 244
Figuur 5-32. Verbreden van de draagplaten. 244
Figuren 5-33. Carbon fundering wapening. 245
Figuur 5-34. Belasting opties. 245
Figuren 5-35. Platformfundering Base-isolation. 246
Figuur 5-36. Inbouwunit precies horizontaal. 246
Figuren 5-37. Spanbouten mechaniek. 247
Figuur 5-38. Inbouw unit. Stappen 4-6. 247
Figuren 5-39. Tijdelijke ondersteuning. 248
Figuur 5-40. In elastisch rubber ingepakt. 248
Figuur 5-41. Opvolgende stappen 1-7. 249
Figuur 5-42. Opties Base-isolation *plaatsen.* 249
Figuur 5-43. Verticale scheuren op palen. 250
Figuren 5-44. Paalkop Base-isolation. 250
Figuur 5-45. Teflon producten. 251
Figuur 5-46. Gepolijst marmer. 252

Pagina

Figuren 5-47. Belastingen rijtje en woonhuis. 252
Figuur 5-48. Glijder en inbouwelement. 253
Figuur 5-49. Spouwmuur constructie. 253
Figuur 5-50. Dubbele teflon glijders. 253
Figuur 5-51. Horizontale uitslag. 254
Figuur 5-52. EPDM elastisch omhulsel. 254
Figuren 5-53. Licht lopend rol-systeem. 255
Figuur 5-54. Drie parallelle naaldrollers. 255
Figuur 5-55. Scheidingen tussen gebouwen. 255
Figuren 5-56. Kogelroller- systemen. 256
Figuren 5-57. Kogel Base-isolation *ontwerp.* 256
Figuren 5-58. Kalkmortel gemetselde woningen. 257
Figuren 5-59. Cementmortel woningtypen. 257
Figuren 5-60. Historische villa. 258
Figuren 5-61. Groningen monumenten. 258
Figuur 5-62. Sandwich Base-isolation. 259
Figuur 5-63. Rubber-PUR wordt samengedrukt. 259
Figuur 5-64. Stappenplan voor storten. 260
Figuur 5-65. Dragende binnenmuren. 260
Figuren 5-66. Fakhir Base-isolation. 261

Hoofdstuk 6. Muren.

Pagina

Figuren 6-1. Versterkingsmaatregelen. 263
Figuren 6-2. Instorten van muren. 264
Figuur 6-3. Richting van de aardbeving. 265
Figuren 6-4. Gebouwmassa. 265
Figuur 6-5. Halve muurlengte. 266
Figuren 6-6. Vloerdiafragma. 266
Figuur 6-7. Ringbalk raamlateien. 267
Figuur 6-8. Latei-ringbalken. 267
Figuur 6-9. Stijf vloerdiafragma. 267
Figuren 6-10. Krachten naar fundering. 268
Figuren 6-11. Binnenmuur belasting. 269
Figuren 6-12. Binnenmuur versterking. 269
Figuren 6-13. Vervorming binnenmuren. 269
Figuren 6-14. Carbonvezel stroken (CRFP). 270
Figuren 6-15. Binnenmuren scheuren. 271
Figuren 6-16. Afstand tussen de wapening. 271
Figuren 6-17. In-frezen van gleuven. 272
Figuren 6-18. GVTW doorzetten naar boven. 273
Figuren 6-19. Werkwijze van plakken. 273
Figuren 6-20. Eenzijdig Hout Skelet Bouw HSB. 274
Figuren 6-21. Zeer zware versterkingen. 274
Figuren 6-22. Zware HSB-versterking. 274
Figuur 6-23. Versterken na schoorsteen. 275
Figuren 6-24. C-profielen bij binnenmuren. 275
Figuur 6-25. Stalen voorzetwanden. 276
Figuur 6-26. Belastingverloop in muren. 276
Figuur 6-27. Vier schadevormen penanten. 277
Figuren 6-28. Scheuren A, BC en dubbele C. 277
Figuren 6-29. Voorspan ontwerpen. 278
Figuur 6-30. De krachtenresultante. 278
Figuren 6-31. Smalle raampenanten kantelen. 279
Figuren 6-32. Zes opties gevelversterking. 279
Figuren 6-33. Diagonaalscheur dakkapel. 279
Figuren 6-34. Scheuren type BC. 280
Figuur 6-35. Geen treksterkte bij ramen. 280

	Pagina
Figuur 6-36. Voetverpulvering.	280
Figuren 6-37. Penanten scheuren.	281
Figuren 6-38. Versterking van penanten.	281
Figuren 6-39. Mogelijkheden met GVTW.	281
Figuren 6-40. GVTW moet in de hoeken.	282
Figuren 6-41. Penanten buiten afwerken.	282
Figuur 6-42. Binnenmuur fundering aanpassen.	282
Figuren 6-43. Kleine woning berekenen.	283
Figuren 6-44. Verbreding van de fundering.	284
Figuren 6-45. Excentrische belasting.	285
Figuur 6-46. Spouwmuursterkte met harde PUR.	285
Figuren 6-47. Versterking smalle penanten.	287
Figuur 6-48. Verbinden houten profielen.	287
Figuren 6-49. Erg smalle raampenanten.	287
Figuren 6-50. Muren in de dwarsrichting.	288
Figuren 6-51. Versterking naar de kelder.	289
Figuren 6-52. Afbeeldingen van Helifix.	289
Figuren 6-53. Carbon Fibre Reinforced Polymer.	289
Figuren 6-54. Horizontale verplaatsing penant.	290
Figuren 6-55. Bereken belasting per penant.	291
Figuur 6-56. Voorgevel of achtergevel.	292
Figuren 6-57. Erg smalle raampenanten.	292
Figuren 6-58. Hoge ramen, smalle penanten.	293
Figuren 6-59. Rijtjes- en doorzonwoningen.	293
Tabel belangrijkste opties versterken muren.	293
Figuren 6-60. Gietbouw of systeembouw.	294
Figuren 6-61. Buitenste vloeren versterken.	295
Figuur 6-62. Begane grond rijtjeswoningen.	295
Figuren 6-63. Open keuken maken.	295
Figuren 6-64. Verschillende muurpenanten.	296
Figuur 6-65. HSB met OSB-platen.	296
Figuur 6-66. Geen balkhoogte bij plafond.	297
Figuur 6-67. Versterkingsprofiel op vloer.	297
Figuur 6-68. Methoden voor versterking gevel.	298
Figuren 6-69. Grote raamopeningen.	298
Figuren 6-70. Stalen kolommen en portalen.	298
Figuren 6-71. Portaalconstructies binnen.	299
Figuren 6-72. Onvoldoende gedilateerd.	299
Figuren 6-73. Grachtenwoningen.	299
Figuren 6-74. Symmetrisch versterken.	300
Figuren 6-75. Versterkte raam omlijstingen.	300
Figuren 6-76. Sterk deurframe in de gevel.	301
Figuren 6-77. Grotere aanpassingen van gevel.	301
Figuur 6-78. Uitbreiding van badkamer.	302
Figuren 6-79. Windbelasting bij rijtjeswoningen.	302
Figuren 6-80. Versterkte zij-aanbouw.	303
Figuur 6-81. Trappenhuis geeft versterking.	303
Figuur 6-82. Dichtgemetseld raam of deur.	303
Figuur 6-83. Hoekraam dichtgemetseld.	303
Figuren 6-84. Sterke constructieve ruiten.	304
Figuren 6-85. Detail gelamineerd glaspaneel.	305
Figuren 6-86. Stelplaatjes, imitatie ramen.	306
Figuren 6-87. Opplak latten i.p.v. een raam.	306
Figuren 6-88. Sterke glaspanelen.	307
Figuren 6-89. Constructief glaspaneel.	308
Figuur 6-90. Hele pui vervangen.	308
Figuur 6-91. Gerenoveerd gebouw.	309
Figuren 6-92. Diagonale spankabels.	309
Figuur 6-93. Impressie van een exo-skelet.	309
Figuur 6-94. Houten vloerdiafragma.	310
Figuren 6-95. Buitenzijdige versterking.	310
Figuur 6-96. Nieuwe sterke geïsoleerde gevel.	310
Figuur 6-97. Verminderen van massa.	311
Figuur 6-98. Metalen frame op fundering.	311
Figuren 6-99. Constructieve voorwaarde.	312
Figuren 6-100. Steenstrip toepassing.	312
Figuur 6-101. EPS-ribbels isolatiemateriaal	312
Figuur 6-102. De toepassing spuitbeton.	313
Figuur 6-103. Verkeerde toepassing Helifix.	314
Figuren 6-104. Wegwerken is geen versterking.	314
Figuur 6-105. Niet-doorlopende rvs-wapening.	314
Figuur 6-106. Niet om de hoek aangebracht.	315
Figuren 6-107. Ruimte boven raam is klein.	315
Figuren 6-108. Gevel versterkingen.	315
Figuren 6-109. Drie typen scheuren in baksteen.	316
Figuur 6-110. Verticale hoekscheuren.	316
Figuur 6-111. Weerstand tegen vervorming.	316
Figuur 6-112. Ingeplakte wokkels nodig.	317
Figuren 6-113. Scheuren geveltopbewegingen.	317
Figuren 6-114. Slappe kapconstructie.	317
Tabel vergelijk bouwjaar en isolatiewaarden	318
Figuren 6-115. Gelijksoortige gebouwen.	319

Hoofdstuk 7. Lateien

	Pagina
Figuur 7-1. Doorgezakte togen steens-muur.	321
Tabel Omschrijvingen en schetsen	322-325
Figuur 7-2. Basisprincipes.	326
Figuur 7-3. Versterking niveaus.	327
Figuur 7-4. Verschillend verzakken.	327
Figuren 7-5. Grote ramen is minder sterkte.	327
Figuren 7-6. Per typologie versterkingsschema.	328
Figuur 7-7. Ringbalk lintvoegwapening.	328
Figuren 7-8. Meerdere typologieën.	329
Figuren 7-9. Scheuren in binnenmuren.	330
Figuren 7-10. Demonstratie scheurvorming.	330
Figuren 7-11. Versterking van het diafragma.	331
Figuren 7-12. Versterken boven de deuren.	331
Figuur 7-13. Druk-trek vaste verbinding.	332
Figuur 7-14. Wokkels met GVTW.	332
Figuren 7-15. Geen echte latei.	333
Figuren 7-16. Fundering verzakking.	334
Figuren 7-17. Hele gevel beoordelen.	334
Figuren 7-18. Rentenierswoning uit 1800.	335
Figuren 7-19. Latei scheuren.	336
Figuren 7-20. Meer latei scheuren.	337
Figuren 7-21. Oude gebouwschade.	338
Figuren 7-22. Scheur in de rollaag.	338
Figuur 7-23. Wegvallen gevel.	339
Figuur 7-24. Versterking op zes manieren.	339
Figuren 7-25. Haarscheuren in het midden.	340
Figuren 7-26. Rondom gebouw wapening.	340
Figuren 7-27. Oude en nieuwe situaties.	341
Figuren 7-28. Raam en overdekte entree.	341
Figuren 7-29. Muurversteviging met wapening.	342
Figuren 7-30. Verhoging gebouwbelasting.	343

Pagina

Figuren 7-31. Lintvoegwapeningen ramen. 344
Figuren 7-32. Krachtenresultante buiten basis. 345
Figuren 7-33. De eenzijdige oplegging. 345
Figuur 7-34. Verankering boogconstructie. 346
Figuren 7-35. Latei trekt metselwerk los. 346
Figuren 7-36. Thermische uitzetting. 347
Figuren 7-37. Scheur naar dakrand. 347
Figuren 7-38. Kort op binnenmuur gelegd. 347
Figuren 7-39. Draagt op binnen spouwblad. 348
Figuren 7-40. Doorlopende lintvoegwapening. 348
Figuren 7-41. Adviestekeningen HAS-systeem. 348
Figuur 7-42. Versterking korte lateien. 349
Figuren 7-43. Torsie scheuren. 349
Figuur 7-44. Hoek is naar buiten gekomen. 349
Figuren 7-45. Ringbalken gepleisterd. 350
Figuren 7-46. Doorkoppeling ringband. 350
Figuren 7-47. Metalen ring-balk/goot. 351
Figuren 7-48. Metselwerk schuurdeur boog. 352
Figuren 7-49. Geen trekstang aanwezig. 352
Figuren 7-50. Jarino woningen Loppersum. 353
Figuren 7-51. Extra lateiankers oplegpunt. 353
Figuren 7-52. Erker uitbouw. 354
Figuren 7-53. Oorzaken schade rond lateien. 355
Figuren 7-54. Meer gebouwonderzoek. 355

Hoofdstuk 8. Vloerdiafragma's

Pagina

Figuur 8-1. Geen zij-ondersteuning. 357
Figuur 8-2. Geen goede verankering. 357
Figuur 8-3. Plankenvloer uitgedroogd. 358
Figuur 8-4. Muur versterkingen. 358
Figuur 8-5. Trekwapening in bovenkant. 358
Figuur 8-6. Plaatsen van binnenmuur. 359
Figuur 8-7. Beoordeel in twee richtingen. 359
Figuur 8-8. Uitbuiging van de muur. 360
Figuur 8-9. Muur-vloer verbindingen. 360
Figuren 8-10. Slechte verbindingen vloeren. 361
Figuur 8-11. De grootste vervorming. 361
Figuur 8-12. Goede vernageling belangrijk. 362
Figuur 8-13. Verbindingsmogelijkheden balken. 362
Figuren 8-14. Helifix anker toepassingen. 363
Figuren 8-15. Verbinding muur-balken. 363
Figuren 8-16. Verbindingen vloeren-muren. 364
Figuren 8-17. Scheuren langs het plafond. 364
Figuren 8-18. Stijve betonnen vloerelementen. 365
Figuur 8-19. Krimpnet voorkomt uitbuiging. 365
Figuur 8-20. Ligger langs de vloerrand. 366
Figuur 8-21. Plakstroken CRFP op de vloer. 366
Figuren 8-22. Kruiselings gelijmde stroken. 366
Figuren 8-23. Brede hoekijzers vloer-muur. 367
Figuur 8-24. Beweegbare verbinding. 367
Figuur 8-25. Goede muur-vloer verbinding. 367
Figuren 8-26. Uitbuigen is knikgevaar. 368
Figuur 8-27. Maatregelen bij vloeren. 369
Figuren 8-28. Loskomen uit balkoplegging. 369
Figuren 8-29. Te zware zoldervloerbelasting. 370
Figuur 8-30. Opties voor balkversterking. 370
Figuur 8-31. Meer opties balkversterking. 371

Pagina

Figuren 8-32. Binnenmuren moeten gekoppeld. 371
Figuren 8-33. Herhaling van figuren 8-3 + 8-12. 372
Figuren 8-34. Meer verplaatsing in hoogte. 372
Figuur 8-35. Slechte verankering balken. 373
Figuur 8-36. Brede spouwen van na 1980. 373
Figuur 8-37. Bakstenen kunnen afschuiven. 373
Figuren 8-38. Spiraalanker (wokkel) kops. 374
Figuur 8-39. Gevouwen staalplaat. 374
Figuren 8-40. Toepassing van GVTW. 375
Figuur 8-41. Buitenzijdige balkconstructie. 375
Figuur 8-42. Lange Helifix ankers. 375
Figuren 8-43. Imitatie 'speklagen'. 376
Figuur 8-44. Winkelpui of doorzonwoning. 376
Figuren 8-45. Maximum momentzones sterk. 377
Figuren 8-46. Momentsterke frames/portalen. 377
Figuren 8-47. Meerdere oplossingen. 377
Figuren 8-48. Portalen of korbelen. 378
Figuur 8-49. 16 gangbare methoden. 378
Figuren 8-50. Methoden #1, #2 en #3. 378
Tabel Vloerversterkingen, 18 methoden 379
Figuren 8-51. Verstijven van een dakbeschot. 381
Figuren 8-52. Voorstel nieuwe topvloer. 381
Figuren 8-53. Spijkerplaten of kramplaten. 382
Figuren 8-54. Bij bestaande balken veel werk. 382
Figuren 8-55. OSB platen en met groef. 382
Figuren 8-56. Sterk multiplex is aanbevolen. 383
Figuren 8-57. Nokken op de vloer schroeven. 384
Figuren 8-58. Lewis vloeren met beton. 384
Figuren 8-59. Geëxpandeerd metaalplaat. 385
Figuren 8-60. Metaalgaas toepassing. 385
Figuren 8-61. Spiraalankers en boren. 385
Figuur 8-62. Trekkracht anker testen. 386
Figuren 8-63. Spouwmuren verbinden. 387
Figuur 8-64. Hoekverbinding hout/beton. 387
Tabel overzicht Thorhelical ankers. 388
Figuur 8-65. Sterkte berekening vloer. 389
Figuur 8-66. Massa + 50% nuttige belasting. 389
Figuur 8-67. Horizontale Δd van de vloer. 390
Figuur 8-68. Woning met excentriciteit. 391
Figuur 8-69. Draaiing door belasting. 391
Figuur 8-70. Beweging buitenhoeken. 391
Figuur 8-71. Zwaartelijnen zijn bepalend. 392
Figuren 8-72. Moderne woning van Figuur 8-70. 392
Figuren 8-73. Dunne (binnen)muren bezwijken. 393
Figuren 8-74. Verdiepte voegen nadelig. 393
Figuren 8-75. Drukverloop in de voeg. 394
Figuur 8-76. Maatvoering vloeren. 394
Figuur 8-77. Berekening traagheidsassen. 396

Hoofdstuk 9. Dakdiafragma

Pagina

Figuur 9-1. Meer dan een enkel probleem. 399
Figuren 9-2. Horizontale verplaatsing bovenin. 400
Figuren 9-3. Schade locatie bij zadeldaken. 400
Figuren 9-4. Verschillende dakvormen. 401
Figuren 9-5. Kapconstructie met borstweringen. 402
Figuren 9-6. Foto's van hoge borstwering. 402
Figuren 9-7. Kopwoning met hoge borstwering. 402

Pagina

Figuur 9-8. Detailfoto verroest balkanker. 403
Figuur 9-9. Middengedeelte uitgedrukt door dak. 404
Figuren 9-10. Muur is naar buiten gekomen. 404
Figuren 9-11. Per typologie versterkingen. 405
Figuren 9-12. Uitgedroogde planken of sporen. 405
Figuren 9-13. Slechts berekend op windbelasting. 406
Figuren 9-14. Schoorsteen moet verwijderd. 407
Figuren 9-15. Massa moet verwijderd worden. 407
Figuur 9-16. Doorzakken van nok-gording 407
Figuur 9-17. Uitvlakken van oude gordingen. 408
Figuren 9-18. Krachten naar de draagmuren. 408
Figuren 9-19. Geen verkeerde belastingen. 409
Figuren 9-20. Vervangen van het hele dak. 410
Figuren 9-21. Geen isolatie van daken. 410
Figuren 9-22. Resterende breedte gordingen. 410
Figuren 9-23. Dakkapellen zijn onderbreking. 411
Figuren 9-24. Dak-opbouwen moeilijk versterken. 411
Figuren 9-25. Inwendige dakconstructies. 412
Figuur 9-26. Diagonale spankabels. 412
Figuur 9-27. Nieuw dak met stijve panelen. 413
Figuur 9-28. Geïntegreerd PV-systeem. 413
Figuren 9-29. Lichtmetalen dakbedekking. 414
Figuren 9-30. PV-panelen zonder dakpannen. 414
Figuren 9-31. Lichtgewicht topgevels. 415
Figuren 9-32. Steen-strips van oude bakstenen. 415
Figuren 9-33. Twee dakhellingen verstijven. 416
Figuur 9-34. De kap op een borstwering. 416
Figuur 9-35. Vliering niet verwarmd. 417
Figuren 9-36. Krachtenverloop dakconstructie. 417
Figuren 9-37. De opspan-, verbindingsmiddelen. 418
Figuren 9-38. PVC-gecoat staaldraad. 418
Figuur 9-39. Doorverbinding bij spankabels. 418
Figuur 9-40. Agrarische gebouwen. 419
Figuur 9-41. Tweezijdige span-boogconstructies. 419
Figuren 9-42. Gegalvaniseerd stalen spanverband. 419
Figuren 9-43. Woonhuis dak op-spanning. 420

Hoofdstuk 10. Gebinten schuur

Pagina

Figuur 10-1. Boerderij en gebintenschuren. 422
Figuren 10-2. Ombouw naar andere functies. 423
Figuren 10-3. Niet onderhouden boerderij. 424
Figuren 10-4. Woonruimte in schuur gebouwd. 424
Figuur 10-5. Aan elkaar gebouwde kop-romp. 425
Figuren 10-6. Verbreding van het woonhuis. 425
Figuren 10-7. Kop-hals-romp boerderij schade. 426
Figuur 10-8. Architectonisch geen grote waarde. 427
Figuur 10-9. Kosteloze vervanging asbest. 427
Figuur 10-10. Bij nieuwbouw met PV-dak. 427
Figuur 10-11. Alleen woonhuis opwaarderen. 427
Figuren 10-12. Gang en zijdeur aan grote schuur. 427
Figuren 10-13. Voorgevel en scheurdetail. 428
Figuur 10-14. Zij druk van flexibele kap. 429
Figuur 10-15. Verzakking van gebinten. 429
Figuren 10-16. Kolom-voeten onderhoud. 430
Figuren 10-17. Zijmuren zonder funderingen. 430
Figuren 10-18. Ontwerp gebinten schuur. 431
Figuren 10-19. Verzwakking van spanten. 432
Figuren 10-20. Opslag in gebintenschuren. 432
Figuur 10-21. Ontwerp dakconstructie. 433
Figuren 10-22. Versterkingen langs gebinten. 433
Figuren 10-23. Losgekomen kopgevel. 434
Figuren 10-24. Mezzanine vloer aan kopgevel. 434
Figuur 10-25. Versterken van de kopgevel. 435
Figuur 10-26. Portalen ondersteunen kopgevel. 435
Figuren 10-27. Vervangen van de hele gevel. 436
Figuur 10-28. Ontkoppeling van het woonhuis. 436
Figuur 10-29. Versterking met portalen. 437
Figuren 10-30. Schroefankers in alle maten. 438
Figuur 10-31. Ontwerp grote schuurdoor. 438
Figuur 10-32. Schematische toelichting schade. 439
Figuur 10-33. Grote deur is dichtgemetseld. 439
Figuur 10-34. Scheur in de zwakste doorsnede. 439
Figuren 10-35. Complexe schadesituaties. 440
Figuren 10-36. Gelijksoortige oplossingen. 440
Figuren 10-37. Oude plaats van koeienstallen. 441
Figuur 10-38. Zijmuur is vaak halfsteens. 441
Figuren 10-39. Oude kalverenstallen vervangen. 442
Figuur 10-40. Zijmuur aan de gebinten vast. 442
Figuren 10-41. Balkankers in de zijmuren. 442
Figuren 10-42. Ingestort muurdeel dichtgezet. 443
Figuur 10-43. Flexibele dakconstructie. 444
Figuren 10-44. Nieuwe funderingen, staanders. 444
Figuur 10-45. Langsdoorsnede grote schuur. 445
Figuur 10-46. Versterking van de verbindingen. 445
Figuur 10-47. Dwarsdoorsnede gebintenschuur. 446
Figuur 10-48. Versterkingen van balkverbinding. 447
Figuren 10-49. Verbinding tegen lostrekken. 447
Figuur 10-50. Metalen verbindingsstukken. 448
Figuur 10-51. Gebintenschuren verduurzamen. 448

Hoofdstuk 11. Drie projecten

Pagina

Figuur 11-1. Kleine vrijstaande woning. 451
Figuur 11-2. Bungalow met garage in de kelder. 451
Figuur 11-3. Garage aanbouw op zandpakket. 451
Figuren 11-4. Oostgevel en noordgevel. 452
Figuren 11-5. Opname van schade aan bijkeuken. 452
Figuren 11-6. Voorzijde met oud gevelherstel. 453
Figuren 11-7. Verse nieuwe en oude scheuren. 453
Figuren 11-8. Woning ‘op staal’ met keldertje. 455
Figuren 11-9. Kanteling van de hele woning. 455
Figuren 11-10. Straatgevel werd eerder hersteld. 456
Figuur 11-11. Glad betonstaal, hoge rekgrens. 456
Figuur 11-12. Opdrukken van de vloer mogelijk. 457
Figuren 11-13. Seismische versterking. 457
Figuur 11-14. Hele achtermuur verwijderd. 458
Figuur 11-15. Negatieve wapening in de vloer. 458
Figuur 11-16. Stalen binnenmuur portalen. 458
Figuren 11-17. Detail van ingeklemd balkon. 459
Tabel uitgevoerde-niet uitgevoerde maatregelen. 459
Figuren 11-18. Vloer steunt niet op buitenmuur. 460
Tabel van de meest voorkomende opties. 461
Figuren 11-19. Bakstenen geveltop is kwetsbaar. 462
Figuren 11-20. De bungalow zonder/met stutten. 462
Figuren 11-21. Goot en glazen pui uitgebogen. 463

Pagina

Figuur 11-22. Plan lager rechtergedeelte. 464
Figuur 11-23. Doorsnede midden over woning. 464
Figuren 11-24. Zelfdragende dakpanelen + PV. 465
Figuur 11-25. Latei boven terrasramen maken. 465
Figuren 11-26. Open façades zijn zwakke zijde. 466
Figuur 11-27. Versterken terrasmuur mogelijk. 466
Figuur 11-28. Horizontale doorsnede over pui. 467
Figuur 11-29. Binnenhoek opties voor zijdeur. 467
Tabel gepland en niet gepland werk. 468
Figuren 11-30. Versterkingsvoorstel aannemer. 468
Figuren 11-31. Spuitbeton toepassing. 468
Figuren 11-32. Ruwe muuroppervlakten. 469
Figuur 11-33. Aanbrengen van perspalen. 469
Figuur 11-34. Spuitbeton of GVTW of CRFP. 470
Tabel meest aangewezen opties. 470
Figuur 11-35. Licht HSB of GVTW als opties. 471
Figuur 11-36. EPS-vloerelementen op balkjes. 471
Figuren 11-37. Schets aanbouw op zandpakket. 472
Figuren 11-38. Zandophoging van drie jaar oud. 473
Figuren 11-39. Schetsontwerp van de aanbouw. 474
Figuren 11-40. Plan van het oude halsstuk. 475
Figuren 11-41. Zettingsverschillen in aanbouw. 476
Figuur 11-42. Aanpassing toekomstig gebouw. 476
Figuren 11-43. Systematische foto opnamen. 477
Figuren 11-44. Toepassing van HAS goed of fout. 478
Figuren 11-45. Foto's van alle kanten zijn nodig. 479

Hoofdstuk 12. Verduurzamen

Pagina

Figuur 12-1. Kleine woning uit hoofdstuk 11. 483
Figuren 12-2. Mogelijke aanpassing Krimpje. 483
Figuren 12-3. Schuin plafond in de keuken. 484
Figuren 12-4. Uitbreiding achter aan gebouw. 484
Figuur 12-5. Duurzame appartementen maken. 485
Figuren 12-6. Bestaande woongroepen. 485
Figuur 12-7. Woongroep met lage woningen. 486
Figuren 12-8. De netto minimum etage hoogte. 486
Figuur 12-9. Plan voor versterken 1450 panden. 487
Figuur 12-10. Dorpen met te slopen panden. 487
Figuur 12-11. Het Trias Energetica model. 488
Figuur 12-12. De Groene Grachten zelfscan. 488
Figuren 12-13. Cartoons oer watergebruik. 488
Figuur 12-14. Deurbreedten volgens de BRL. 490
Figuren 12-15. Huidige toilet is vaak te klein. 490
Figuren 12-16. Details van testwoning Type 4. 491
Tabel aspecten huidige en verbeterde woning. 491
Figuur 12-17. Planning van verduurzaming. 492
Tabel energie verbruik BENG. 493
Figuur 12-18. Verbeteringsperioden. 493
Tabel definitieve BENG eisen. 493
Figuur 12-19. Total Cost of Ownership. 494
Figuren 12-20. Baksteen recycling. 496
Figuren 12-21. Hergebruik van gaaf sanitair. 497
Figuren 12-22. Oude radiatoren voor LTV. 497
Figuren 12-23. Sorteren zonder vermengen. 497
Figuur 12-24. Wastafel opslag voor hergebruik. 498
Figuur 12-25. Buitendeuren kunnen hergebruikt. 498
Figuur 12-26. Kozijnen van hout aanpassen. 499

Pagina

Figuur 12-27. Gemengde afvalcontainer. 499
Figuur 12-28. Metalen stoeltjesprofiel kozijnen. 499
Figuur 12-29. Stoeltjesprofiel opwaarderen. 499
Figuur 12-30. Dakpannen hergebruiken. 500
Figuur 12-31. Restanten PIR en Recticel platen. 500
Figuur 12-32. Een Spirotech vóór de Cv-ketel. 500
Figuur 12-33. Gebroken sanitaire en vloertegels. 501
Figuur 12-34. Milieukosten en CO_2-verlies. 501
Tabel planning sloop en hergebruik. 501
Figuren 12-35. Sloop Satelliettoren Bank. 502

Hoofdstuk 13. Basisregels

Pagina

Figuren 13-1. Nieuwbouw Appingedam. 506
Figuur 13-2. Vier soorten borden. 507
Tabel 24 afbeeldingen algemeen. 508-509
Tabel 25 afbeeldingen funderingen. 510-511
Tabel 28 afbeeldingen dragende muren. 512-514
Tabel 28 afbeeldingen vloeren. 515-517
Figuur 13-3. Meerdere gebouwonderdelen. 517
Tabel 14 afbeeldingen daken. 518-519
Tabel 16 afbeeldingen schoorstenen. 519-520

Duurzaam Herstel en Versterking van Woningen in Groningen

Hoofdstuk 1 BEGRIPPENLIJST

van AARDBEVING tot ZOUTLAAG

Abstract:
Verklarende begrippen, in alfabetische volgorde. Terminologie die gebruikt worden met betrekking tot geïnduceerde aardbevingen in de provincie Groningen. Vereenvoudigde uitleg met schetsen.

Kernwoorden o.a.:
Aardbeving, aardgas, *Base-isolation*, belangrijkheidsfactor, biogas, bodemdaling, bouwbesluit, breukvlak, compactie, COP, *damage state*, decibel, diafragma, dilatatie, ductiel, duurzaam, eigen gebrek, epicentrum, flexibiliteit, gebouwtype, gedragsfactor, geïnduceerd, grondwater, HAS, hoofdstructuur, hoog risico, hypocentrum, KNMI, komvorming, kwetsbaarheid, Ladder van Lansink, *lateral force*, magnitude, maximum aardbeving, meetnetwerk, momentsterk, NAM, niet-constructief, NPR, NLTHA, onveilig, op staal, permeabiliteit, PGA, platform fundering, porositeit, reservoir, Richter, risico, *response spectrum*, RVS, seismisch, seismogram, SodM, sterk constructief glaspaneel, stutten, TCCB, terugkeertijd, testwoning, tilt meter, trilling meter, UVS, veen, veiliger maken, verbouwen, verduurzamen, versnellingsmeter, verweking, waarde-regeling, zetting, zoutlaag (Zechstein).

Door: Sjoerd Nienhuys
Bouwkundig, seismisch ingenieur
Juli 2023

1.0. Inleiding

Dit hoofdstuk 1 BEGRIPPEN van het boek 'Duurzaam Herstel en Versterking van Woningen in Groningen' geeft uitleg van begrippen die gerelateerd zijn aan de geïnduceerde aardbevingen in de provincie Groningen. Het geeft een algemeen inzicht in wat er speelt. Het begon allemaal honderden miljoenen jaren geleden met de **Zoutlaag**, uiteindelijk waren er de **Aardbevingen**.

Wie bekend is met de meeste begrippen, kan dit hoofdstuk overslaan.

Vanwege de verkeerde aanname van de Mmax, ontstond er in 2015 een groot verschil tussen concept 'veiligheid' van NPR9998-norm (Eurocode 8 = *'net niet instorten'*) en de wensen van de bevolking aan de andere kant (*'veilig en scheurvrij wonen'*). Terwijl de consultantbedrijven zich focuste op het versterken van gebouwen zodat ze 'net niet zouden instorten' waren lokale bouwbedrijven bezig met het cosmetisch herstel van scheuren, waarvan er vele bij de volgende aardbeving weer openstonden.

Problemen kunnen op verschillende manieren worden voorkomen, verwijderd of opgelost. Economische, politieke, emotionele, financiële en persoonlijke redenen speelden een rol in de besluitvorming over welke methoden, waar en wanneer zouden worden toegepast[3].

De meeste verklaringen zijn overgenomen van andere bronnen inclusief enkele tekeningen of foto's. De lezer hoeft dan niet apart te zoeken in die vele andere (Engelstalige) bronnen. Sommige termen zijn voor de duidelijkheid uitgebreid of vereenvoudigd. Bij een aantal woorden wordt een stukje achtergrondinformatie gegeven die in andere bronnen ook gevonden kunnen worden, maar dat is een gezoek, terwijl de context met de Groningse geïnduceerde aardbevingen meestal niet wordt gegeven. In Wikipedia, Google, etc., worden hoofdzakelijk de woorden in een tektonische context uitgelegd; er zijn echter aanzienlijke verschillen met de geïnduceerde aardbevingen.

Sommige definities zijn sinds 2013 overgenomen van www.Namplatform.nl of www.Wikipedia.nl dat weer andere bronnen citeert en eventueel toegelicht. Voor bouwkundige termen zoals penanten, raveling, wolfskap, gebint, makelaar, enz. kan www.joostdevree.nl geraadpleegd worden.

Een aantal specifieke definities {met nummercode} zijn overgenomen uit de Nationale Praktijk Richtlijn[4], NPR9998:2015, waarvan er in 2015 de eerste officiële 'witte' uitkwam met **PGAg 0,36.** Een nieuwe, aanvullende en uitgebreider NPR9998:2017 had **PGAg 0,19.** In de latere versie NPR9998:2018 werd het **PGAg 0,13**, terwijl in 2020 er een aparte KNMI-Home Webtool[5] was met de meer actuele PGA-waarden per exacte locatie, inclusief de invloed van de bovenste 30 m grondlagen, met maximale **PGAg van 0,11** en herhalingstijd van 475 jaar. De frequente wijzigingen hebben tot veel onbegrip bij de bevolking geleid.

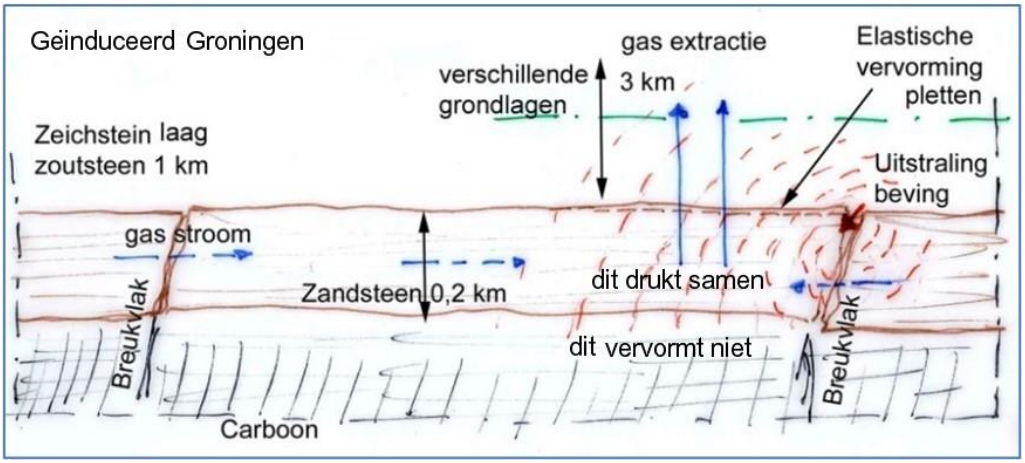
Bij een aantal van de woorden is de *Engelse term in cursief* toegevoegd. Deze worden door de technici veel gebruikt omdat het Nederlandse alternatief geen bekend begrip is. Een voorbeeld hiervan is het woord *shear* dat wordt vertaald door 'schuif of afschuiven' die veelvuldig worden gebruikt in de aardbevingstechniek, zoals *shear force* (schuifkracht), *shear stress* (schuifspanning), *shear wall* (muur die berekend is op schuifkrachten). Een ander voorbeeld is het woord *Base-isolation*.

Voor een duurzaam herstel of versterking is een goed begrip van de bestaande situatie essentieel.

[3] Vanuit het epicentrum zou de versterkingsaanpak gefaseerd worden uitgevoerd; eerst openbare gebouwen.
[4] Laatste versie gratis te downloaden via: https://www.nen.nl/npr-9998-2020-nl-278147
[5] KNMI-website met steeds geactualiseerde grondwaarden: https://seismischekrachten.nen.nl/map.php

Aardbevingen

Aardbevingen zijn grondtrillingen die ontstaan door plotseling verschuivende of plotseling vervormende gesteentemassa's in de diepe ondergrond. De plotselinge schokbewegingen treden op langs breuklijnen in de tientallen kilometers diepliggende aardkorst waar continentale aardkorsten tegen elkaar aan drukken en verschuiven (dit zijn de tektonische bevingen). Breuklijnen komen ook voor in de 3 km diepliggende aardgas-houdende zandsteenlaag onder de provincie Groningen en de Noordzee. Wanneer er drukverschillen in die zandsteenlaag ontstaan doordat aan één kant van de breuklijn snel en veel aardgas wordt onttrokken en in een andere zone niet, ontstaat eerst een elastische samendrukking in de zandsteenlaag. Wanneer deze elastische vervorming de druksterkte in die zone overstijgt, verpulvert de structuur van het zandsteen met een schok die het omliggende gesteentes doet vibreren[6]. Aan het aardoppervlak voelt men die beving en hoort men vaak een knal. Omdat het aardgas in de provincie Groningen door mensen wordt onttrokken, hebben deze bevingen geen natuurlijke oorzaak en worden geïnduceerde aardbevingen genoemd.



Figuur 1-1. Geïnduceerde aardbeving. Deze heeft geen opdrukking. Het onderliggende Carboon beweegt niet.

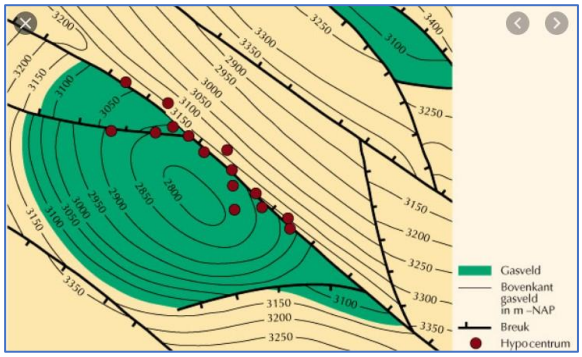
Door snelle onttrekking van aardgas uit het poreuze zandsteen ontstaat er een plaatselijke drukverlaging van dat gas in die zandsteenlaag, meestal aan één kant van een breukvlak. Hierdoor wordt de draagkracht van het zandsteen minder (gasdruk plus zandsteensterkte). Door de druk van de 3 km grondlagen, wordt bij overstijgen van de draagkracht het zandsteen plotseling geplet (compactie). Later zal dit ook leiden tot kleine zettingen boven in de taaie zoutsteenlaag en compactie naast het eerste compactie-gebied.

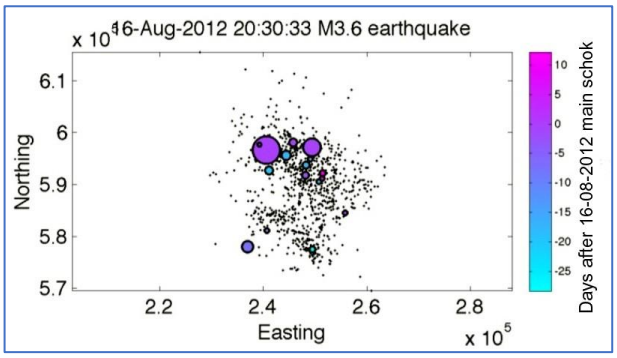
Alle gesteentes zijn enigszins elastisch. Bijvoorbeeld, een lang en dun stuk marmer of graniet kan je iets buigen. Wanneer de vervorming door druk of verbuiging de elastische grens van het materiaal heeft bereikt, zal het breken. Dit veroorzaakt een plotselinge spanningsverandering. De trillingen die bij een breuk vrijkomen, planten zich als schokgolven in de ondergrond in alle richtingen voort. De ene schok veroorzaakt vaak meteen andere schokken. In dat geval duurt de aardbeving voor het gevoel langer. Omdat de schok het gebouw laat trillen, zullen de meeste constructies nog even natrillen waardoor het voor de mensen in het gebouw lijkt of de aardbeving langer aanhoudt.

Seismometers kunnen deze trillingen of aardbevingen aan het aardoppervlak registreren. Verspreid over het land heeft het KNMI veel meetstations ingericht[7]. Het digitaal opgeslagen trilling-signaal kan als seismogram grafisch worden weergegeven. Omdat sommige, lichtere aardbevingen het gevolg kunnen zijn van gaswinning uit deze zandsteenlaag, zijn ook seismometers in boorgaten diep onder het aardoppervlak in Noord-Nederland geplaatst.

[6] Zie ook: https://en.wikipedia.org/wiki/Elastic-rebound_theory en https://www.youtube.com/watch?v=HQFTDAzhbZM en https://www.youtube.com/watch?v=HPRLrk7UFbQ&list=RDCMUCo7diqNFmYbm8nrVUEPtTsQ&index=

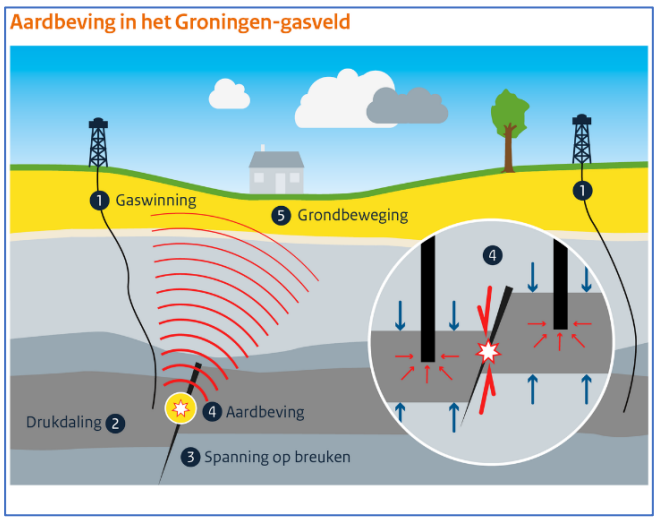
[7] Om de effecten en karakteristieken van de aardbevingen in Groningen beter te meten werden er sinds februari 2014 nog tientallen nieuwe meetpunten door NAM, KNMI en TNO ingericht.

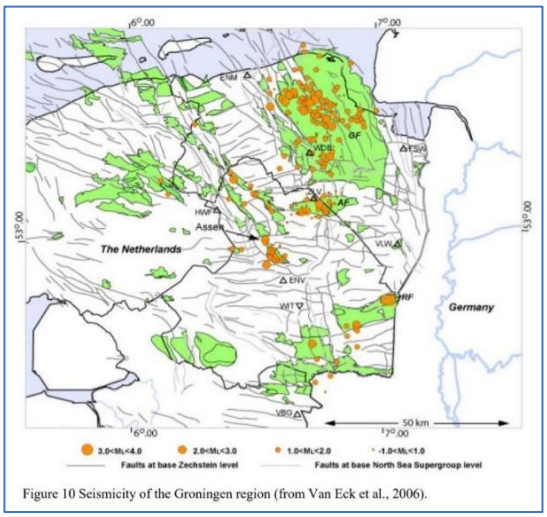




Figuren 1-2. Locatie van aardschokken. Links: dieptelijnen en gemeten locaties van de schokken langs de breuklijnen[8]. Rechts de hoofd- en naschokken van de Huizinge 18-06-2012 aardbeving. Deze laten zien dat rondom de grotere bevingen veel kleine extra bevingen/zettingen voorkomen. Op de duur kunnen ook kleine zettingen (schokken) boven de taaie zoutsteenlaag voorkomen op een diepte van tussen de 1 en 2 km onder het maaiveld.

De diepe plaatsing van seismometers voorkomt storing door trillingen aan het aardoppervlak (heien, verkeer). Sinds 2014 zijn er in de funderingen van een paar honderd woningen in de provincie Groningen eveneens trilling-meters geplaats[9] Er zijn ook een aantal 3 km diepe trilling-meters geplaatst. Het KNMI-netwerk bestaat uit *geophones* in de boorgaten (tot 300 m diepte), versnellingsmeters en "*broadband*" seismometers.





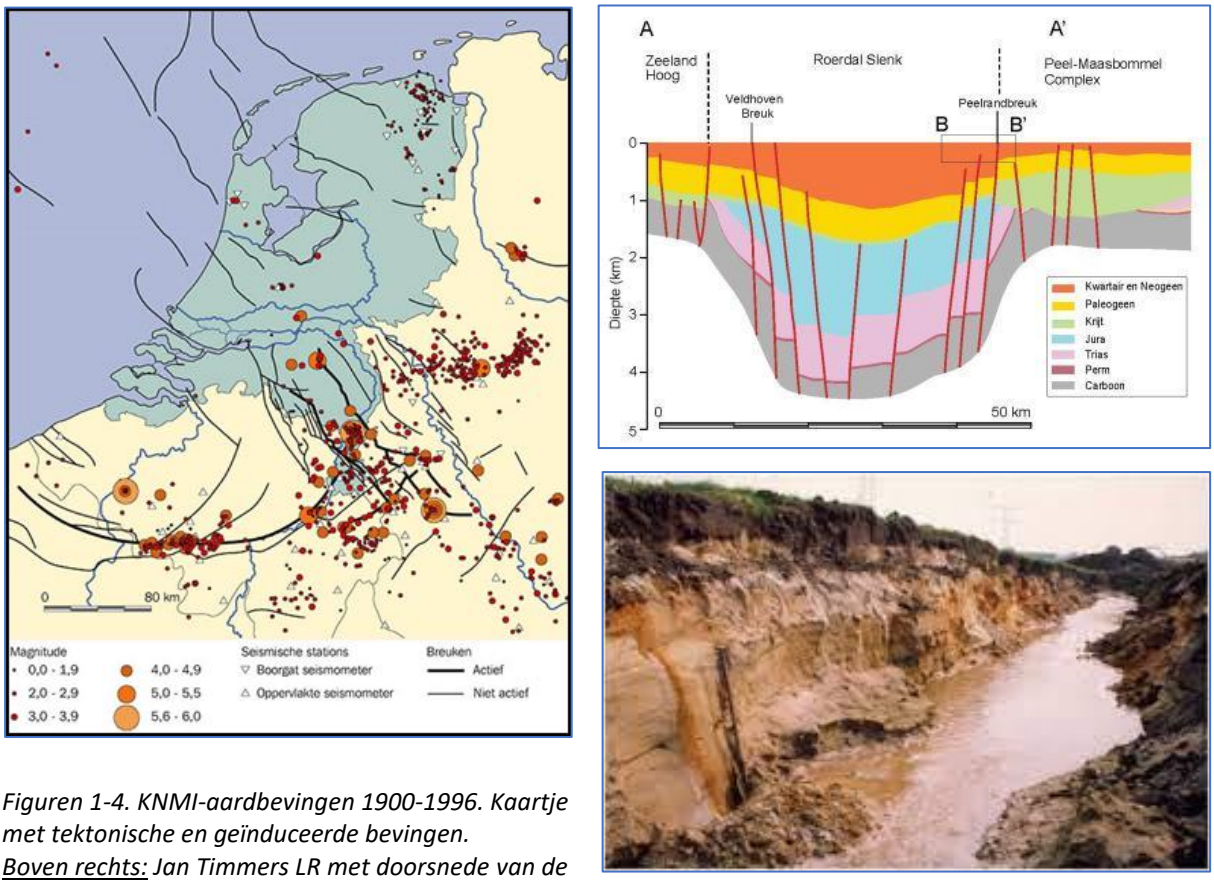
*Figuren 1-3. Verkeerde voorstelling bevingen. Links: In verschillende publicaties worden **verkeerde** voorstellingen gemaakt over het ontstaan van de bevingen. Op deze afbeelding wordt gesuggereerd dat de onderliggende Carboon-laag omhoog drukt langs de breuklijnen. Die breuklijnen in het Carboon lopen veelal door in de zandsteenlaag, maar het Carboon wordt niet naar beneden gedrukt, alleen de zandsteenlaag wordt geplet. Rechts: Al in 2006 werd er een gedetailleerde kaart gemaakt van de toen bekende breuklijnen in de zandsteenlaag. Deze breuken lopen door tot onder de Noordzee.*

Aardbevingen in Nederland

Slappe veenbodems en elastische klei reageren heel anders op aardbevingen dan rotsbodems. In elastische of slappe grond zoals veen kunnen langdurige aardbevingen een zogenaamd opslingereffect hebben[10] of bij drijfzand zettingsvloeiingen veroorzaken.

[8] Bron: De Groene Rekenkamer. Detail weergave van registraties over het hele gasveld.
[9] Er zijn later ook een aantal tilt-meters geplaatst op gebouwen geplaatst, maar die hebben een andere functie.
[10] Pas in 2022 is er een rapport door de KNMI opgesteld over het mogelijke opslingereffect bij grote aardbevingen. Echter, met de zeer korte duur van de geïnduceerde aardbevingen (enkele seconde) is dit praktisch nihil. https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/opslingerkaart-voor-aardbevingen-in-nederland

Zettingsvloeiingen komen vanwege de korte duur van de geïnduceerde schokken in Nederland niet voor[11]. Slappe gronden vertragen en absorberen een beetje de korte felle Groningse schokken; de nieuwste PGAg-kaart houdt daar rekening mee[12].



Figuren 1-4. KNMI-aardbevingen 1900-1996. Kaartje met tektonische en geïnduceerde bevingen.
<u>Boven rechts:</u> Jan Timmers LR met doorsnede van de Peelrandbreuk https://www.deurnewiki.nl/wiki/index.php?title=Peelrandbreuk
Foto van na de aardbeving 13-04-1992 te Roermond waar in één keer de grond plaatselijk wegzakte met 60 cm.

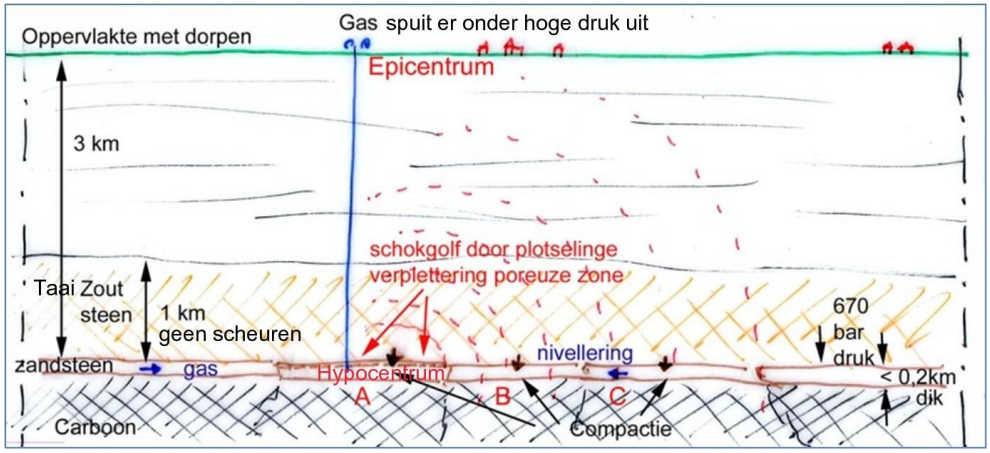
Ondanks hun relatief lage magnitude[13] van de Huizinge 2012 beving, op de schaal van Richter (3,6 met PGAg < 0,1), zijn de door gaswinning opgewekte aardbevingen sterk voelbaar. Dit komt door hun **ondiepe hypocentra** (3 km) waardoor ze hard op het epicentrum aankomen. Deze geïnduceerde aardschokken duren echter zelden langer dan een deel van een seconde, maar gebouwen aan het oppervlak trillen na door hun eigen elasticiteit. Bij breuken die hoofdzakelijk in de zandsteenlaag zitten, zoals in de provincie Groningen, zullen de zakkingsverschillen aan het aardoppervlak heel klein zijn[14]. Dit komt onder andere omdat het boven het zandsteen liggende Zechstein taai is en de directe vormverandering in het zandsteen slechts gedeeltelijk doorgeeft.

Er is geen duidelijke begrenzing van wat een aardbeving is en wat een trilling. Over het algemeen zou men kunnen zeggen dat trillingen niet direct door mensen worden gevoeld (Mw <2,4 of **PGAg <0,04**) en korter dan 1 seconde. Wanneer de schokken groter zijn, zullen de oppervlaktetrillingen en de gebouwresonantie langer duren en dan worden ze eerder door mensen gevoeld. Trillingen hebben echter wel effect of funderingen en kunnen beschadigingen/verzakkingen veroorzaken.

[11] In de Nieuw-Zeeland beving 2010-2011 kwamen ze wel voor vanwege de lange duur van de bevingen. Meer informatie en video's op: https://apps.canterburymaps.govt.nz/ChristchurchLiquefactionViewer/
[12] In de laatste Webtool kaart van de KNMI is het effect van de bovenste 30 grondlagen op de beweging van het maaiveld meegenomen. https://seismischekrachten.nen.nl/ en https://seismischekrachten.nen.nl/map.php
[13] In vergelijking met tektonische aardbevingen. De massale bewegingen/verschuivingen van tektonische aardbevingen zijn vele malen groter dan de kleine compacties in het Groningse reservoirgesteente.
[14] De geschatte bodemzakkingen t.g.v. de gasonttrekking liggen op 1 tot 1,5 cm per jaar. In het centrum een zakking van ongeveer 60 cm over een periode 50 jaar sinds het begin van de gaswinning in 1970.

Tussen 2012 en 2017 werd funderingsschade nauwelijks erkend. Om duidelijkheid te brengen over het type trillingen wat gebouwschade kan veroorzaken, werd in 2017 een Trilling-richtlijn SBR-A2017 opgesteld[15]. Deze Trilling-richtlijn stelt dat nieuwe gebouwen een bepaalde hoeveelheid trillingen moeten kunnen doorstaan zonder schade op te lopen. Veel oude gebouwen met zwakke funderingen kunnen dan toch wel bevingsschade oplopen.

De bodem bestaat uit verschillende aardlagen, zoals de gashoudende zandsteenlaag (≈200 m dik), daarop een afsluitende zout- of kleilaag (≈1000 m dik), en daarop 2 km andere grondlagen. Door winning van aardgas neemt de inwendige gasdruk plaatselijk in die zandsteenlaag af waardoor deze ingedrukt wordt; dit heet 'compactie'. Op termijn leidt dit tot bodemdaling aan het oppervlak. Deze vindt over de gehele provincie zeer geleidelijk plaats en is niet voelbaar is. De bodemdaling wordt jaarlijks precies gemeten met satellieten, omdat het wel grote invloed heeft op de grondwaterstand[16]. Deze bodemdaling heeft daardoor ook grote invloed op de waterhuishouding en het rioleringssysteem.



Figuur 1-5. Juiste hoogte verhoudingen. In veel afbeeldingen zijn de verhoudingen onjuist weergegeven.

Gebouwen die verder dan 3 km horizontaal van het epicentrum vandaan staan ondervinden meer een horizontale invloed van de schokken. Aan de bovenkant van de zoutsteen laag kunnen nog kleine (niet-voelbare) zettingen plaats vinden. Voor het hele gebied van de provincie zal over de jaren een zetting van ≈ 60 cm plaats vinden overeenkomend met de compactie in het zandsteen.

Aardbevingsbestendig

Earthquake resistant {Eurocode 1.4.2.22}
Gebouwen zijn volgens de Eurocode 8 aardbevingsbestendig als de kans dat er slachtoffers vallen door **gedeeltelijk of geheel bezwijken voldoende klein** is[17]. Dit betekent dus niet dat er geen schade zal optreden. Een gebouw dat ontworpen is om de theoretisch maximale aardbeving te doorstaan, zal bij deze theoretisch maximale aardbeving **NET NIET in elkaar storten**, indien het volgens de berekeningen is gebouwd of versterkt. Echter het gebouw zal zich dan in een 'bijna ingestort' situatie bevinden *(Near Collapse)*. In een dergelijk geval zal het gebouw meestal niet economisch te herstellen zijn.

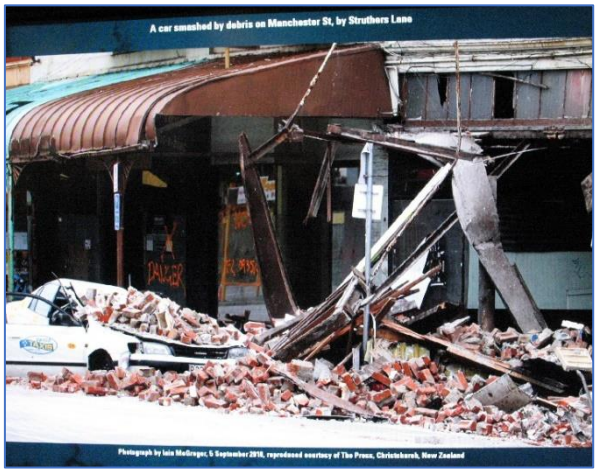
Het aangenomen risico bij deze *Near Collapse* situatie (voor tektonische aardbevingen) is 1:100.000 of 10^{-5}. Dit betekent dat op 100.000 gebouwen er toch nog één gebouw in mag storten met één dodelijke afloop en per jaar. Bij een aantal van > 200.000 woningen zou dat dan > 2 instortingen per jaar betekenen. Over een 10 jaar periode zijn dat dan 20 doden. Echter als er gemiddeld 4 personen in een gebouw verblijven, betekent dat 8 doden per jaar.

[15]SBR Trillingsrichtlijn A BuildinG 2017 https://www.building.nl/uploads/fckconnector/bbb3c9ac-bf69-4a11-ad06-95a88aeca916/3016759984
[16] Zie ook het kaartje bij 'Zettingen' met bodemdaling ten gevolge van het inklinken van veenlagen.
[17] Voor nieuwbouw onder de bouwverordeningen van 1992 en later is deze kans 1 op de 100.000 (of $1:10^{-5}$)

De vraag is of je diezelfde (lage norm) ook mag toepassen voor geïnduceerde aardbevingen, omdat deze bewust worden veroorzaakt door een bedrijf.[18] Een 10X kleinere risiconorm van 10^{-6} , zoals van toepassing is op de Nederlandse zeewering, zou dan een stuk veiliger zijn.

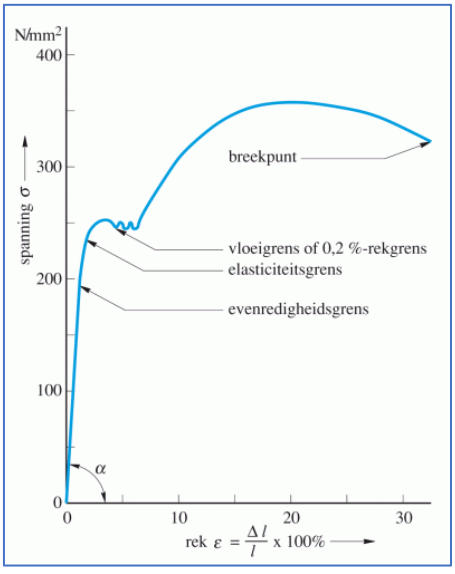
Aardbevingsbestendig betekent dus NIET dat er bij de maximale beving GEEN schade zal zijn, <u>in tegendeel</u>, het betekent in de praktijk dat bij een Mmax de gebouwen zo zwaar beschadigd zijn dat ze economisch niet te herstellen zijn. Bovendien zijn **vallende topgevels of schoorstenen uitgezonderd, want die kunnen** (volgens de tektonische seismische code) dan nog wel vallen en dodelijke slachtoffers maken.

Mensen die proberen in de tijd dat de aardbeving duurt uit hun woning rennen kunnen getroffen worden door vallend puin van gevels[19]. In Christchurch New Zealand veroorzaakten de op straat vallende topgevels de meeste dodelijke ongevallen tijdens de aardbeving (22 februari 2011).



Figuur 1-6. Aardbeving Christchurch. Datum 22 februari 2011, New Zealand. Hier vielen midden op de dag de topgevels van winkelpuien op straat waardoor tientallen mensen overleden. Uit het huis rennen gedurende een aardbeving is zelden een goed idee. Tijdens de erg korte geïnduceerde bevingen is er geen tijd om de woning te verlaten.

Een nieuwbouwwoning die volgens het 2012 Bouwbesluit is gebouwd kan 30% tot 50% hogere belastingen opvangen dan waarvoor deze is ontworpen. Dit komt omdat in de meeste bouwnormen voor materialen een veiligheidsmarge is ingebouwd. De materiaalnorm komt vaak overeen met de laagste waarde van een grote serie testen; niet het gemiddelde.



Figuur 1-7. Trekdiagram van staal.
De rekennorm is de evenredigheidsgrens van het staal (waarbij de verlenging hetzelfde % heeft als de verhoging van de trekkracht) wordt gebruikt in de berekeningen, terwijl de elasticiteitsgrens tot 230 N/mm² loopt. Echter, na vervorming kan het staal nog een belasting opnemen tot ongeveer 350 N/mm², bijna tweemaal de rekennorm. In mindere mate komt dit fenomeen ook bij andere bouwmaterialen voor.

Omdat het aardbevingsbestendig <u>verbouwen</u> een uitgebreide ingreep kan zijn, kan men besluiten om minimaal tot de sterkte van het Bouwbesluit 2012 te versterken of tot 50% van de NPR 9998:2020, welke de hoogste versterking oplevert. Dit is gebaseerd op het bovenstaande inzicht, dat de nieuwbouwnorm sterker is dan de netto sterktebehoefte.

[18] Vanuit het Nederlandse privaatrecht is het niet toegestaan om bij de uitvoering van werkzaamheden (bijvoorbeeld gaswinning) schade toe te brengen aan de eigendommen van anderen.
[19] Bij een beving van < 3 secondes is dit onmogelijk. Eerst moet je realiseren dat er een beving is; dat duurt al een seconde. Het beste is om onder een sterke tafel te duiken zoals voor scholen wordt onderwezen.

Bij de berekening van gewapend betonconstructies zit er ook een extra veiligheidsmarge boven op de materiaalsterkte. Metalen constructie onderdelen en de wapening in gewapend beton zijn ductiel (taai), waardoor ze na vervorming nog steeds hoge belastingen kunnen opnemen.

Om tot een besluit te komen om gebouwen slechts tot 50% van de aardbeving belastingnorm te versterken, is het wel noodzakelijk dat de netto materiaalsterkte in het gebouw bekend is en er een goede analyse van de bestaande constructie wordt gemaakt. Dit laatste is moeilijk en kostbaar bij oude gebouwen[20]. Elke bouwperiode in Nederland heeft haar eigen bouwwijze of typologie; de naoorlogse woningbouw is hiermee verdeeld in blokken van ≈ 20 jaar.

Gedurende de jaren dat deze oudere woningen bewoond waren, werden er verbouwingen uitgevoerd en stukken aangebouwd volgens andere bouwnormen. Bij aanbouwen ontstaan steevast scheuren wanneer ze onderling niet goed gedilateerd zijn, terwijl open keukens de hele gebouwconstructie bij kunnen verzwakken tegen seismische belasting.

Door een paar gelijksoortige gebouwen (typologie) uit een bepaalde bouwperiode in detail te bestuderen, kan met redelijke zekerheid worden bepaald wat de gebouwsterkte is van al die gebouwen in die typologie categorie, en wat er aan een dergelijk gebouw verbeterd moet worden om het aardbevingsbestendig te maken of te versterken.

Op basis van dit begrip werden sinds 2018 van 60 woningtypologieën gedetailleerde berekeningen en versterkingsadviezen (VA's) gemaakt door TNO, volgens welke de beschadigde woningen hersteld zouden kunnen worden. Echter, de 2018 PGA-waarden waarop deze berekeningen waren gestoeld zijn nog steeds erg hoog, tenminste 3X zo hoog als de werkelijke waarde. [21]

Aardbevingsbestendig Bouwen – Nieuwbouw

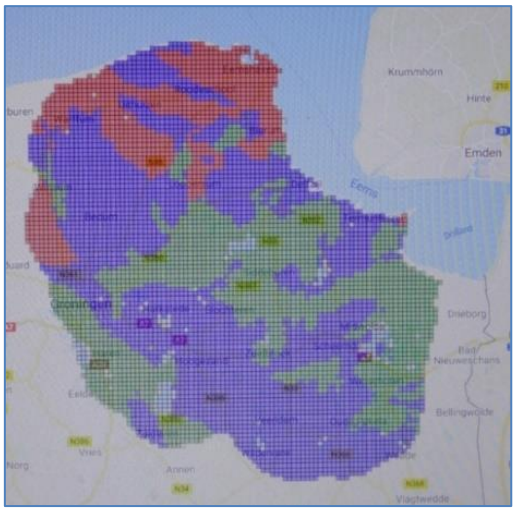
Dit is het ontwerpen en bouwen van de hoofddraagconstructie en de rest van het gebouw volgens de bestaande aardbevingscode of richtlijnen. De Europese Eurocode 8 geeft deze aan. Deze werd in 2013 -2014 naar het Nederlands vertaald in de NPR 9998:2015. Echter, de aardbevingszonering van die NPR (zie kaartje PGAg = Piek Grondversnelling) was gebaseerd op de 2014 aanname over de theoretisch maximale aardbevingssterkte. Die aanname was volstrekt verkeerd. Men moet niet kijken hoe zwaar je de aardbevingen kan maken, maar hoeveel bevingsbelasting de woningbouw kan hebben. Met de aardbeving van Huizinge 2012 (PGAg 0,085) bleek het aardbevingen boven die waarde al niet wenselijk waren, tenzij men eerst alle 20.000 woningen in het epicentrumgebied zou versterken. Dat zou een operatie zijn van tenminste 5 jaar.

De sterktes van de schokken houden verband met de methode van gaswinning. Verandert de gaswinningsmethode verder, zoals deze in 2015 ten eerste al werd genivelleerd (gelijkmatige drukverdeling in het gasveld) en daarna meermaals werd verminderd (Wiebes 2018: "Kraan dicht in 2030 of eerder"), dan zullen de trillingen in sterkte, duur en frequentie afnemen. Wanneer gas uit het hele veld wordt onttrokken zal er over het hele veld compactie ontstaan, dus op verschillende locaties kunnen zich dan aardbevingen voordoen. Vanwege de verminderde gasproductie werd de NPR9998:2015 daarom verschillende malen aangepast[22].

[20] Om dit bij benadering uit te rekenen met de Non-Lineair-Time-History-Analysis (NLTHA) methode wordt een woning uitgebreid geanalyseerd en doorgerekend, wat 2-3 weken en meer dan euro 15.000 kan kosten (2015). Op die basis daarvan kan dan een versterkingsvoorstel gemaakt worden (nog eens euro 5.000). Bij een maximale beving PGA zal dan het gebouw alsnog zeer zwaar scheuren, maar 'net niet instorten'.

[21] Aan de andere kant, wanneer je een gebouw 3X sterker maakt dan de werkelijke aardbeving die gaat optreden, wordt de kans op scheuren ook weer kleiner, hoewel dat met brosse baksteen maar betrekkelijk is.

[22] De laatste versie van de NPR is NPR 9998:2018+C1:2020 (nl), welke gratis kan worden gedownload op https://www.nen.nl/NEN-Shop/Norm/NPR-99982018C12020-nl.htm



Figuur 1-8. KNMI Webtool NPR9998:2018.
In plaats van periodieke wijzigingen is er sinds 2020 voor de bepaling van de PGA-krachten de Home Webtool NPR9998 van toepassing, die per plaats de te verwachten maximale PGA weergeeft met horizontale en verticale factoren voor 95, 475, 975 en 2475 jaar. [23]

Voor een herhalingstijd van 95 jaar is op deze Webtool per mei 2020 de hoogste PGAg = 0,085 incl. grondfactor, en gelijk aan de zwaarste aardbeving op 16 augustus 2012 in Huizinge met Richter 3,6.
Sinds de sterke vermindering van de gasexploitatie zijn de hoogste aardbevingen ≤ Richter 3,6 (PGAg van ≤ 0,1).
In de buitengebieden kan de PGA < 0,05 zijn, waarbij er geen seismische berekening meer nodig is.

De NPR9998:2020, en de daaraan gekoppelde Ontwerprichtlijn voor Aardbevingsbestendig bouwen, zijn echter geen verplichte wetgeving[24]. Als men uit zou gaan van de beschikbare norm of wetgeving, dan moet de draagconstructie van het gebouw voldoen aan het geldende Bouwbesluit 2012 (met aanpassing juli 2013 voor stormwindbelasting). Dat is aanzienlijk minder veeleisend dan de NPR.

Het Bouwbesluit verwijst naar de Eurocode 8 voor aardbevingsbestendig bouwen, maar de Eurocode 8 verwijst ook naar de nationale bijlage. Deze nationale bijlage met het aardbeving zoneringskaartje is nu te vinden in de laatste NPR9998:2020

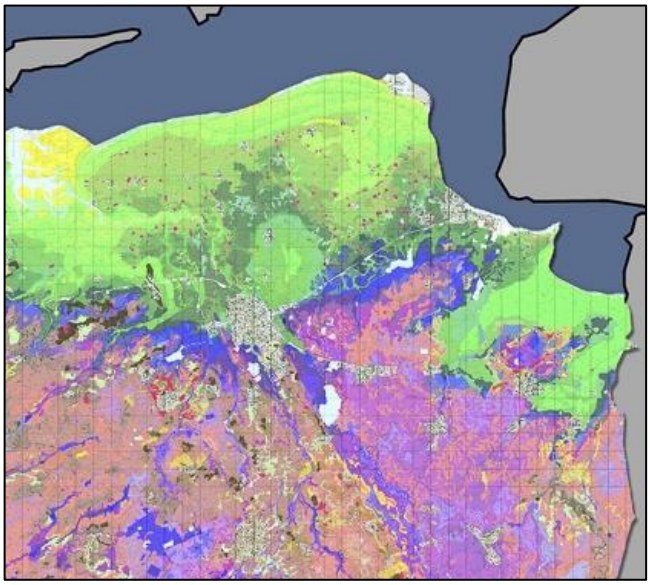
De eerste maximale beving werd in 2014 vastgesteld[25] *op **5 X** de 16-08-2012 Huizinge beving (PGAg 0,085) X 5 = PGAg 0,42. Dit werd in 2015 verlaagd tot **4 X** zo zwaar als de Huizinge beving = PGAg 0,36.*

Het is ook mogelijk dat er, bij de bepaling van de onzekerheden in de toekomst, ook rekening gehouden werd met het injecteren van water voor aardwarmte exploitatie, CO_2 opslag, zoutwinning, of met fracking van de onderliggende steenkoollaag. Waterinjectie zou als smering tussen de breukvlakken kunnen fungeren, terwijl het onttrekken van gas uit de onderliggende steenkoollaag fracking een andere golf van compactie en aardschokken zou kunnen opleveren. Zoutwinning uit de bovenliggende zoutlaag ook. Allemaal onzekerheden.

Aardbevingsbestendig - Verbouwen

Het verbouwen [26] van de hoofddraagconstructie volgens de Ontwerprichtlijn voor Aardbevingsbestendig bouwen moet gebeuren op basis van de NPR9998. Het zoneringskaartje van de provincie Groningen werd in de september ontwerpversie NPR9998:2017 vervangen door een grondslag typologieënkaart die de bovenste 30 m definieert. Deze bovenste grondlaag, inclusief het grondwater, is namelijk bepalend voor de versnelling van het aardoppervlak ten gevolge van een schok in het hypocentrum; de schuifgolfsnelheid ($Vs_{;30}$). De rekenwaarden zullen per locatie en dus per grondsoort verschillen. De nieuwste NPR9998:2020 met de Home Webtool C1:2020 wordt nu als verplichte rekenmethode doorgevoerd. Ook deze laatste NPR blijft aan de hoge (conservatieve) kant en blijft afhankelijk van de ontwikkeling van de resterende activiteiten in de ondergrond. Door de dikke taaie laag Zechstein zullen druk- en hoogteverschillen in het reservoirgesteente langzaam genivelleerd worden. De kleine oppervlakte trillingen zullen daarom nog enige tijd voortduren.

[23] Zie ook: https://www.nen.nl/media/PDFjes/Achtergronddocument_NPR_9998_webtool_module_7__2020-07_update_2021-01.pdf
[24] De NAM en de NCG eisten echter wel dat de ingenieurs met deze hoge normen gingen rekenen.
[25] De term 'vastgesteld' wordt hier gebruikt omdat er geen berekeningen aan te pas kwamen. Men nam eerst de 2,5 veiligheidsfactor voor engineeringsprojecten en vermenigvuldigde dat maar met 2 voor extra veiligheid.
[26] De terminologieën 'Veiliger maken, Bouwkundig versterken en Aardbevingsbestendige (ver)bouw' werden door de Minister van Economische Zaken op 15-8-2015 aangegeven middels een brief aan de dialoogtafel.



Figuur 1-9. Bodemkaartje provincie Groningen. Dit geeft de belangrijkste grondsoorten aan. Dit kaartje uit de NPR-2017 met de schuifgolfsnelheid $Vs_{;30}$ neemt de grondsoorten mee tot op een diepte van 30 m.

De groene en lichtgroene gebieden (kleigronden) geven in de NPR kaart de hoogste waarden voor $Vs_{;30}$ en dus ook voor de PGAg.

De paarse, vastere gronden geven een lagere waarde voor de $Vs_{;30}$, waardoor de bevingen ook minder sterk zijn en korter kunnen duren.

Als voor het verbouwen van bestaande bouw “slechts” het huidige Bouwbesluit 2012 van toepassing zou zijn, dan zullen voor oude gebouwen van vóór de bouwwetgeving van 1992 meestal versterkingen nodig zijn om aan de normwaarde van de NPR9998 te voldoen[27].

Daarnaast zullen bij een grote verbouwing of renovatie ook verplichte verduurzamingsmaatregels moeten worden toegepast[28]. In Nederland is per januari 2021 de BENG (Bijna Energie Neutraal Gebouw) van toepassing. De BENG eisen definiëren een bepaald maximum aan energieverbruik per m^2 gebruiksoppervlak van het gebouw. Zie verder tabel onder BENG.

Om een jaren 1970 rijtjeswoning in de provincie Groningen van 120 m^2 seismisch te versterken (waarde < € 100.000) naar de NPR9998 is wellicht € 100.000 nodig, waarbij dan de versterkte muren dan geïsoleerd moeten worden. Om deze woning verder te isoleren (vloer/dak, ramen) en te verduurzamen volgens de 2021 BENG norm is wellicht nog eens € 50.000 nodig. Deze extra kosten zal de woningeigenaar vaak niet kunnen opbrengen, waardoor de woning voor de langere termijn niet verduurzaamd wordt, alleen wat sterker.

Het resulterende gebouw (zonder de grondwaarde) heeft dan na deze ingrepen[29] een marktwaarde van < € 150.000. Wanneer de versterkings- en verduurzamingskosten meer dan 50% hoger worden dan de marktwaarde van die woning, zal dat een reden kunnen zijn om voor sloop en nieuwbouw te kiezen. De daardoor ontstane materiaalvernietiging en extra CO_2 uitstoot is wel onlogisch wat betreft de nationale duurzaamheidsambitie.

Oudere gebouwen van vóór de 1900 eeuwwisseling zijn soms monumenten en mogen buitenzijdig vaak niet aangepast worden. Om monumenten volgens de NPR9998 te versterken zijn langdurige goedkeuringstrajecten van toepassing; meestal komt men dan uit op het kostbare *Base-isolation.* Gebouwen van vóór 1900 en ‘op staal’ gefundeerd, hebben vaak hoge ramen en zijn met losse houten vloeren seismisch gesproken erg zwakke constructies.

[27] Sinds 1965 was er de modelbouwverordening van de Vereniging Nederlandse Gemeenten die in 1992 integraal werd herzien, onder andere de windbelasting die mede bepalend is voor de gebouwsterkte.
[28] Zie http://www.hebbes.be/artikel/nieuwe-regels-2015-voor-kopen-en-verbouwen Nog niet geldig voor Nederland, wel voor nieuwbouw: http://atriensis.nl/nieuws//459/strengere_eisen_isolatie_nieuwbouw_gevolgen_bij_renovatie
[29] In sommige situaties kan er binnenzijdig geen versterking worden aangebracht vanwege de indeling. Bijvoorbeeld als er een trappenhuis en toilet tegen de bouwmuur aanzit. In dat geval moet het hele grondplan van de woning worden veranderd. In andere situaties, bij kleine woningen, kan er na de versterking en isolatie geen bed van 2m meer in de kleinste slaapkamers.

Dit betekent het dat er aanzienlijke versterkingen moeten worden toegepast, te beginnen bij de fundering, de draagmuren, vloerdiafragma's, tot en met de kap en de schoorstenen. Ook als er een esthetische waarde aan het gebouw wordt toegekend (bijvoorbeeld bij beschermd stadsgezicht of gemeentelijk monument) wordt dit vaak economisch als niet-rendabel aangemerkt[30].

Veruit de meeste gebouwen in de provincie Groningen hoeven anno 2020 niet meer versterkt te worden als ze slechts hoeven te voldoen aan het **net-niet-instortingsgevaar** (*Near Collapse*) volgens de NPR. De Home Webtool-waarden zijn in 2020 nog steeds conservatief met tussen de 50% en 100% boven de werkelijke belastingwaarde. Bij het stopzetten van de gasexploitatie zullen er zich geen grotere schokken voordoen dan de klap van 16 augustus 2012 in Huizinge (Richter 3,6 met PGAg 0,085). Volgens de NPR is er dan geen veiligheidsprobleem, maar bij kleine schokken kunnen dan nog wel weer scheuren of herhaalschade optreden. Er is dus een aanzienlijk verschil tussen 'versterken' volgens de NPR, en 'versterken' volgens de behoefte van de bevolking.

Figuur 1-10. Doorzonwoningen. Zoals ook rijtjeswoningen.
Op begane grond zijn geen momentsterke vloer-muur verbindingen in de lengterichting van het gebouwenblok. Hierdoor behoort dit type woningen tot de zwakste gebouwcategorieën. Voor alle soorten gebouwen zijn goede versterkingsmethoden beschikbaar, maar economische factoren spelen mee in de besluitvorming.

Figuren 1-11. Oude gebouwen zijn zwak.
<u>Links.</u> De begane grond etage met hele smalle raampenanten en hoge ramen en zonder binnenmuren die de dwarsbelasting kunnen opnemen. Het seismisch verbouwen volgens de NPR-waarde kost meer dan de marktwaarde na verbouwing, tenzij het mogelijk is om een goedkope Base-isolation *methode toe te passen.*
<u>Rechts</u>. Deze oude boerderij werd door de NAM aangekocht. Voor monumenten en beeldbepalende gebouwen geldt een versterkingsbudget van 150% t.o.v. de herbouwkosten. De marktwaarde is dan in principe niet van belang. Het op Base-isolation *zetten van een dergelijk gebouw kan een paar miljoen euro kosten.*

[30] 'Economisch rendabel' wordt hier gebruikt in de zin van zelfde bouwvolume en gebruiksfunctie van het gebouw dat voor dezelfde prijs wordt gerealiseerd. Dit geldt niet voor belangrijke historische gebouwen zoals rijksmonumenten. In de berekeningen word duurzaamheid of CO_2 uitstoot zelden meegerekend.

In deze alfabetische lijst of de andere technische hoofdstukken wordt geen interpretatie gegeven van verschillende standpunten of kosten van het versterkingsproces, de te volgen procedures of de regelgeving van de NCG, omdat hierover de meningen sterk uiteenlopen.[31]

Aardbevingsbestendig versterken

Dit is het proces van het versterken van een bestaand gebouw, op een zodanige manier dat het de theoretisch maximale aardbeving kan doorstaan zonder gedeeltelijk in te storten (*Near Collapse*). De aardbevingen mogen niet veel menselijke slachtoffers veroorzaken, ten gevolge van het instorten van gebouwonderdelen of het hele gebouw. Scheuren voorkomen hoort daar niet bij, dat is zo vastgelegd in de ACI-317 en de Eurocode 8, beiden de basis van de NPR9998. De terminologie "versterken" is een daardoor rekbaar begrip. Het betreft hier het gehele gebouw inclusief hoofddraagconstructie, de primaire constructie onderdelen, maar ook de secundaire onderdelen.

Het zijn de secundaire onderdelen zoals bijvoorbeeld zware schoorstenen op flexibele kapconstructies of topgevels die het eerste de aandacht vragen omdat deze bij lichte aardbevingen of schokken kunnen omvallen [32]. Dit worden hoog-risico-elementen genoemd. Om schade aan oude zwakke brosse bakstenen woningen te voorkomen is alleen *Base-isolation* een afdoende oplossing.

Het principe "schadevrij wonen", wat de bevolking wil, vereist meestal een meer uitgebreide en daardoor duurdere versterking dan seismisch versterken, of de toepassing van *Base-isolation*, waardoor de aardbevingskrachten op de tweede fundering van het gebouw zeer sterk worden verminderd[33]. 'Schadevrij' bij op de vaste grond gebouwde in brosse baksteen gemetselde gebouwen is als doelversterking bijna onhaalbaar, tenzij men gewapend metselwerk door het hele gebouw heeft. Dit komt in Nederland nauwelijks voor en is ook achteraf onmogelijk om door te voeren.

Figuur 1-12. Effect op een zwak huis. Zonder en met Base-isolation*. Het hele gebouw scheurt rondom alle openingen (gevaar). Door de* Base-isolation *komen er slechts lichte krachten op de bovenliggende constructie (veilig). Hoofdstuk 5 gaat dieper in op het thema* Base-isolation*.*

Voor het versterken van het gebouw moet er eerst een analyse gemaakt worden van de huidige constructie en de kwaliteit van de funderingsbasis ('op staal' of op heipalen). Van veel oude gebouwen zijn vaak geen bouwtekeningen beschikbaar zijn, of er zijn interne aanpassingen gemaakt. Aan de hand van de analyse en de NPR moet er een voorstel gemaakt worden dat niet alleen met de eigenaar overlegd moet worden, maar ook met BoWoTo en eventueel Monumentenzorg.

---

[31] Zie bijvoorbeeld: https://www.nationaalcoordinatorgroningen.nl/binaries/nationaal-coordinator-groningen/documenten/rapporten/2020/06/24/critical-review-over-de-benutting-van-kennis-in-de-versterking/Critical+review+Benutting+van+kennis+in+de+versterking.pdf

[32] Bij het wegnemen van hoog-risico elementen zoals bijvoorbeeld een schoorsteen, inclusief het verlagen van de gebouwmassa of het maken van een dilatatie, wordt op een directe wijze het schaderisico verminderd. Relatief gesproken wordt daarmee het gebouw versterkt; dit is een basisaspect van gebouwversterking.

[33] De Groningse bevolking wil echter helemaal geen schade, en zeker niet versterking tot slechts het *Near Collapse* principe. Het verschil tussen de wetgeving (*Near Collapse*) en 'geen schade' is voor de meeste bewoners helemaal niet duidelijk. Het bijkomende probleem is dat de stijve en dunne baksteenconstructies in Nederland totaal niet aardbevingsbestendig zijn en meteen al bij kleine schokken scheurschade oplopen.

In een verbouwingsplan moeten de diverse verduurzamingsaspecten worden meegenomen zoals thermische isolatie van de gehele buitenschil. Wanneer een gebouw een aanzienlijk **eigen gebrek** heeft, zal met de eigenaar over de kosten van het herstel van dat eigen gebrek overlegd moeten worden [34] . Bij een seismische versterking tot de erg hoge NPR9998:2015-norm, of voor het scheurbestendig maken zal bij veel woningen de bewoner niet in het gebouw verblijven en zal er tijdelijk een alternatief onderdak nodig zijn (extra kosten). Bij elkaar zal het aardbevingsbestendig versterken of scheurbestendig maken van een gebouw vaak meer tijd en kosten vergen dan slopen en het neerzetten van een duurzame (geïsoleerde) en sterkere nieuwbouw (lichter en ductiel zoals houtskeletbouw).

Woningwetwoningen die gedurende de eerste 25 jaar na de oorlog werden gebouwd zijn zelden geïsoleerd en hebben kleine binnen afmetingen. Ook als ze ondertussen met dubbel glas en spouwmuurisolatie zijn voorzien, is de combinatie seismisch versterken en verduurzamen volgens de hoge normen en economie van een consumptiemaatschappij duurder dan slopen en nieuwbouw.

Figuur 1-13. Wijk Opwierde-Zuid. Woonwijk in Appingedam. Sloop van 233 woningen. Foto: Gea v Loon, 9-1-2020. Dagblad v Het Noorden.

Nieuwe constructies worden volgens de bouwnormen met een zekerheidsmarge uitgerekend, waardoor ze ongeveer 30% tot 50% sterker zijn dan het bezwijkpunt van die rekenwaarde. Bij tektonische aardbevingen is de maximale PGAg eveneens een hoge schatting met een extra zekerheidsmarge. Voor de retrofitting (seismisch versterken) van bestaande gebouwen met nieuwe constructies wordt in tektonische gebieden vaak verplicht dat te zwakke gebouwen (hoog risico van instorten bij de maximale PGA) worden versterkt tot 50% of 2/3 van de gewenste normsterkte. Dat wil echter niet zeggen dat voor geïnduceerde aardbevingen dezelfde regels van toepassing zijn.

Aardgas, ontstaan van

Een fossiele energiebron (Methaan = CH_4) die 350-280 miljoen jaren geleden is ontstaan door de opstapeling van een meer dan honderden meters dikke laag plantenresten in moerassen. De verterende planten, waar geen zuurstof bij kwam, produceerden door bacteriën methaangas[35]. De grote hoeveelheid methaan veroorzaakte een heel sterke opwarming van de aarde en daarna veel woestijnvorming en miljoenen jaren zandverstuivingen. De verterende plantenmassa werd onder Groningen eerst afgedekt door een 200 m dikke zandlaag, waardoor er veel methaangas in die zandlaag zat en ook het methaangas aan de bovenkant ontsnapte. Door de zoute opdrogende zee werd die zandlaag afgedekt door één km dikke zoutlaag (na het overstromen, verdamping van de ondiepe Zechsteinzee). Tenslotte door twee km dikke andere grondlagen zoals zeeklei en zand, waardoor de bovendruk op het zandsteen opliep tot 670 bar.

[34] Een gebouw van rond 1900 werd echter op basis van andere normen gebouwd dan van nu; dat is weliswaar geen eigen gebrek (juridische term uit de verzekeringswereld), maar het gebouw werd in de tussentijd ook niet aangepast aan de nieuwere bouwnormen. Zie 'eigen gebrek' voor verdere uitleg.

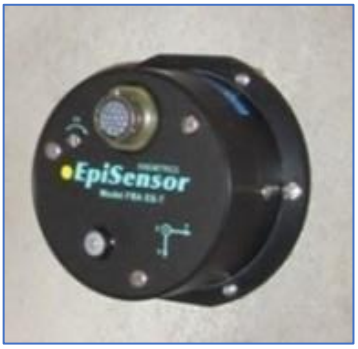
[35] Methaangas is >21x sterker broeikasgas dan CO_2. Het effect was een zeer sterke opwarming van de aarde.

Figuur 1-14. Artiest impressie van het soort tropische plantengroei ongeveer 320 miljoen jaar geleden op de evenaar (toen Europa). (Internetfoto).
De vele tropische bossen consumeerden alle CO_2 uit de atmosfeer wat een ijstijd veroorzaakte en het afsterven van de bossen. De vorming van heel veel polair ijs veroorzaakte het terugtrekken van de zee en woestijnvorming. Tegelijkertijd produceerden de rottende planten methaangas (CH_4) door de werking van bacteriën. De rottende plantenmassa werd (plaatselijk in Groningen) afgedekt door 200 m (stuif)zand waardoor het CH_4 naar boven filterde. Opwarming van de aarde door het CH_4 in de rest van de wereld veroorzaakte een binnenzee in Europa (op de evenaar) waarin heel veel zout neersloeg door de verdamping. Dit sloot het CH_4 gas op. Dit zijn allemaal processen die miljoenen jaren duurden.

Door de grote druk van deze zout- en aardlagen en resulterende hoge temperatuur is dit onderste plantmateriaal (onder het zandsteen) langzaam veranderd in steenkool. Deze steenkoollaag ligt onder een groot deel van Europa en zit in Limburg dicht bij het oppervlak. Het uit de planten- en steenkoollaag ontsnappende methaangas is onder de afsluitende zoutsteenlaag in het zandsteen blijven zitten. Het pure aardgas (hoofdzakelijk methaan) is geurloos, licht ontvlambaar en dodelijk bij inademing. Het aardgas kan vermengd worden met methaangas (CH_4) uit bio-vergisters[36] en met waterstofgas (uit overproductie elektriciteit). Deze vermengingen zullen in de toekomst toenemen. Zie ook http://nl.wikipedia.org/wiki/Aardgas

Accelerometer

Ook wel trilling-meter of versnellingsmeter genoemd. Zie ook 'Seismometer'. Om de gebouwtrillingen nauwkeurig vast te kunnen leggen moet de accelerometer een hoge Hertz-waarde hebben (500 Hz). Eenvoudige meters hebben vaak een 100 Hz registratie die slechts elke 1/100ste seconde een positie registreert. Om de kortdurende geïnduceerde aardbevingen in verschillende richtingen te kunnen analyseren worden accelerometers van 500 Hz gebruikt.

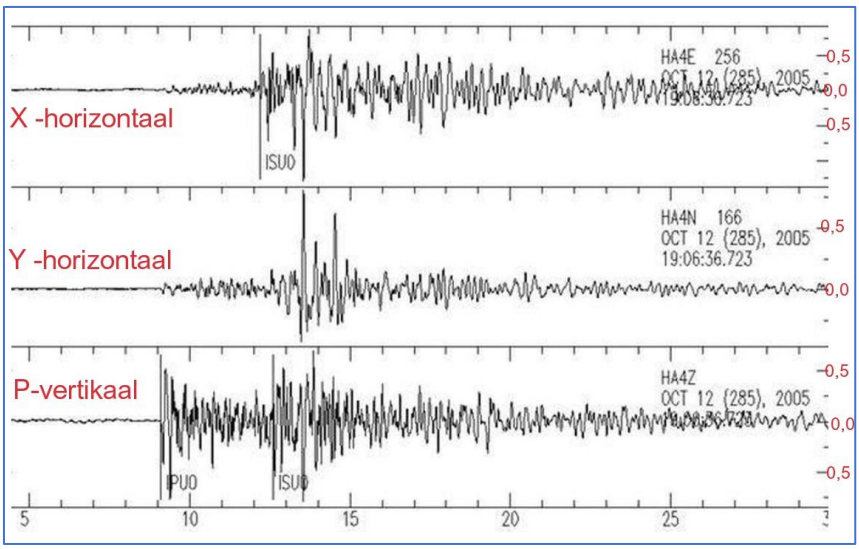


Figuur 1-15. Accelerometers funderingen.
In de provincie Groningen zijn sinds 2014 honderden aan gebouwen bevestigd, die van de drie soorten trillingen (X en Y = 2 horizontaal loodrecht op elkaar en 1 verticaal = P) signalen sturen, die via een netwerk met een centrale metingkamer zijn verbonden.

Om te voorkomen dat een meter ook het dichtslaan van een zware deur registreert, wordt een trilling pas naar de centrale doorgestuurd wanneer deze door drie meters wordt waargenomen.

Elke beving wordt precies met, richting en sterkte in kaart gebracht. De versnellingsmeter meet de drie PGAg's (twee horizontaal X en Y en een verticaal Z) als de belangrijkste waarden ter bepaling van de aardbevingssterkte[37]. Ze registreren pas als verschillende meters tegelijkertijd afgaan, dus niet als iemand in een woning de deur hard dichtgooit. De NAM heeft ook enkele paar diepte-geophones (boorgatmeters) geïnstalleerd die de grondversnelling op dieptes tot 2 km meten.

[36] Dit methaangas heeft een lage waarde en moet gezuiverd worden en de waterdamp moet eruit. Met nieuwe osmose systemen kan dit. Wanneer alle veeteeltbedrijven overstappen op bio-vergisters kan voor een paar hinderduizend woningen aan gas geproduceerd worden. Ook wordt de stikstof uitstoot sterk verminderd.
[37] Zie ook het kaartje op: http://rdsa.knmi.nl/opencms/nl-rrsm/.



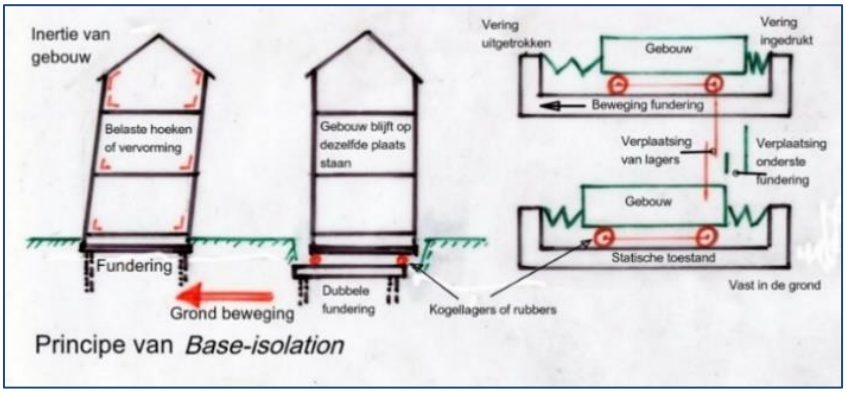
Figuur 1-16. Registratie van aardbeving.
Dit gaf een knal en het huis kraakt)[38] van 12 oktober 2005 te Smilde bij Assen. Mw 2,5 en PGAg ≈ 0,06.

De P-schok komt het eerste boven, daarna de horizontale schokken.
Afhankelijk van de afstand tussen het epicentrum en de meter is de registratie anders.

Er bestaan andere meetinstrumenten zoals tilt-meters die heel precies de kanteling van een constructie kunnen meten. Deze kunnen aanvullende informatie leveren zoals het verzakken van een gebouw. Door verschillen van hoekverdraaiing over een langere periode te meten en de trillingen, zou men kunnen constateren of er door de trillingen verzakkingen of ongelijke zettingen in funderingen zijn ontstaan. Deze tilt-meters worden bijvoorbeeld in Amsterdam gebruikt bij de Metro aanbouw, maar er zijn er ook een aantal in Groningen geplaatst. De NCG heeft bij wijze van proef sinds 2017 een aantal tilt-meters geplaatst zoals bijvoorbeeld in dijklichamen.[39]

Base-isolation *(Base-isolation)*

Het principe van '*Base-isolation*' is dat het gebouw constructief is losgekoppeld van de onderste fundering (*base*) op een zodanige manier dat de horizontale aardbevingsbewegingen van de grond niet direct op het bovenliggende gebouw worden overgedragen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van rollers of series van gestapelde metalen/rubberen platen. De methode wordt veelvuldig toegepast bij grote gebouwen en monumenten in aardbevingsgebieden en is gemakkelijk aan te brengen bij nieuwbouw omdat daar niet onder het bestaande gebouw twee funderingen aangelegd hoeven te worden.



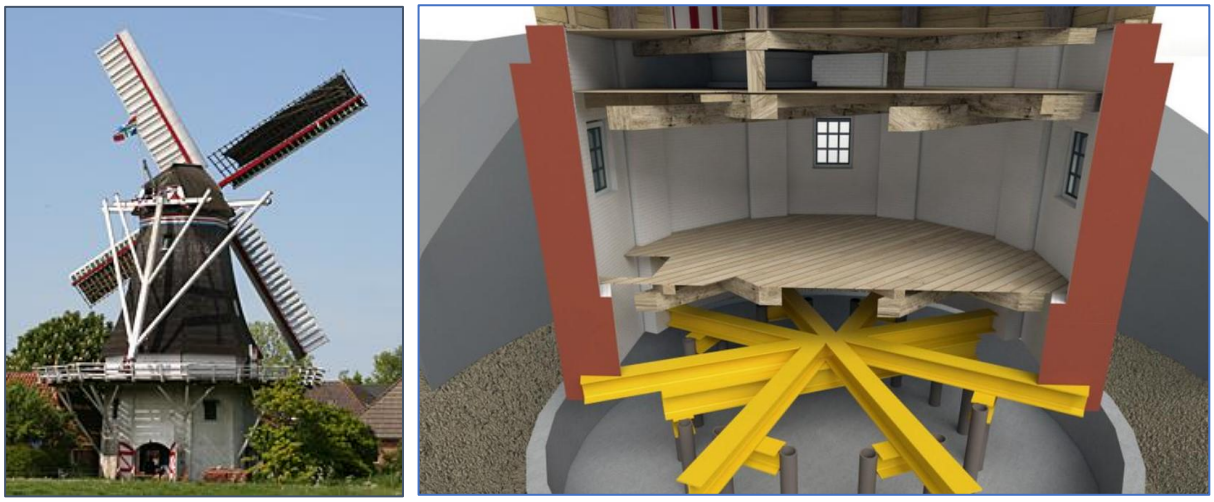
Figuur 1-17. Base-isolation principe schets.
De rollen met veren, rollen in een kom of elastische rubber-metaal pakketten zorgen ervoor dat het gebouw weer terugkeert naar het centrum van de oplegging.
Doordat de gebouwmassa een inertie heeft, beweegt de grond samen met de onderste fundering los van het bovenstaande gebouw.

Het gebouw ondervindt slechts een kleine zijwaartse belasting t.g.v. de veerwerking en geen kantel effect. Het krijgt daardoor erg weinig belastingen op de verbindingen tussen muren en vloeren of daken. Het type *Base-isolation* hangt af van de gebouwmassa en de horizontale verplaatsing van de maximale aardbeving.

[38] https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/aardbeving-bij-smilde-drenthe
[39] https://www.rtvnoord.nl/nieuws/181057/Nationaal-Coordinator-Groningen-start-proef-met-tiltmeters

Bij de geïnduceerde aardbevingen in Groningen is de horizontale verplaatsing erg klein (bij PGAG <0,1 is de afstand ≈1 cm) vergeleken met tektonische aardbevingen die soms decimeters bedragen. De eerste toegepaste *Base-isolation* mechanismen waren geschikt voor een horizontale gebouwverplaatsing van meer dan 20 cm, gebaseerd op de NPR9998:2015. *Base-isolation* voor de provincie Groningen vereist een zeer licht lopend systeem dat slechts een kleine zijwaartse beweging hoeft te overbruggen.

Een *Base-isolation* absorbeert meestal niet de verticale trillingen of belasting van de grond op het gebouw. Omdat de Nederlandse woningbouw wel berekend is op verticale belasting is voor de kleine verticale schokken geen extra versterking nodig. Verticale trillingen kunnen wel zetting in de grond en de fundering veroorzaken en kunnen daarom tot scheuren leiden. Een belangrijke voorwaarde van *Base-isolation* is dan ook dat er zich absoluut geen zettingen van de fundering mogen voordoen.



Figuren 1-18. Molen te Westerwijtwerd. Links: Rijksmonument Zeldenrust molen (Internetfoto van R. Bakker)[40]. Een windmolen is in principe heel erg goed bestand tegen trillingen uit alle richtingen en heeft een flexibele houten bovenbouw. Een Base-isolation *hiervoor is daarom seismisch gesproken niet nodig.*

Het plaatsen van deze molen op een *Base-isolation* was hoofdzakelijk een technische exercitie of een soort test om *Base-isolation* uit te proberen, meer dan een maatregel om het gebouw tegen de aardbevingen te beschermen. In principe staat de hele molen te trillen als de wieken in de wind draaien en is de dikke stenen basis van het gebouw solide uitgevoerd, terwijl de bovenbouw van houtbouw juist flexibel is.

In 2014 werd voor verschillende gebouwen overwogen om deze op *Base-isolation* te zetten omdat dit goedkoper zou zijn dan het gehele gebouw te versterken, of omdat monumenten niet aan de buitenkant of aan de binnenkant seismisch versterkt mochten worden. Zo werd er een nieuw lagere schoolgebouw op rubberen blokjes *Base-isolation* gebouwd. Voor scholen of andere gebouwen waar veel mensen samenkomen (gebouwklasse, *consequence class CC3*) is een hogere zekerheid (veiligheid) nodig dan woningbouw en daarom wordt er voor dit **type CC3 met hogere belastingen** gerekend.

De kosten van *Base-isolation* zijn relatief erg hoog voor kleine en lage gebouwen in vergelijking met hoge gebouwen vanwege de noodzakelijke dubbele fundering en ter voorkoming van enige verzakking van die funderingen. Voor bestaande gebouwen is het heel véél duurder aanleggen dan voor nieuwbouw, soms meerdere malen duurder dan de hele gebouwwaarde.
Hoofdstuk 5 gaat dieper in op *Base-isolation*.

[40] Zie artikel met foto van stervormige metalen constructie: https://www.dvhn.nl/groningen/Een-primeur-rubber-beschermt-molen-Zedenrust-in-Westerwijtwerd-tegen-bevingen-21036894.html

Belangrijkheidsfactor

Importance factor. Building classification. {Eurocode 8: 1.4.2.11}

Deze wordt aangegeven door factor Υ_1 (gamma), waarmee de belasting wordt vermenigvuldigd bij hogere of lagere belangrijkheid van de bouwconstructie ten opzichte van de standaard. Deze classificatie komt ongeveer overeen met de belangrijkheidsklassen van de NEN-EN 1998-1. Hoe belangrijker een gebouw is, hoe groter de vermenigvuldigingsfactor. **De vermenigvuldigingsfactor verhoogt de veiligheid van het gebouw.** Dit is belangrijk voor gebouwen waar veel mensen of dieren aanwezig kunnen zijn, en in combinatie met tektonische aardbevingen, omdat men daar niet met zekerheid kan zeggen hoe sterk de maximale aardbeving zal zijn.

Gevolgklasse[41] ***Consequence classes (=CC)***	**Belangrijksheidsfactor *Υ1***	
	Nieuwbouw	**Verbouw en afkeuren**
CC1A. Geringe kans en kleine of verwaarloosbare gevolgen zoals bij agrarische gebouwen, geen menselijke bewoning.[42]	a	b
CC1B: Als boven met menselijke bewoning.	1,3	1,2
CC2. Gemiddelde kans of aanzienlijke gevolgen, woningen of kantoorgebouwen.	1,5	1,4
CC3. Grote kans of grote gevolgen, belangrijke gebouwen, stadions, publieke gebouwen.	1,7	1,6
*a. Voor CC1A worden aardbevingsbelastingen verondersteld niet maatgevend te zijn. Desgewenst kan echter voor nieuwbouw een belangrijkheidsfactor van Υ_1 = **0,8** worden aangehouden.*		
*b. Voor CC1A worden aardbevingsbelastingen verondersteld niet maatgevend te zijn. Desgewenst kan echter voor nieuwbouw een belangrijkheidsfactor van Υ_1 = **0,6** worden aangehouden.*		

Appartementengebouwen, zoals portiekwoningen met maximaal twee verdiepingen of drie bouwlagen vallen onder CC1B. Met vier bouwlagen vallen deze appartementen onder CC2.

Gebouwen en installaties die een belangrijke functie hebben tijdens en direct na een aardbeving, hebben ook een hoge categorie. Communicatieapparatuur is een dergelijk voorbeeld. Installaties die veel schade kunnen veroorzaken eveneens; b.v. chemische installaties met gevaarlijke stoffen. Niet alleen de veiligheidsfactor CC wordt verhoogd, maar voor veel gebouwen wordt ook de risicofactor verlaagd van 10^{-5} tot 10^{-6} (=veiligheidsfactor verhoogd) zoals bijvoorbeeld voor chemische bedrijven en zeedijken. Grote woongebouwen hebben volgens de bovenstaande lijst ook een verhogingsfactor, waardoor ze sterker moeten worden uitgevoerd.

Figuren 1-19. Gebouwvormen met gevolgklasse.
Links: CC1B, drie woonlagen. Midden: CC1B drie woonlagen. Rechts: CC2, vier woonlagen
In de middelste situatie zijn er wel vier bouwlagen, maar de onderste is niet bewoond (dit zijn garageboxen), hierdoor zijn er maar drie bouwlagen bewoond en is CC1B van toepassing.

[41] Zie: http://www.stufib.nl/images/bestanden/presentaties/verg%2070%20-%2011-003-2009%20(TU%20Delft)/stufib_11_maart_2009_EC0_Braam.pdf en http://www.stichtingibk.nl/wp-content/uploads/2013/12/iBK-2014-04-Definitie-Risicoklasse-1.pdf

[42] Bij 'veel' vee kan men beargumenteren dat een agrarisch gebouw gevolgklasse CC1B heeft met als gevolg de belangrijkheidsklassen van respectievelijk Υ_1 =1,3 en Υ_1 =1,4. De definitie van 'veel' is echter niet gegeven.

BENG. Bijna Energie Neutrale gebouwen

De relatie tussen de oudere EPC-normen en de 2021 BENG-normen wordt aangegeven in de onderstaande tabel en per normperiode. Zie ook Hoofdstuk 12 Verduurzamen.

Het document NTA 8800:2019-06/INT-V1:2020 [43] geeft de interpretatie van de nieuwe BENG-normen[44] 1, 2 en 3 die gelden per 1 januari 2021 en betreft de hoeveelheid energie dat een gebouw mag verbruiken per oppervlakte-eenheid per jaar. Met nieuwbouw en **grote verbouwingen**[45] moeten gebouwen aan deze norm voldoen waarbij de isolatie van de buitenschil een belangrijke factor is[46].

Bij Beng 1 is: Buitenschil gedeeld door woonoppervlak bij grondgebonden woningen = Als/Ag ≤ 2,2.
Bij structurele aanpassing zoals het seismisch versterken dient deze norm gevolgd te worden, waarbij de versterkingsconstructies geen warmtelekken mogen veroorzaken. Het gebouw aanpassen om scheuren te voorkomen en tegelijkertijd isoleren zijn ook twee grote aanpassingen.

Bouw-jaar	Rc-muur m^2.K/W	Rc-dak m^2.K/W	Rc-vloer m^2.K/W	Dikte isolatie	Rc-glas m^2.K/W	Energie label Letter	Punt score	EPC rekenfactor	BENG 1 kWh/m^2.jr	BENG 2 kWh/m^2.jr fossiel	BENG 3 kWh/m^2.jr hernieuw
								0,0	0		
		10,		30 cm		A++++	51-61	0,1	≤ 15	0	> 50%
		8,0		28 cm		A+++	41-50	0,2 < EPC ≤ 0,4	≤ 30	0 < 50	> 50%
		6,5		17 cm		A++	31-40	**0,4 < EPC ≤ 0,6**	**≤ 70**	**30 < 50**	**> 40%**
2021	4,7	6,3	3,7	15 cm		A+	21-30	0,6 < EPC ≤ 0,8			
2015	4,5	6,0	3,5	13 cm	1,2	A	2-20	0,8 < EPC ≤ 1,1			
2005	2,5	2,5	1,3	8 cm	0,6	B	< 2	1,05 < EPC ≤ 2			
1992	2,5	2,5	1,3	8 cm	0,5	C		1,4-1,8			
1987	2,0	2,0	1,3	5 cm	0,5	D		1,8-2,1			
1982	1,3	1,3	1,3	3 cm	0,5	D		1,8-2,1			
1976	0,7	1,0	0,3	2 cm	0,5	E		2,1-2,4			
1965	0,43	0,86	0,17			F		2,4-2,7			
<1930	0,35	---	---			G		< 2,71			

Overzicht van de ontwikkeling van de Nederlandse isolatienormen, het energielabel, de EPC-waarden en de BENG-eisen. Waar de EPC een dimensie loos getal is (dus zonder kWh of joule), kijkt BENG wel naar het energieverbruik, namelijk in kWh per vierkante meter per jaar. En stelt ook een maximum aan de hoeveelheid energie die een gebouw nodig heeft voor verwarming en koeling.

De energie eisen van gebouwen zijn over de jaren verhoogd, te beginnen met de oliecrisis in de jaren 1971-1973 en werden steeds strenger naarmate er meer belang werd toegekend aan het milieu en de CO_2 uitstoot t.g.v. het verwarmen van de gebouwen. In 2020 is ongeveer 40% van de nationale energieconsumptie gerelateerd aan de bouw (incl. transport, infrastructuur en sloop) waarbij bijna 1/3de noodzakelijk is voor verwarmen en koelen van gebouwen.

Betere isolatie van de buitenschil van het gebouw is daarom een kernelement in duurzaam bouwen.

Isoleren en bezuinigen!

Omdat de provincie Groningen al sinds tientallen jaren een krimpgebied is, werd er door de bewoners weinig geïnvesteerd in de gebouwde omgeving en werd er relatief weinig nieuwbouw gerealiseerd in vergelijking met de randstad. Hierdoor heeft een groot gedeelte van de woningen slecht onderhoud, slechte thermische isolatie en zullen de verbouwkosten naast de seismische versterking aan de hoge kant zijn. Financieringsmodellen voor verduurzaming moeten daarop aangepast worden.

[43] Zie: https://www.gebouwenergieprestatie.nl/app/uploads/sites/8/2020/01/NTA_8800_interpretatiedocument_20200106.pdf
[44] BENG Eisen https://www.duurzaamgebouwd.nl/artikel/20181214-beng-is-veranderd-maar-wat-betekent-dat-nu-echt?
[45] Het seismisch versterken is zowel een grote verbouwing als een aanpassing van de constructie. In sommige documenten wordt als grote verbouwing aangegeven dat het 25% van de buitenschil moet zijn.
[46] Zie ook: https://www.bouwwereld.nl/bouwkennis/beng-vereist-goede-uitvoering-van-isolatie/

Biogas productie

Dit is hoofdzakelijk (>60%) methaangas (CH_4) dat wordt verkregen door vergisting van mest van vee, landbouwafval en resten van de voedselindustrie. Het is belangrijk dat mest en urine gescheiden blijft en de mest niet in de grote natte mestkelders verdwijnt, maar direct in de biogas reactor of bio-vergister wordt gebracht. Andere gassen, waterdamp en elementen moeten uit het gas gezuiverd worden voordat dit opgewaardeerde aardgas in het gasnet kan worden toegevoegd [47].

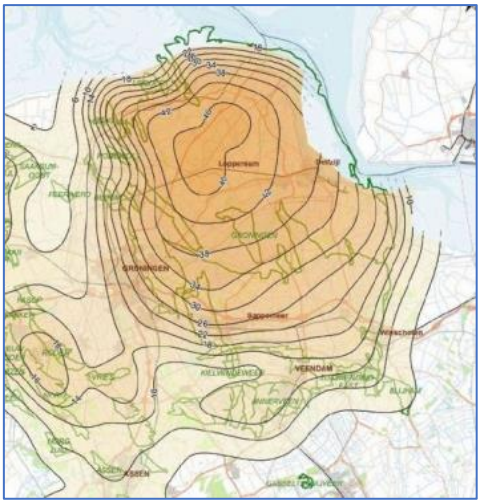
Figuur 1-20. Biogasinstallatie van Host. Met twee grote opslagcontainers. Het biogas moet gezuiverd worden en kan verbrand worden voor energie ('s nachts als er geen zon is) en er kan LNG van gemaakt worden, voor vrachtwagens. Internetfoto www.Host.nl

CH_4 = 21 x zo belastend of isolerend als CO_2 in klimaatopwarming. Wanneer je 1 x CH_4 verbrand blijft er slechts 1 x CO_2 over en warmte of energie. Je verwijdert dan 20 x CH_4.

Bodemdaling (Komvorming)

Bodemdaling of zakking is de daling van het grondoppervlak door oxidatie (van veen), zetting of geologische processen (gasextractie en compactie). Het zakken van het niveau van de bodem ten opzichte van een vast referentiepunt, bijvoorbeeld het Normaal Amsterdams Peil (NAP).

De grondwaterstand wordt door bodemdaling langzaam beïnvloed en daardoor kunnen funderingen nat worden wanneer de grond met de gebouwen zakt. Om het grondwater op hetzelfde peil te houden wordt plaatselijk water weggepompt, waardoor andere funderingen droog kunnen komen te staan.



*Figuur 1-21. Geschatte maximale bodemdaling. Deze daling is **na 50 jaar** vanwege de gasexploitatie, met ongeveer 60 cm in de gemeente Loppersum. Hier is de porositeit van het gas houdende zandsteen het grootste en daardoor ook de samen-persing bij het verminderen van de inwendige gasdruk. Deze daling wordt al tientallen jaren precies gemonitord, ook via satellietmetingen.*

Daarnaast is er een landelijke bodemdaling vanwege veen, ontwatering en uitdroging en een geologische daling in de Peelslenk.

[47] In 2013 is er een voorstel gedaan om de Groningse veeteeltboeren te stimuleren om over te stappen op biogas. Dat zou enerzijds een kleine maar duurzame aanvulling opleveren voor het gasnet, maar anderzijds ook een stimulering voor de lokale industrie en werkgelegenheid. In 2013 was de technologie voor het zuiveren van biogas verbeterd en goedkoper geworden met osmose. De veeteeltsector is een hele grote factor in de CH_4 (en daarmee CO_2) uitstoot en opwarming van de aarde. Daarnaast produceert de veeteelt heel veel uitstoot van stikstofverbindingen vanwege de vermenging van poep en urine, en milieuschade door het uitrijden van de gier op het land, waardoor de biodiversiteit vermindert.

Bij houten paalfunderingen kan het periodiek droogvallen tot houtrot leiden, waardoor gemetselde funderingen op die paalfundering flinke schade kunnen oplopen. Bodemdaling en daarna bemaling[48] kan dus bij houten paalfunderingen indirect leiden tot grote gebouwschade. Bij veen- en kleigronden kan door uitdroging ook krimp ontstaan, waardoor zettingen in de fundering kunnen ontstaan met scheurvorming als gevolg.

Bodemdaling commissie

De Commissie Bodemdaling van de NAM stelt vast welke maatregelen redelijkerwijs noodzakelijk zijn om schade vanwege bodemdaling door aardgaswinning te voorkomen, te beperken of te herstellen. Verder bepaalde deze Commissie welke kosten de NAM zou vergoeden[49]. Zie ook statusrapport 2020[50] met prognoses tot 2080. Hierin staan nieuwe prognosekaartje voor 2030 met een totale bodemdaling van 38 cm in de gemeente Loppersum, echter met een geschatte onzekerheidsfactor van 2,5. www.commissiebodemdaling.nl

Door de bodemdaling zijn grote kosten gemoeid die verband houden met het reguleren, c.q. het herstellen van de grondwaterstand ten behoeve van de veeteelt en landbouw. In het centrale binnengebied, met de grootste bodemdaling, zullen dijken verhoogd moeten worden, stuwen aangelegd, de stroomrichting van rioleringen veranderd en waterafvoeren naar hogere gebieden worden gepompt, hoofdzakelijk t.b.v. de agrarische sector.

Boorgatseismometer

Deze soort accelerometer maakt het mogelijk om zwakkere aardbevingen te registreren dan met instrumenten aan de oppervlakte. Deze zwakke trillingen worden ook micro-trillingen genoemd. In de provincie Groningen zijn een aantal boorgat seismometers op ongeveer 200 m diep in het boorgat gehangen om invloeden van trillingen op bovenste grondlaag te voorkomen. Daarnaast zijn er diepe seismometers op 3 km diepte geplaatst, tot in de gas-houdende zandsteenlaag. Deze boorgaten hebben 15 seismometers over een diepte tussen de 2800 m en 3200 m diep. De exacte locatie van de oorsprong van de trillingen in de zandlaag kunnen hiermee worden vastgesteld. Het werd met deze boorgat seismometers bevestigd dat de trillingen alleen uit de gas-houdende zandsteenlaag komen en niet uit het daar onder liggende Carboon[51]. Met meer metingen werd vastgesteld dat er ook lichte (niet voelbare) trillingen uit de grondlagen boven het zoutsteen komen.

Figuren 1-22. Oppervlaktetrillingen, bodemruis. Deze moeten voor metingen vermeden worden.
Links. Grondverdichter in een straat; hierdoor kunnen aanliggende woningen scheuren oplopen.
Rechts. Een hei-installatie is voor mensen nog voelbaar tot op 500 m (foto Arcantus, Appingedam nieuwbouw).

[48] Bemaling is noodzakelijk wanneer de grondwaterstand ten opzichte van het maaiveld hoger wordt omdat het maaiveld daalt door de compactie. Bemaling van te laag liggende rioleringen wordt dan ook noodzakelijk.
[49] Zie rapport: https://www.commissiebodemdaling.nl/files/nam_bodemdalingsrapport2010.pdf
[50] https://commissiebodemdaling.nl/files/Status%20rapport%202020%20bodemdaling%20Noord-Nederland-final.pdf
[51] Bestaande scheuren in het Carboon veranderen volgens deze metingen niet.

Bouwbesluit

Op 1 augustus 1902 trad onder het kabinet Pierson de woningwet van 1901 in werking, de basis voor de Nederlandse volkshuisvesting. Het eerste Bouwbesluit[52] trad in 1992 in werking en daarmee werden de lokale technische bouwvoorschriften voor het hele land gelijk. Op 1 januari 2003 werd een vernieuwde versie van kracht. Het nieuwste Nederlands Bouwbesluit 2012 verwijst voor de invulling van de normen naar de NEN-normbladen van het Normalisatie-instituut en de Eurocodes, die de TGB-normen NEN 6700 t/m NEN 6790 vervangen.

Sinds januari 2015 werd er voor nieuwbouw een verhoogde isolatienorm (EPC = 0,4) vereist. Dit was nog niet het geval voor verbouw. Per 1-1-2021 wordt de nieuwe BENG-norm van toepassing voor nieuwbouw, waar een EPC van $\leq$ 0,2 bij hoort.[53]

Bakstenen gebouwen die volgens het bouwbesluit 2015 zijn gebouwd hebben nauwelijks schade van aardbevingen tot PGAg 0,1 met uitzondering van doorzon- en rijtjeswoningen. Dit laatste type woningen houdt wél rekening met de laatste norm voor stormbelasting loodrecht op de gevels, maar in de lengterichting van een blok van 5 of 7 woningen is de stormbelasting gering, terwijl het wel de volle bevingskracht krijgt.

Figuur 1-23. Windbelasting op kop woning. Deze is ongeveer gelijk aan de windbelasting op de kop van een blok van 4, 5 of 6 woningen.
De aardbevingsbelasting op de kop van een blok van vier rijtjeswoningen is 4X zo groot als die van een enkele woning.
Bij een rijtje van zeven woningen is dat zeven keer zo groot.

Een stormbelasting op een 10 m^2 gevel is ongeveer 10 ton (100 g/m^2). Een rijtjeswoning weegt ongeveer 100 ton. Een PGAg 0,1 betekent een aardbevingsbelasting van 0,1 x massa (100 t) = 10 t dus ongeveer gelijk aan de stormbelasting. Een blok van 4 rijtjeswoningen (schets) is volgens de bouwnorm op de korte kopzijde ook berekend op een stormbelasting van 10 ton. Loodrecht op de rij gevels is de totale stormbelasting voor 4 woningen ongeveer 40 ton. Vanwege de tussenmuren kunnen deze woningen dat makkelijk hebben. Hoewel de stormbelasting op de kop van een rijtje slechts 10 t is, is de aardbevingsbelasting in die richting 0,1 x 4 x 100 t = 40 t. Daar zijn ze niet op ontworpen en lopen daarom een groot schade- en omvalrisico, zeker als er grote raampartijen op de begane grond zitten.

Bij het verwijderen van dwarsmuren die in de lengterichting van het bouwblok staan, bijvoorbeeld voor het maken van een open keuken, zal de sterkte in die lengterichting verder verminderen.

Bouwkundig versterken

Dit zijn alle duurzame bouwkundige ingrepen aan de fundering of de draagconstructie en het dak die het gebouw sterker maken, zonder dat er sprake is van het voldoen aan het bestaande Bouwbesluit 2012 of de laatste NPR9998 voor aardbevingsbestendig versterken of verbouwen. Voor bouwkundige ingrepen die op de sterkte van de bouw betrekking hebben is een bouwvergunning nodig.

[52] Bron: Wikipedia https://nl.wikipedia.org/wiki/Bouwbesluit

[53] Zie: https://ondernemersplein.kvk.nl/nieuwe-gebouwen-moeten-voldoen-aan-de-beng/?gclid=EAIaIQobChMI2uGrhf337QIV0uN3Ch0vVgbeEAAYASAAEgKPpfD_BwE

Figuur 1-24. Jarino woningen uit jaren '70. Deze hebben funderingsfouten, slechte thermische isolatie, kleine kamers en structurele bouwfouten in de gevel. Vanwege de bouwfouten waren deze woningen niet economisch te versterken. Bij het binnenzijdig isoleren zouden in de kleinste kamers bedden van 200 cm niet meer passen.

Het bouwkundig versterken was bijvoorbeeld urgent bij Jarino-woningen (foto boven) waar een groot bouwkundig gebrek aan de gevellatei opleggingen werd geconstateerd. Bij verdere inspectie bleek dat zwakke funderingsbalken de binnenmuren verticaal deed scheuren. In veel gevallen is bouwkundig versterken een maatregel om een bepaald acuut probleem (bouwfout) op te lossen of een geïdentificeerd hoog-risico situatie veilig te stellen.

Bouwkundig versterken kan ook een constructieve maatregelen zijn die zonder uitgebreid rekenwerk worden toegepast. Bij bouwkundig versterken wordt dus niet noodzakelijkerwijs voldaan aan de geldende nieuwbouwnorm. In de situatie van de Jarino-woningen was bouwkundig versterken slechts een tijdelijke noodzaak[54], omdat deze woningen uit de jaren 1970 over haar geheel genomen van zeer slechte kwaliteit waren en het seismisch versterken, samen met het isoleren, heel veel meer zou kosten dan sloop en nieuwbouw.

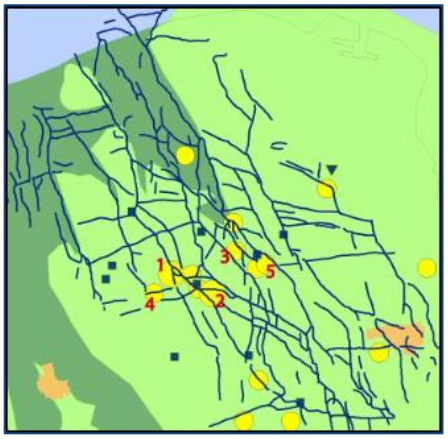
BoWoTo. Bouw en Woning Toezicht

Bouw- en Woningtoezicht is een openbare instelling in iedere Nederlandse gemeente, om inlichtingen te verstrekken en controle uit te oefenen op de bestaande woningvoorraad en eventueel middelen tot verbetering aan te wijzen. Deze gemeentelijke dienst moet ook toezicht houden op de uitvoering van de Woningwet. Het BoWoTo verleent bouwvergunningen en controleert de uitvoering en houdt archieven bij. Het BoWoTo kan bij hoog-risico situaties gebouwen onbewoonbaar verklaren en de bewoners uit laten plaatsen. In de provincie Groningen kwam het voor dat heel slecht onderhouden woningen bouwvallig waren en de aardbevingen mogelijk tot instorting kon leiden. In dat geval moest BoWoTo de woning onbewoonbaar verklaren. In de krimpregio's van de gemeenten in de provincie Groningen heeft BoWoTo in de kleine gemeenten vaak niet de capaciteit om effectief op te treden.

Breuk(vlak)

Een scheur in het gesteente waarlangs (door drukverschil of beweging in de aardkorst) twee gesteentemassa's ten opzichte van elkaar verschoven zijn. De tektonische aardbevingen ontstaan langs vele kilometers grote breukvlakken waarlangs de grondlagen langzaam verschuiven/vervormen. In veel gesteentes zitten aders die zijn ontstaan doordat de breukvlakken zijn uitgevuld met kwarts (graniet) of kalsteen (marmer). In de onder het reservoirgesteente liggende carboon (steenkool) zitten eveneens deze breukvlakken, waarvan er een groot aantal doorlopen tot in het zandsteen. Het zandsteen van het gasveld is in het centrumgebied ongeveer maximaal 200 m dik, maar onder de hele provincie (50 km doorsnee) varieert de dikte. De relatief geringe dikte (in tektonische maatvoering) heeft extra breukvlakken in dat zandsteen tot gevolg.

[54] De aardschokken van 2012 brachten deze bouwfouten aan het licht. De bewoners konden niet direct verhuisd worden, terwijl er wel steeds meer schokken te verwachten waren. De gaswinning werd in 2013 door de NAM zelfs opgevoerd. Bij verschillende woningen werden er stempels in de woonkamer gezet.



Figuur 1-25. 2014 kaartje breukvlakken.
Deze zijn gemeten in het Carboon en meer in de gas houdende zandsteenlaag, in totaal ongeveer 1700. De rode nummers zijn de locaties van de grootste schokken tot 2012. In de boven het reservoir liggende Zechstein bevinden zich geen breukvlakken; daar kunnen zich dus verschuivingen langs de breukvlakken voordoen.
Recente kaarten zijn door vele metingen veel nauwkeuriger en tonen veel meer breukvlakken. Bron KNMI-NAM.

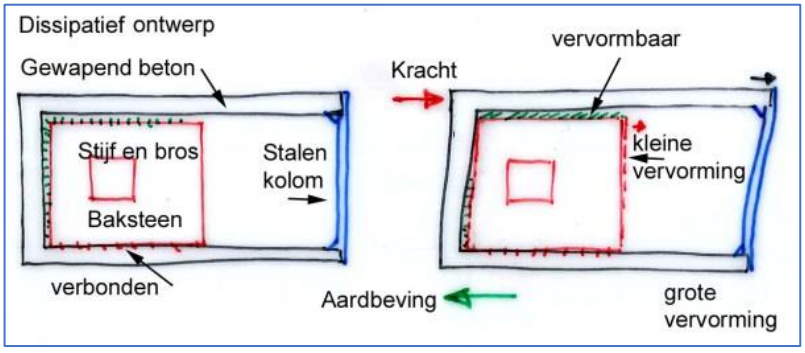
Capaciteitsmethode voor ontwerp

{Eurocode 8: 1.4.2.7}. Ontwerpmethode die ervoor zorgt dat de niet-vervormbare elementen of de stijve onderdelen van het structurele gedeelte sterker zijn dan de flexibele of vervormbare of dissipatieve elementen. Wanneer een flexibel constructief element (de houten kap van een gebouw) meegeeft onder een belasting, zal die belasting weerstaan worden door het niet flexibele gebouw element oftewel het stijve gedeelte (gemetselde topgevel). De flexibele gedeeltes zullen minder weerstand aan de belasting geven (en de krachten absorberen) dan de stijve.

Het niet-flexibele (stijve) gedeelte mag dan niet onder de belasting bezwijken, anders bezwijkt die constructie. Bij de combinatie van verschillende stijfheden moet erop gelet worden dat er geen beschadigingen optreden in de niet-flexibele elementen. Het stijve element, zoals baksteen, krijgt dus altijd het grootste deel van de belasting en zal daarom het eerste barsten.

Vooral bij het gebruik van verschillende constructieve bouwmaterialen met verschillende stijfheden, maar ook tussen constructieve elementen en niet constructieve invulelementen, moet met dilataties hier rekening mee gehouden worden. Bijvoorbeeld grote stalen spanten van een grote schuur (flexibel, bewegelijk) die tussen de spanten zijn ingevuld met stijve baksteen (scheuren gegarandeerd).

Een stijve brosse bakstenen muur zal gauw scheuren vertonen bij een aardbeving, maar dat hoeft niet te betekenen dat de muur in draagkracht verliest. Bij reparatie van die (binnen) muur moet die afwerking wel elastisch zijn (iets beweegbare betimmering of glasvezelplaten) zodat bij een nieuwe schok niet opnieuw de scheur zichtbaar wordt. Als dat niet gebeurt is de enige optie om die muur te versterken met lintvoegwapening. In dat geval moet de verbinding van die muur met de aangrenzende muren ook versterkt worden om bij die verbindingen scheuren te voorkomen.



Figuur 1-26. Stijve en flexibele elementen.
De stijve baksteen muur heeft slechts de helft van de vervormbaarheid van de gewapend betonnen kolom.
De staalkolom kan weer tweemaal zoveel vervormen als de betonkolom.
Bij de berekening van de maximaal toelaatbare horizontale aardbevingskracht moeten de belastingen in overeenstemming met de stijfheden verdeeld worden.

Bij het versterken van bakstenen gevels met metalen portalen is dit belangrijk. Een gebouw kan dan wel sterk genoeg zijn tegen instorten, maar de bakstenen muren kunnen dan bij maximale belasting alsnog scheuren wanneer geen rekening met de stijfheden is gehouden.
In een gevel met brede en smalle raampenanten zullen de breedste penanten de meeste krachten opnemen. Dit onderdeel wordt verder behandeld in Hoofdstuk 6.

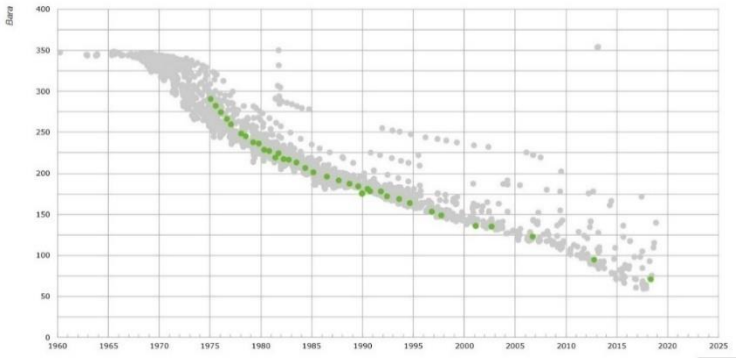
Circulair bouwen

Voor een meer duurzame maatschappij zal het niet alleen nodig zijn om gebouwen beter te isoleren zodat er minder energie nodig is om ze binnen warmt te houden, maar is het ook nodig om zo min mogelijk materiaal te verspillen of te degraderen. Gebouwen moeten voor optimaal hergebruik van materialen ontworpen worden[55]. Daarin worden 5 fasen onderscheiden. **A 1-3,** de productiefase; **A 4-5,** de bouwfase; **B1-7**, de gebruiksfase; **C1-4,** de sloop- en verwerkingsfase; en **D,** de milieubaten en -belastingen buiten de grenzen van het gebouw[56]. Hoofdstuk 12 Verduurzamen gaat hier verder op in.

De basisconstructie van een gebouw moet dan minstens goed zijn voor lange tijd (>> 200 jaar)[57]. De inbouw elementen zoals scheidingswanden of een niet constructieve buitenschil voor middellange tijd (> 70 jaar). De installaties met mechanische onderdelen die bewegen en onderhoud nodig hebben > 30 jaar. Installaties zouden ook ontworpen moeten worden op het eenvoudig vervangen van componenten die snel slijten (mechanisch bewegende delen), in plaats van het hele apparaat te vervangen. De persoonlijke inrichting tenminste > 10 jaar. Dus niet elke 5 jaar een andere keuken.

Compactie

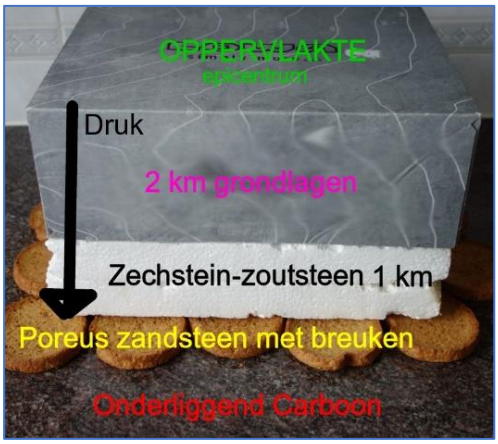
Het aardgasreservoir bestaat uit enigszins poreus zandsteen, en ligt op ongeveer 3 km diepte onder 2 km dikke grondlagen en een 1 km dikke afsluitende laag zoutsteen (samen 670 bar druk van boven). Als men een gat boort in dat zandsteen, **spuit het aardgas er onder zeer hoge druk uit**. Als de gasdruk in het zandsteen reservoir afneemt (van 350 bar in 1965 naar <60 bar in 2020), worden de korrels van het reservoirgesteente door het gewicht van die bovenliggende lagen samengedrukt. Dit samendrukken wordt compactie genoemd (samen persing). Hoe verder de inwendige gasdruk daalt, hoe groter de compactie wordt. Die hangt af van de poreusheid van het gesteente en de dikte van de laag. Onder de gemeente Loppersum (incl. Ten Boer, Zeerijp en Westeremden het gebied met de meeste en sterkste bevingen) is de grootste laagdikte en grootste poreusheid gemeten. Bij samenpersen voorbij de weerstand van de elastische compactie, zal de zandsteenlaag plotseling instorten, ongeveer zoals een beschuit plotseling bezwijkt onder te grote druk van een vlakke hand.



Figuur 1-27. Gasdrukgrafiek van 1963-2019.
Hier wordt per meetpunt (grijze of groene dot) de locatie aangegeven. [58]
Bron NAM

In augustus 2015 werden uit de 3 km diepe gas houdende zandsteenlaag gesteentemonsters genomen. Deze monsters hebben elk een lengte van 30 m met een totale lengte van 180 meter. Het boren naar deze kernen gebeurt met een boortoren en een holle boorkop, vergelijkbaar met de werking van een “appelboor”. Deze kernen werden geanalyseerd op hun mogelijke compactie.

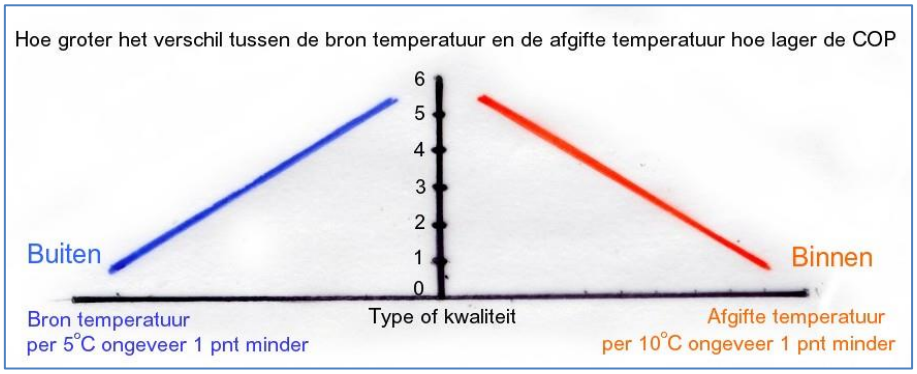
[55] Zie aanwijzing RIVM: https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2017-0128.pdf
[56] Zie: https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/circulaire-economie/circulair-bouwen
[57] Veel gebouwen in Nederland bestaan als sinds de 17de eeuw en zijn dus >300 jaar oud en nog steeds in gebruik omdat ze goed gebouwd waren met ruime maatvoering zodat deze gebouwen ook voor ander functies gebruikt konden worden. Dit is niet het geval met jaren ’60 of ’70 rijtjeswoningen (materiaalvernietiging).
[58] zie: https://www.nam.nl/feiten-en-cijfers/gasdruk#iframe=L2VtYmVkL2NvbXBvbmVudC8_aWQ9Z2FzZHJ1aw



Figuren 1-28. Mechaniek van compactie.
<u>Links.</u> Om een vergelijking te maken kan je beschuiten onder twee massa's zwaarder belasten. Een verlaging van druk in het zandsteen komt overeen met een grotere belasting van boven. Bij extra druk worden de beschuiten verkruimeld en iets samengedrukt.
<u>Rechts</u>. Impressie van de korrelstructuur in de zandlaag die samendrukbaar is. Door de kernen in een laboratorium samen te persen zoals dat in de zandstee laag gebeurt, krijgt men een indruk van de elasticiteit van de zandsteenlaag en bij welke druk deze verkruimeld. De NAM heeft in 2015 een aantal bodemmonsters uit 3 km diep gehaald om deze te kunnen testen[59].

COP Coëfficiënt van Performance

Warmtepompen zijn een methode om woningen te verduurzamen en te verwarmen zonder een aardgas CV. De installaties hebben rendementsaanduiding met COP. De COP van een warmtepomp is afhankelijk van de brontemperatuur en van de stooktemperatuur of de warmteafgifte temperatuur van het apparaat. De **S**COP is het gemiddelde over het **S**eizoen. Als de brontemperatuur niet constant is, bijvoorbeeld bij een veranderende buitenlucht temperatuur, is de COP dat ook niet. De brontemperatuur bij diepe grondsystemen is vrij constant. Als de temperatuur voor de afgifte (water-radiatoren met 35°C of lucht-ventilatoren met 25°C) kan veranderen, dan verandert de COP ook.



Figuur 1-29. De COP en SCOP-waarden.
Deze zullen veranderen bij een andere bron of afgifte temperatuur. Opgave van producenten moet aangeven op welke basis de COP is berekend.

Warmtepompen worden speciaal vermeld vanwege het verduurzamen van de woning. In Hoofdstuk 12 is er een kleine sector aan gewijd, omdat dit voor veel woningeigenaren in 2015 nog een vrij nieuw terrein was. Het is een samenvatting van wat er op het Internet te vinden is.[60]

Veel producenten van warmtepompen geven een COP-waarde op bij +7° buitenlucht temperatuur en een watertemperatuur voor de radiatoren or LTV (Laag Temperatuur Verwarming) van 35°. Die COP-

[59] *Zie: https://www.nam.nl/nieuws/2015/gesteentemonsters-van-3-kilometer-diepte-uit-groningen-gasveld.html*
[60] De technologie ontwikkelt zich snel en nieuwe producten komen op de markt. Meer uitgebreide informatie over warmtepompen op de eerste pagina van www.nienhuys.info

waarde daalt dan sterk bij een buitenlucht temperatuur van -2°C met ongeveer 2 punten[61]. In 2020, gegeven het aantal graaddagen, zal een warmtepomp met een COP van slechts 2,7 ongeveer evenveel energie verbruiken (aardgas kostenberekening versus elektriciteitskosten berekening) als een HR107-CV ketel. Om van het gas af te gaan zou een warmtepomp minimaal een

Cultureel erfgoed (Heritage)

De provincie Groningen kent veel cultureel erfgoed in de vorm van oude boerderijen, herenhuizen, kerken, rentenierswoningen, karakteristieke gebouwen, windmolens en industriële gebouwen. Het behoud van die gebouwen is een belangrijk onderdeel van de menselijke identiteit, geschiedenis, belevenis en trots. De seismische versterking van deze gebouwen is ingewikkeld wanneer met aan de buitenkant van het gebouw niets zichtbaars mag veranderen. Bij sommige gebouwen zijn ook wijzigingen aan de binnenzijde niet wenselijk. Veel van deze gebouwen zijn gebouwd vóórdat er betere bouwnormen werden toegepast en hebben seismisch een zwakke constructie. Het seismisch versterken vereist dan uitwendige en inwendige constructieve versterkingen zoals portalen en vloer diafragma's, waarna het interieur dan hersteld moet worden.

Figuren 1-30. Cultureel erfgoed in Groningen.
De bepaling van wat cultureel erfgoed is en wat niet, en tot welk niveau deze gebouwen een speciale conserverende behandeling moeten krijgen hangt gedeeltelijk af van de betrokken gebouw eigenaren, ambtenaren en instituten die met historie en architectuur te maken hebben.

In het hoofdstuk 3 komen de schoorstenen ter sprake die op vrij eenvoudige wijze vervangen kunnen worden door lichtgewicht imitaties (en inwendig verwijderd), waardoor de dak- en gebouwbelasting aanzienlijk minder wordt en daardoor het gebouw relatief sterker, zonder dat er een valrisico bestaat. De funderingen van deze oude gebouwen zijn vaak 'op staal' en in het verloop van tijd aan zettingen onderhevig, die verergerd kunnen worden door de aardbevingen. Voor het conserveren van deze gebouwen is dan een verbetering van de hele fundering noodzakelijk, waarover in hoofdstuk 4 meer details worden gegeven. In het hoofdstuk 5 wordt de *Base-isolation* methode uitgebreid toegelicht, die echter voor laagbouw een hele dure methode is, tenzij men een voor Groningen een geschikt model lokaal produceert (voorstel in hoofdstuk 5). De hoge kosten van de dubbele, sterkere fundering en geïmporteerde systemen maken het een extra dure operatie.

CVW, Centrum Veilig Wonen

Nadat de NAM tot 2014 de schade afhandeling had gedaan werd in 2015 het Centrum Veilig Wonen in Appingedam opgericht, om het hele proces van schademelding, inspectie, rapportage, beoordeling en begeleiding van de uitvoering van het herstel op afstand van de NAM te zetten[62].

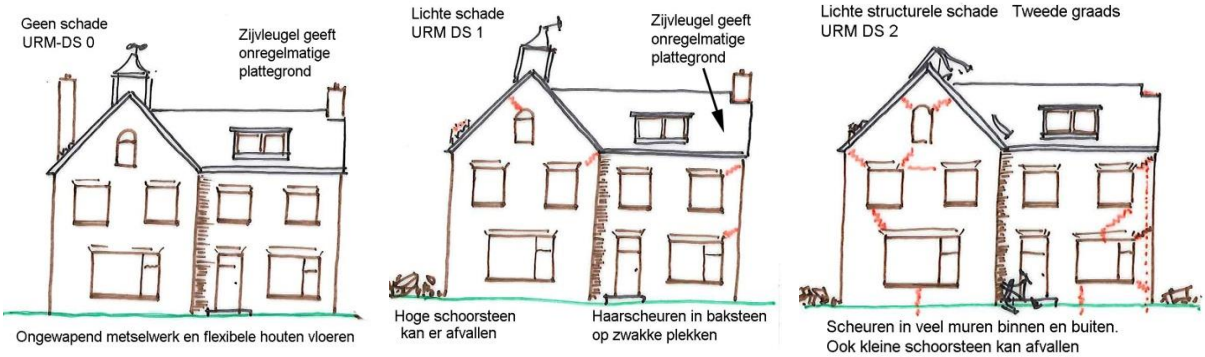
[61] Bij de opgave van de COP moet de minimumtemperatuur gegeven zijn. Bij een hoge temperatuur wordt de COP hoger. Om warmtepompen te vergelijken moeten de COP's of de SCOP's op dezelfde wijze bepaald zijn.
[62] De methodologie van schade identificatie en goedkeuring bleef grotendeels hetzelfde en werd uitgevoerd onder indirecte regie van de NAM die de rekeningen moest betalen. Het CVW had een winstoogmerk.

Het CVW verzorgde ruim 75.000 afgehandelde schadedossiers, 12.000 uitgevoerde inspecties en opnames, 5.000 aangeleverde versterkingsadviezen, 950 versterkte huizen, 3.000 veiliger gemaakte woningen (en een veelvoud daarvan door het verwijderen van schoorstenen), 200 tijdelijke woningen en legio scholen, dorpshuizen, kerken en andere gebouwen. (Bron: website CVW). Het CVW verzorgde de tienduizenden inspecties en beoordelingen op dezelfde basis als voorheen de NAM. Een van de problemen was dat de NAM, en daarna ook de CVW, de funderingsschade niet erkende door de aardbevingen. Per 31 december 2019 stopte het CVW.

De Nationaal Coördinator Groningen (NCG), is daarna de uitvoeringsorganisatie in de provincie van de aardbevingsschade en behandeling. Een deel van ongeveer 140 ervaren medewerkers van de CVW stapte ook over naar de NCG. Later werd het IMG opgericht, waarbij het NCG de versterkingen deed en het IMG de schademeldingen en afhandeling.

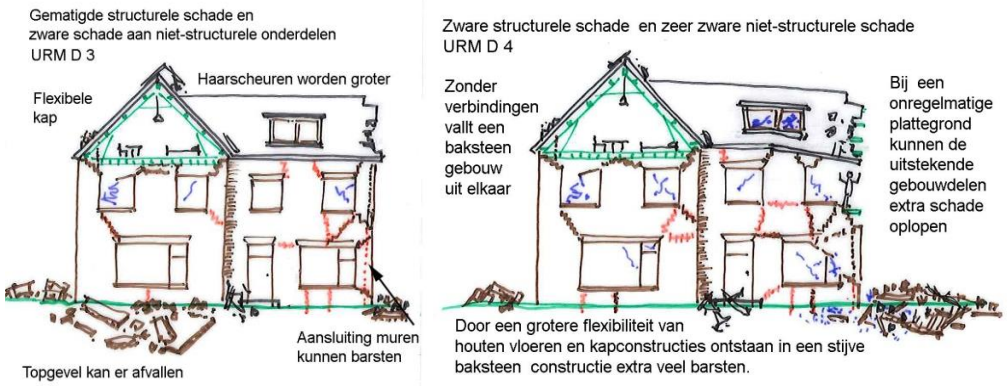
Damage State (schade niveau).

De *Damage State* is de mate van schade aan een gebouw[63].
De volgende waarden worden internationaal (Amerikaanse FEMA code) gedefinieerd:
DS0. *Damage State* 0: Geen schade (*ND = No Damage*),
DS1. *Damage State 1*: Niet structureel. Gebouw kan bewoond blijven (*IO = Immediate Occupation*);
DS2. *Damage State* 2. Lichte schade (*DL= Damage Limitation*). Draagkracht gebouw is niet in gevaar.
DS3. *Damage State 3*. Zware schade (*SD = Significant Damage*). Structureel loopt het gebouw groot gevaar bij een herhaling van de aardbeving. Er aanzienlijke structurele verbeteringen nodig zijn.
DS4. *Damage State* 4. Zeer zware schade, bijna ingestort (*NC = Near Collapse)*. *Ultimate Limit State.*
DS5. *Damage State* 5. Ingestort, verwoest*, (Collapsed*). Niet getekend.



Figuren 1-31. DS1, DS2 en DS3 in de NPR.
Hoofdzakelijk DS1 komt in de provincie Groningen voor, omdat er geen zwaardere aardbevingen zijn. De noodzakelijke seismische versterking volgens de NPR is om D4 (gedeeltelijke instorting) te voorkomen.

Figuren 1-32. Schade patronen DS3 en DS4. DS5, volledig ingestort is hier niet geschetst.



[63] Voor een uitgebreide verklaringen met beelden en foto's zie: https://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/0705.pdf en https://ec.europa.eu/echo/files/civil_protection/civil/act_prog_rep/peadab.pdf

DS5 wordt in de bovenstaande schetsen niet weergegeven want dat is grotendeels of geheel ingestort. De vijf *damage states* zijn opgesteld volgens de Amerikaanse HAZUS FEMA 2013 en de *European Seismological Commission* (EMS) 1998. De NPR9998:2015 behandelt slechts de eerste 3 DS omdat bij de hogere *Damage States* meestal het gebouw als economisch verloren wordt beschouwd.

De in de NPR9998 opgegeven PGAg is de maximale bevingswaarde <u>waarna DS4 het resultaat is.</u> Dat betekent dus niet dat het gebouw nog te repareren is of economisch te herstellen. De NPR gaat er dus van uit dat (gedeeltelijk) instorten van een gebouw voorkomen moet worden (seismisch versterken), want dan zouden er meer dodelijke slachtoffers kunnen vallen dan het (arbitrair) vastgestelde risico 10^{-5}. Dit is het 'veiligheidscriterium' dat is vastgelegd voor de nieuwbouw.

De interpretatie van deze schadesituaties en de NPR die het seismische versterkingsniveau tot DS4 aangeeft bij de maximale aardbeving (in epicentrum), leidt tot een begripsverschil tussen de ingenieurs die sinds 2015 met die NPR moesten rekenen, en **de bevolking die eigenlijk helemaal geen DS1 schade wil.**[64] Seismisch versterken heeft dus als doel dat het gebouw net niet instort bij de Mmax.

De opzet van de NPR-regelgeving is dat het gebouw bij de maximale PGAg voor het aangegeven gebied **Net Niet Instort** (*Near Collapse*), dus de DS4 status kan oplopen. Dat is dan ook nog uitgezonderd schoorstenen of topgevels die er afvallen (DS2). Als je zwakke woningen (ongelijke funderingen, grote ramen, smalle penanten, houten vloeren) wilt versterken zodat er bij een PGAg 0,05 geen scheurschade of zettingsschade meer wilt hebben, zullen er toch een flink aantal maatregelen nodig zijn. Die versterkingsmaatregelen ter voorkoming van scheuren zijn bij oude bakstenen woningen vaak uitgebreider zijn dan alleen seismisch versterken.

Wanneer je een gebouw zou versterken op basis van een PGAg 0,36 (maximale aardbeving versie NPR 2015), dan zou je bij een werkelijke aardbeving type Huizinge (PGAg 0,085), waarschijnlijk geen schade krijgen, want die versterkingswaarde is dan ongeveer 4X zo hoog. Bij brosse bakstenen gebouwen zal het echter erg moeilijk blijven om lichte scheurvorming in de bakstenen gevels te voorkomen.

Het "lichte versterken" ter voorkoming van schade bij een lage PGAg 0,05 of PGAg < 0,1 is dus niet noodzakelijkerwijs minder versterken ter voorkoming van instorten bij een PGAg 0,36. Het is meer slim versterken zodat fundering en muurherstel plaats vindt op een zodanige manier dat het niet opnieuw gaat scheuren.

Een recent probleem[65] voor de burger met woningschade ontstaat begin 2021, geïntroduceerd vanwege de duizenden VersterkingsAdviezen (VA's) die door ingenieursbureaus zijn opgesteld.
Deze VA's werden met de NLTHA-methode en op basis van oude en veel te hoge NPR-PGA-waarden doorgerekend[66]. De versterkingskosten volgens die VA's kunnen tonnen kosten voor gewone woningen en miljoenen euro's kosten voor monumenten. Wanneer de burger deze VA's accepteert op basis van een te hoge NPR-PGA, dan wordt de woning dus redelijk versterkt met een sterk verminderd risico op schade.

Wanneer de burger echter de woning opnieuw laat beoordelen tegen de laatste NPR9998:2020, zal geen versterking meer nodig zijn en kan die burger het bedrag van euro 30.000 zelf besteden. Bij lichte bevingen kunnen dan wel bestaande schades vergroot worden of cosmetisch gerepareerde muurdelen opnieuw barsten.

[64] Het grote conflict in de provincie Groningen, de bevolking wil schadevrij wonen, de NPR 'net niet instorten'.
[65] Vanwege de nieuwe regels die zijn opgesteld in de 'Bestuurlijke Afspraken Versterking Groningen' van 6 november 2020 met toezeggingen over kosten en vergoedingen.
[66] De VA's kunnen voor gewone woningen tot euro 20.000 kosten en hebben geen relatie meer met de laatste versies van de dreigingskaarten van de NPR; er gaat immers niets (meer) instorten.

Decibel en dB(A)

Bij het verduurzamen van de woning (van het gas af) is elektrisch verwarmen met een warmtepomp een goede optie. De (buiten)lucht – water (radiator) warmtepomp is vaak een goede optie. Daarvoor is een buitenunit nodig. Bij het kiezen van een lucht-water warmtepomp is de geluidsbelasting belangrijk en aan wettelijke grenzen gebonden. De maximale geluidsemissie van de buitenunit mag per 1 januari 2021 niet hoger zijn dan 40 dB, gemeten op de erfgrens of bij een open raam of deur in het eigen gebouw[67]. Echter de meetmethoden houden een marge van 5 dB aan voor de lage tonen (dringen verder door), dus de feitelijke geluidsmetingen moeten onder de 35 dB liggen[68].

Warmtepompen tot een vermogen van 6 kW (gemiddelde woning) hebben de volgende gemiddelde geluidsemissies:
Afstand op 2 m: 48 db(A tot 51 dB(A). Afstand op 5m: 41 db(A tot 44 dB(A).
Afstand op 10 m: 34 db(A tot 37 dB(A). Afstand op 15 m: 30 db(A tot 33 dB(A).
Geluid dat ≤ 30 dB(A) is voldoende laag om bij te kunnen slapen, ≥ 35 dB(A) is al slaap verstorend.

Figuur 1-33. De buitenventilator.
De ventilator en compressor produceren het meeste geluid.
Hoe groter de ventilator is hoe minder geluid. Voor de buitenunit "groter is beter". De compressor van de bodemwarmtepompen geven lawaai. De circulatiepomp van de PVT ook. Foto (www.destillewarmtepomp.nl)

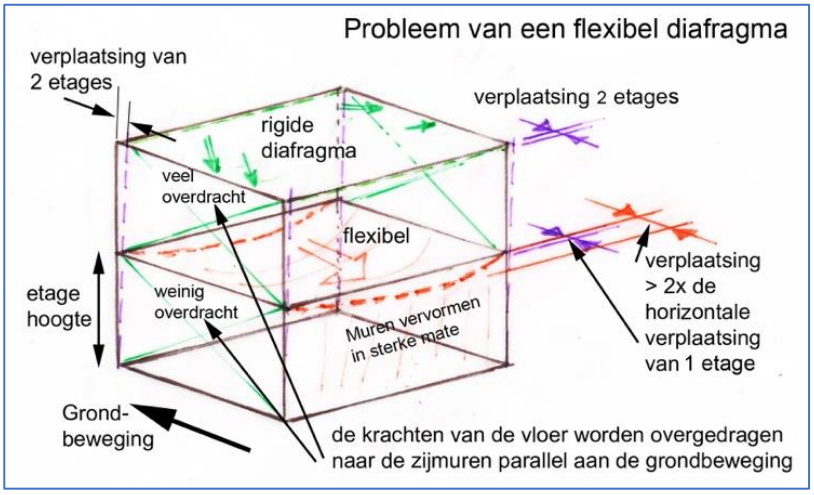
Een buitenunit van lucht-water warmtepomp kan bijvoorbeeld op een dakkapel staan, als deze geheel trillingvrij is opgesteld. Onder of vlak bij een slaapkamerraam is een slechte locatie voor de buitenunit. Muren of andere oppervlaktes van harde materialen (baksteen, hout, glas kunststof) weerkaatsen geluid, planten (klimop) weerkaatsen weinig geluid. Een te kleine warmtepomp die te hard moet werken produceert meer geluid dan een grotere. Sommige warmtepompen hebben een nachtmodus die minder geluid produceert. Een modulerende warmtepomp slaat niet aan en uit (lawaaierig, slijtage) maar draait hard en zacht naar behoefte. [69]

Diafragma *(Diaphragm)*

De term diafragma of vloerdiafragma (of horizontaal verbindende vloerplaat [70]) is het verbindende vloerelement in een gebouw dat alle dragende delen (binnenmuren en de binnenzijde van de spouwmuur of de steens buitenmuur) van een gebouw verbindt. De werking van het doorlopende vloerdiafragma zorgt ervoor dat de muren niet los kunnen komen van de vloeren. Het aanbrengen van een vloerdiafragma (verbeteren van de verbindingen van alle vloeren aan alle muren) is vooral belangrijk voor de eerste etagevloer; dit is bij lage woningen vaak de zoldervloer.
Bij een stijve gebouwplaat of horizontale schijf (diafragma) worden de muren niet loodrecht op hun vlak belast, maar worden de horizontale krachten van het gebouw en de vloer afgevoerd naar de zijmuren, die dan **in het vlak van die muren worden belast**, waar ze het sterkste zijn. Zie hoofdstuk 9.

---

[67] In verband met de recent verhoogde geluidsemissie eisen moeten sommige buitenunits aangepast worden. Er zijn verschillende omkastingen op de markt die een sterke geluiddemping hebben.
[68] Geluid wordt gemeten bij 1 kHz. Het menselijk oor is gevarieerd gevoelig voor verschillende toonhoogtes. Om die variatie mee te nemen wordt gemeten in dB (A) wat minder oor-gevoelig is voor lage en hoge tonen. Een verschil van 3 dB houdt een verdubbeling van de geluidsemissie in. De marge is dus vrij groot.
[69] Meer informatie over warmtepompen op eerste pagina van www.nienhuys.info
[70] Alleen de term vloerschijf is onvoldoende, want als deze los ligt werkt het niet als diafragma. De intensieve en sterke verbinding met alle draagmuren is essentieel bij het diafragma.



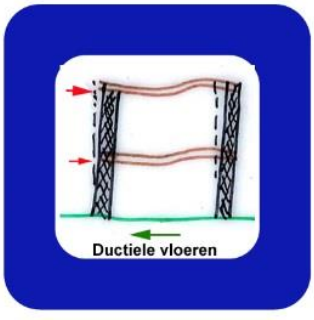
Figuur 1-34. Rigide diafragma. Dit zal maximaal de krachten overdragen. De aardbeving belasting gaat dan van de vloer naar de zijmuren die parallel aan de grond-beweging staan en in hun vlak sterk zijn. Een flexibel diafragma zal in zijn eigen vlak sterk vervormen en de voor- en achtermuur sterk belasten en vervormen (scheuren).

Een flexibel *(flexible)* diafragma is een (vloer) plaat of schijf die een horizontale vervorming over de lengte heeft die tweemaal zo groot is als de horizontale verplaatsing per verdieping hoogte (oranje). Een flexibel diafragma zal vervorming langs de randen toelaten, waardoor de aan het diafragma verbonden stijve muren kunnen barsten. Zie ook 'capaciteitsmode van ontwerp'.

Een rigide *(ridgid)* diafragma is een erg stijve (vloer) plaat of schijf die een horizontale vervorming over de lengte heeft die de hooguit de helft is van de horizontale verplaatsing per verdiepingshoogte (bijvoorbeeld een gewapend betonnen vloer). Deze vormkomt veel voor in betonnen systeembouw.

Een stijf (*stiff*) diafragma zit tussen een rigide en flexibel diafragma in (elementen met stijve en door-geschroefde beplating zoals multiplex). Van een situatie zonder diafragma of een flexibel diafragma (plankenvloer) kan met verstijvingslaten een stijf diafragma gemaakt worden dat grote vervormingen voorkomt.

In het verticale vlak mogen de vloeren niet stijver zijn dan de verbindingen met de dragende muren of kolommen. Als de vloeren of diafragma's wel stijver/sterker zijn dan de kolommen zal dit bij een aardbeving een verhoogde belasting op de kolommen opleveren, vlak onder en boven de stijve vloer, waar al reeds de maximum moment zone is (maximum momentpunt). Dit kan/zal een gevaar opleveren voor de kolommen bij een te grote belasting (bij Mmax). Bij het bezwijken van de muren of kolommen zal een gebouw instorten; bij het bezwijken van vloeren niet.

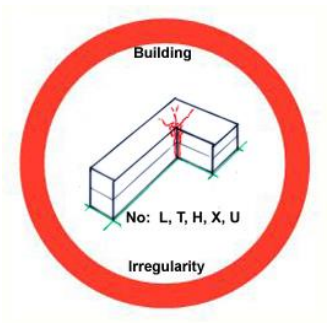


Figuren 1-35. Stijve vloeren, flexibele kolommen.
Links. Rood bord. Slecht ontwerp in aardbevingszone. Midden. De goede situatie met sterke kolommen (blauw).
Rechts. Bij het bezwijken van de kolommen stort het hele gebouw in.
De verkeersborden presentatie wordt gebruikt in het hoofdstuk 13. Basisregels voor seismisch resistent bouwen.

Dilatatie van gebouw

Gebouwen met een onregelmatige lange plattegrond of andere lange vleugels aan een gebouw moeten gedilateerd worden om ongewenst grote spanningen op die verbindingen bij aardbevingen te voorkomen. Gebouwen met L, T, H, X en U vormen moeten op deze aspecten gecontroleerd worden.

Figuren 1-36. Onregelmatige plattegrond.
Langwerpige gebouwen of gebouwen met zijvleugels.
Links. Het ronde rode bord geeft de verkeerde situatie aan.
Rechts. Heel veel gebouwen hebben scheuren met de aangebouwde delen. Dit zijn in een aardbevingsgebied bouwfouten.



Deze gebouwen met een onregelmatige plattegrond kunnen/zullen bij bevingen op de hoeken grote schades oplopen wanneer ze geen dilatatie hebben. Het dilateren van aanbouwen voorkomt schade. Gebrek aan dilataties tussen gebouwdelen veroorzaakte veel gebouwschade in de provincie Groningen.

Directe bezetting of gebruik

De Engelse term is*: (immediate occupancy, IO).*
Ofschoon kleine beschadigingen het woongenot en de woningwaarde aantasten betekent dat niet dat de gebouwsterkte verminderd is. Pas bij scheuren groter dan 2 mm moet er naar de integriteit van de constructie en de verbindingen gekeken worden. Lichte gebouwschade, zowel structureel als voor de niet-structurele onderdelen, kan optreden tijdens een kleine beving. Het resultaat is dan de laagste vorm van gebouw beschadiging (*Damage State 1, DS1).*

In een dergelijk geval zijn de verticale en horizontale sterkte en stijfheid van het gebouw nog intact. Bakstenen muren hebben dan hun treksterkte ter plaatse van de scheur verloren, maar deze zijn nooit op treksterkte berekend. Ofschoon kleine reparaties noodzakelijk zijn, kan het gebouw bewoond blijven (directe bezetting of gebruik). Echter, wanneer de reparaties slechts cosmetisch zijn, zullen deze bij een soortgelijke beving weer tevoorschijn komen.
Meer dan 98% van de gebouwen in de provincie Groningen valt in deze categorie en voor de bewoners bestaat er dan geen instortingsrisico[71].

Dat neemt niet weg dat bewoners nerveus zijn geworden bij officiële informatie over mogelijk nog veel grotere aardbevingen in de toekomst[72]. Bij gebouwen die al vóór de voelbare bevingen (PGAg 0,03 = < Richter 1,5) schade hadden, zal deze schade met andere en meerdere niet-voelbare en voor mensen voelbare bevingen vaak verergeren.

[71] Die 2% overige gebouwen hadden al reeds slechte funderingen, achterstallig onderhoud, zettingsschade of grote bouwfouten. Door deze gebouwen te stutten kan (gedeeltelijk) instortingsrisico voorkomen worden. Over het algemeen kan dus gesteld worden dat er geen algemeen veiligheidsrisico was in de provincie; dat wil zeggen 'veiligheidsrisico' volgens NPR. De Commissie Meijdam bepaalde een hoog risico standard van 10^{-5}. Ook met een wenselijk veiligheidsrisico van geïnduceerde aardbevingen van 10^{-6} was er nauwelijks risico.
[72] De beving van 16-08-2012 had een PGAg 0,085 met een sterkte van Richter 3,6. Tegelijkertijd werd in 2014 vermeld dat de bevingen konden oplopen tot PGAg 0,42 **(5X zo sterk)** of Richter 6 en hoger. Een probleem is dat de PGA-waarden niet evenredig zijn of gelijklopen met de Richter waarden. Omdat de KNMI bijna uitsluitende de Richter waarden vermeldde, maar de NPR alleen de PGA-waarde bleef het een onduidelijk.

Funderingen ‘op staal’ die op het evenwichtsprincipe zijn gebouwd kunnen al sinds 1980 door de lichte niet-voelbare trillingen zettingen ondervinden. Bij de voelbare bevingen (PGAg > 0,04 = > 2,4 Richter) zullen die zettingen en scheuren toenemen.[73]

De spreiding van de gasextractie en vermindering werd sinds 2014 toegepast. Echter, hoe verder de uitputting van de gasvoorraad en waardoor de inwendige druk in de zandsteenlaag lager wordt, hoe vaker plotselinge compactie ontstaat met beving. Door langzamer het gas te onttrekken kan zowel de frequentie, de sterkte en het aantal van de bevingen laag gehouden worden. Ofschoon mensen wel veilig in hun woningen kunnen blijven wonen, ook al zitten er scheuren in de bakstenen gevels, hebben veel bewoners angstgevoelens gekregen vanwege de exorbitante prognoses over toekomstige aardbevingen tussen 2015 en 2018, die ondertussen (2021) zijn bijgesteld.

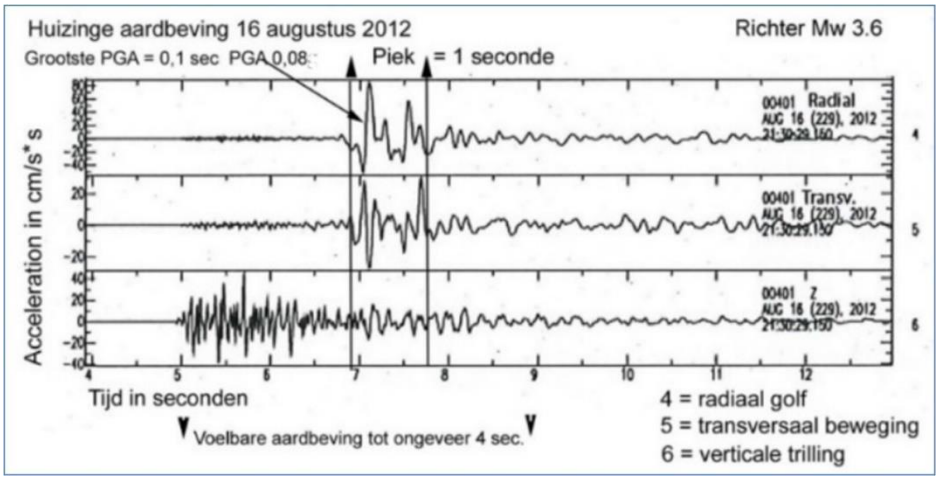
Figuren 1-37. Scheuren door kleine zettingen.
Bij funderingen ‘op staal’ en lopen deze scheuren door tot de ramen op de begane grond. Deze scheuren komen ook zonder aardbevingen veel voor. Deze scheuren kunnen wel verergerd worden door (aardbeving) trillingen.

Duur van een aardbeving

De duur van een aardbeving[74] wordt op veel verschillende manieren omschreven. Wat de mensen aan het aardoppervlak voelen is een subjectieve waarneming en afhankelijk of deze mensen zich al dan niet in rust bevinden, of zich laag of hoog in een gebouw bevinden, in combinatie met de elasticiteit van dat gebouw. Bij een hoog gebouw zal de constructie nog enige tijd horizontaal doorzwiepen, waardoor de mensen boven in dat gebouw de aardbeving langduriger voelen.

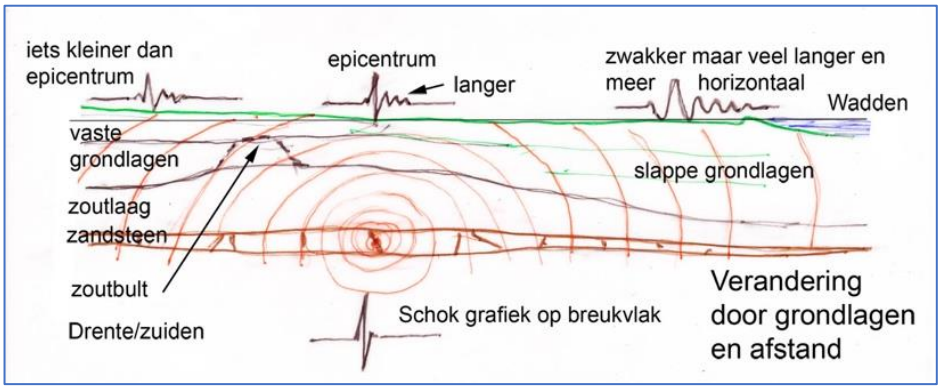
De duur van de aardbeving van 16 augustus 2012 te Huizinge start op seconde 5 (grafiek volgende pagina), maar het is niet vastgelegd wanneer deze eindigt. Voor mensen die alleen de horizontale beweging voelden zal deze misschien 1-5 seconden hebben geduurd afhankelijk van hun locatie en het na-schudden van het gebouw door de elasticiteit van dat gebouw.

[73] Bij scheurvorming in metselwerk zullen er kleine gruiskorrels in de scheur vallen, waardoor de scheur niet meer volledig dichtgedrukt kan worden. Elke volgende beving zal dit verergeren, reden waarom metselwerk scheuren altijd steeds breder worden.
[74] Voor een meer gedetailleerde uitleg zie: http://www.usgs.gov/faq/node/3359



Figuur 1-38. Drie beving metingen. Deze werden door een seismograaf gemaakt. Afhankelijk van de horizontale afstand tussen het epicentrum en het gebouw, in combinatie met de ondergrond, kan de duur van de aardbeving langer worden, maar wordt de intensiteit minder.

De ondergrond, vooral de bovenste 30 m, heeft een invloed op de sterkte en duur van de aardbeving. Ook de taaie zoutsteenlaag kan een invloed hebben. Gebouwen die op een terp staan kunnen een andere beweging ondergaan dan de gebouwen die buiten die terp staan.

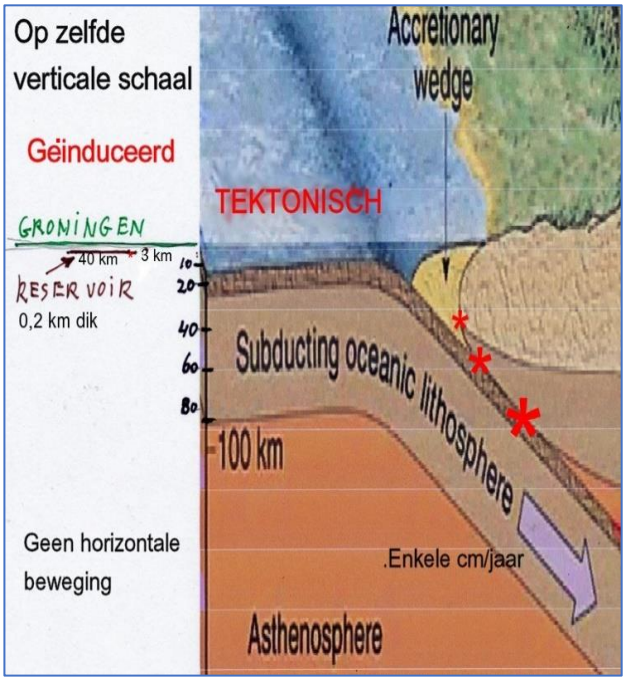


Figuur 1-39. Zoutbult kan schok beïnvloeden. Bij slappe grondlagen zal de na-trilling langer duren maar ook gedempt worden. Verder van het epicentrum verwijderd dan de diepte naar het hypocentrum (3km), zal de horizontale amplitude groter zijn dan de verticale.

Bij de Groningse geïnduceerde aardbevingen is de tijdsduur van de trillingen in het hypocentrum erg kort (0,1 - 0,3 sec.) in vergelijking met tektonische aardbevingen (tientallen seconden tot minuten). Dit komt door de geringe dikte van de zandsteenlaag (< 200m), en de kleine verticale(< 1 cm) verplaatsing in vergelijking met tektonische aardbevingen[75]. Bij tektonische aardbevingen kan dat decimeters zijn en kunnen vooral de horizontale verplaatsingen en bewegingen groot zijn. Bij tektonische bevingen is er meestal een permanente horizontale verplaatsing; bij de Groningse bevingen is er geen.

In Nepal, Kathmandu aardbeving (25-04-2015, Mw 7,9 en 15 km diep), was er tot 30 cm horizontale verplaatsing. Vanwege het grond- en gebouweffect (natrillen) voelden sommige mensen de beving in Huizinge wel gedurende 10 seconden. De grafiek *Figuur 1-38* geeft maar netto sec. 5 tot sec. 8 = 3 seconden aan. Daarna wordt alleen het natrillen van het gebouw gevoeld.

[75] Bij de Groningse aardbevingen zijn er geen of nauwelijks horizontale verplaatsingen t.g.v. de compactie.



Figuur 1-40. Grote verschillen met tektonisch.

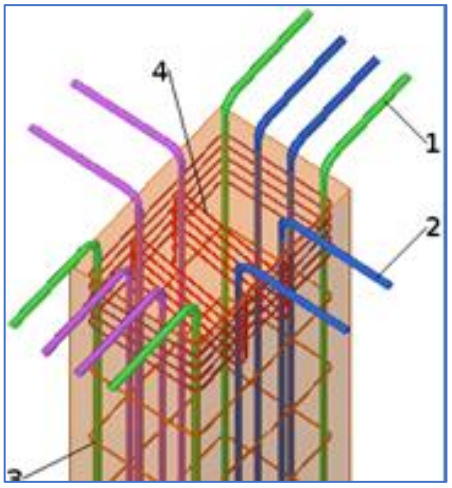
*De grafiek is op **gelijke schaal ingetekend.***
Bij tektonische bevingen verschuift de tektonische aardplaat plotseling voor decimeters schuin naar beneden en/of de andere naar boven.
Bij geïnduceerde bevingen is er slechts een compactie van misschien een paar cm.

*De Mw of Richter-waarden tussen tektonische en geïnduceerde aardbevingen zijn daarom **niet met elkaar te vergelijken.***
Slechts de PGA-waarden zijn bepalend voor de gebouwbelasting, vandaar dat de NPR alleen de PGA-waarden en berekening aangeeft.

Ductiel of Taai

Ductiel is de capaciteit van een materiaal of gebouw om herhaalde en niet-omkeerbare niet-elastische vervormingen te doorstaan, maar tegelijkertijd een zeer groot gedeelte van de maximale draagdracht of weerstand te behouden. Het meest bekende materiaal is metaal dat voorbij de elastische grens zelfs een hogere trekkracht kan weerstaan. Zie *Figuur 7*, trekdiagram van staal.

Door de niet-elastische vervorming zal een groot gedeelte van de aardbevingsbelasting geabsorbeerd worden. Bij gewapend betonconstructies is het belangrijk dat de combinatie tussen de treksterkte van het staal en de druksterkte van het gebroken beton zo lang mogelijk behouden blijft.



Figuren 1-41. Ductiele kolommen parkeergarage.
De aardbevingsbelasting op deze kolommen was veel hoger dan de berekende sterkte. (Internetfoto).
<u>Rechts.</u> Ductiliteit wordt gerealiseerd door zowel het materiaal dat gebruikt wordt (buigbaar staal), als de manier waarop de wapening in de maximale momentzones een korf vormt, waardoor het beton binnen de korf blijft en het gebroken beton niet haar drukfunctie verliest.

Het ontwerpen van gebouwen in tektonische aardbevingsgebieden blijft onbekende risico's inhouden. Door de constructies ductiel te ontwerpen bestaat de mogelijkheid dat bij te zware (dan het ontwerp) of herhaalde schokken en bezwijken er geen totale instorting plaatsvindt.

De korfconstructie houdt het gebroken beton op haar plaats zodat het nog wel druk kan opnemen. Door het ductiele ontwerp wordt een groot gedeelte van de schok door de vervorming geabsorbeerd.

Baksteen is een bros of niet-ductiel materiaal en zal bij overbelasting barsten. Vooral bij de plotselinge korte klap van de Groningse aardbevingen is dat het geval, maar dat heeft bij scheuren < 2 mm geen constructieve consequenties. Om dit soort schade toch te voorkomen is eigenlijk alleen *Base-isolation* een optie of overmatig versterken (tegen een veel te hoge PGA. Als optie kan een licht beschadigde de baksteen muur geïsoleerd worden en opnieuw bekleed met een iets flexibel materiaal zoals hout of gelijmde steen-strips.

Figuur 1-42. Steenstrips in vele kleuren.
Ook handvorm steen-strips kunnen worden uitgevoerd en op isolatieplaten gelijmd. Omdat de XPS isolatieplaten iets flexibel zijn, en de steen-strips met een iets flexibele componentlijm te voegen, kan de dragende constructie iets bewegen zonder dat dit in de buitengevel zichtbaar wordt. Op deze manier wordt het gebouw scheurvrij en geïsoleerd.

Duurzaam Bouwen (Circulair Bouwen)

Bij de noodzaak voor (licht) bouwkundig seismisch versterken van slechte kwaliteit naoorlogse woningbouw wordt soms sloop en nieuwbouw als enig economisch alternatief gezien. De combinatie van seismisch versterken én goed isoleren volgens de bouwnormen, gaan samen méér kosten dan 150% van de marktwaarde van een geïsoleerde nieuwbouwwoning. Voor een duurzame bouw heeft echter het opwaarderen van de woning de voorkeur, waarbij soms een kleine uitbreiding gewenst is om de woning aan de eisen van de tijd aan te passen. Dit kan nodig zijn wanneer de binnenruimte kleiner wordt door binnenzijdige muurisolatie. Oude woningwetwoningen hebben vaak erg kleine badkamers of smalle trappen.

Figuren 1-43. Aanpassingen bij duurzame renovatie.
<u>Links</u>. Bij deze rijtjeswoningen werd een prefab badkamer uitbreiding op de eerste etage aangebracht.
<u>Rechts.</u> Door de combinatie van een gevelversterking (metalen portaal) en een uitbreiding kan tegelijkertijd meer ruimte gecreëerd worden, betere isolatie en een andere architectuur.

De reden dat vaak aan sloop en nieuwbouw wordt gedacht heeft vier oorzaken:

(1) De bouwtechnologie en de woonnormen waarin het gebouw destijds werd opgetrokken is achterhaald. Vooral bij slechte funderingen worden de herstelkosten hoog.

(2) De hoge arbeidskosten die tegenwoordig nog steeds gepaard gaan met het recyclen van de uit de sloop voortkomende materialen maken goede recycling duur. De industrie moet op dit terrein beter ontwikkeld worden, hetgeen kan wanneer er regionaal veel sloop aanwezig is.
(3) De CO_2-uitstoot en energiekosten van nieuwbouw zijn laag omdat de **lange termijn milieukosten niet worden doorberekend** bij de productie van nieuwe materialen**.**
(4) Over het algemeen zijn in 2015 de energiekosten voor het verwarmen van de woning laag, onder andere vanwege de grote gasvoorraad van Nederland. Bij minder aardgas en daarmee hogere energiekosten kan renovatie goedkoper worden.

Ter vermindering van CO_2 uitstoot, ruim bouwmateriaalgebruik en niet-recyclebaar bouwafval, zal bij elke verbouw, sloop en nieuwbouwproject de constructie zo ontworpen moeten worden dat per 2050 (doelstelling van de Nederlandse overheid) bij elke wijziging van het gebouw of uiteindelijke sloop tenminste 50% van de materialen hergebruikt kunnen worden en recyclet. **De bouwwereld verbruikt in 2020 ongeveer 40% van alle gebruikte materialen en energie.** In een circulaire economie is voor bewoning en gebruik een minimale hoeveelheid energie nodig[76]. In 2030 zou het recycle percentage al veel hoger moeten liggen. Zie ook 'Ladder van Lansink'.

Figuur 1-44. Renoveren geeft veel afval.
Bij jaren '30 woning gaat het gaat gauw over een tiental containers bouwafval met bakstenen, gipsblokken, plafonds, sanitair, vloerbekleding, kasten en deuren, keukens, tegels, elektra, glas en kozijnen.
Bij de afbouw nog eens 5 containers met resten hout, beplating, isolatiemateriaal en verpakkingsmaterialen.

Circulair bouwen is een economie van gesloten kringloop waarbij materiaalbehoud voorop staat[77].

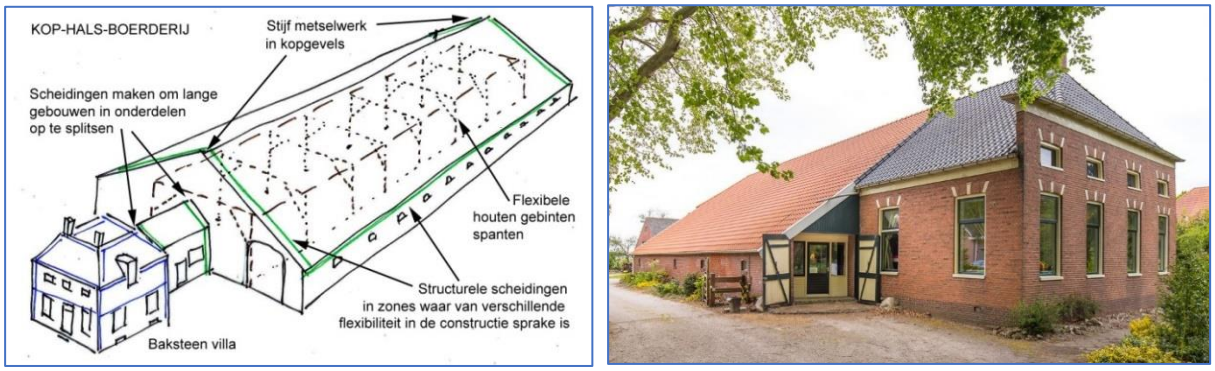
a. Gebruikte materialen behouden bij circulair nog veel van hun waarde, ook na de sloop van het gebouw. Een gebouw moet daarom zo ontworpen worden dat het bij veranderende sociale behoeften ook anders kan worden gebruikt. Optimale mogelijkheid van hergebruik van materialen na sloop via *re-use*, reparatie, re-fabricage (*recycling*).
b. Er wordt duurzame energie gebruikt. Trias Energetica is relevant.
c. Natuurlijke ecosystemen zó houden, dat ze hun veerkracht kunnen behouden.

Het bovenstaande betekent dat in de hele keten van opdrachtgever, via bouwvakker en gebruiker, rekening met elkaar gehouden moet worden. De ontwerper moet rekening houden met de wenselijke levensduur van de bouwonderdelen: Draagstructuur (heel lang >> 200 jaar), inbouw (lang, > 70 jaar), technische installaties (25 - 30 jaar) en interieur (> 15 jaar). Montage en demontage moet eenvoudig zijn, terwijl fabrieken de elementen zo moeten produceren dat ze makkelijk hergebruikt en recyclet kunnen worden[78]. Een Cv-ketel of warmtepomp kan makkelijk 30 jaar meegaan als het ontwerp voldoende modulair is en alleen een brander, warmtewisselaar of pomp vervangen kan worden.
Meer opmerkingen over Duurzaam of Circulair bouwen in Hoofdstuk 12.

Dynamisch onafhankelijke eenheid

[76] Voor een brede inleiding over duurzaam bouwen zie: www.duurzaambouweninleiding.nl en boekje van Jos Lichtenberg. https://www.boomhogeronderwijs.nl/product/100-8536_Duurzaam-bouwen
[77] Zie uitgebreid: https://www.usi.nl/uploads/media/576ba76512515/bundeling-resultaten-circular-economy-labs.pdf
[78] Isolatiematerialen zoals steenwol kunnen heel goed recyclet worden, maar PUR bijvoorbeeld helemaal niet.

{Eurocode 8: 1.4.2.10} Dynamische onafhankelijkheid is een dure term voor een gedilateerde constructie. Het deel van een bouwconstructie dat rechtstreeks wordt onderworpen aan de grondbeweging en waarvan het responsgedrag niet beïnvloed wordt door het (respons)gedrag van aangrenzende eenheden of bouwconstructies. Gebouwen met een sterk onregelmatige plattegrond dienen gedilateerd te worden en elk deel van dat gebouw moet dan als afzonderlijke eenheid berekend. Ongelijke gebouwdelen (hoog en laag), of gebouwdelen met ongelijke stijfheden moeten in een aardbeving onafhankelijk van elkaar kunnen bewegen. Dit is zo omdat de hoogte van een gebouw invloed heeft op de trillingsfrequentie van dat gebouwdeel.



Figuren 1-45. Gebouwdelen dilateren. Ze moeten zelfstandig, onafhankelijk van elkaar kunnen bewegen.
<u>Links</u>: Een kop-hals-romp boerderij moet opgesplitst worden, door in drie delen te dilateren. Het woonhuis, het tussenstuk en de schuur, hebben elk een eigen dynamische onafhankelijkheid. Op deze manier wordt schade tussen de gebouwonderdelen voorkomen. Zo kunnen de verschillende delen met hun verschillende stijfheden als onafhankelijke eenheden berekend worden en elk op hun eigen manier versterkt.
<u>Rechts:</u> De aan elkaar gebouwde kop-romp boerderij moet ook achter de kop van de meer flexibele schuur worden losgekoppeld om schade aan beide gebouwen te voorkomen.

Het (oude) bakstenen woonhuis heeft een andersoortige hoogte, massa, stijfheid en gebruiksfunctie dan de grote schuur met houten gebinten. De gebintenschuur is meer flexibel en zal daardoor anders bewegen dan het kopgebouw tijdens een aardbeving. Het oude woonhuis kan dan als monument op *Base-isolation* gezet worden, of het moet aanzienlijk versterkt worden bij een PGAg > 0,1.

Meer informatie over dit onderwerp in Hoofdstuk 2 Gebouwvorm.

Eigen Gebrek

Juridische term die aangeeft dat de grondoorzaak van een schade aan een gebouw niet direct een externe oorzaak heeft zoals een aardbeving, doch hoofdzakelijk te wijten is aan de handelingen of gebrek aan handelingen door gebouweigenaar. Als bijvoorbeeld de trekverbindingen in de dakspanten zijn doorgezaagd (ruimte maken voor hoge voertuigen), krijgen de muren extra druk van de kapsporen (regelmatig tegengekomen). Bij een aardbeving kunnen dan de buitenmuren weggedrukt worden en bezwijken. De primaire oorzaak van het instorten is dan het doorzagen van de spanten en niet de aardbeving[79]. De gebouweigenaar kan stellen dat de opgelopen schade niet was veroorzaakt als er geen aardbeving was geweest. Deze argumentatie kan leiden tot arbitrage.

Een gebouw dat vóór 1980 werd opgericht voldoet niet meer aan de huidige bouwnorm, maar voldeed waarschijnlijk wel aan de toen geldende norm, of aan de bouwtechnische gebruiken in die tijd. Gebouwen van voor 1902 voldeden slechts aan de plaatselijke bouwgewoonten.
De bouwregelgeving verplicht de eigenaar niet om het gebouw elke keer te versterken volgens de laatste bouwnorm.

[79] Over dit thema zijn de meeste conflicten en contra-expertise schaderapporten ontstaan. Lichte bevingen brachten niet alleen verzakkingen maar ook oude bouwfouten aan het licht.

Als dan vanwege die oudere bouwnorm bij een zware storm een schade optreedt, zal dat door een verzekeringsmaatschappij niet beschouwd worden als eigen gebrek. Wanneer een schaderapport dat wel als eigen gebrek definieert is dat aanleiding voor arbitrage.

Figuur 1-46. Verwijdering van trekstangen.
Bij deze schuur ombouw tot garage heeft de aannemer de trekstangen van de spanten verwijderd om binnen meer ruimte te maken (eigen bouwfout). De dak belasting en de boog drukken de zijmuren naar buiten waardoor de boog splijt en doorzakt. Als de boog onder spanning staat kan een extra trilling van een aardbeving een scheur veroorzaken. Hier loopt de scheur door via het raampje.
De primaire oorzaak van de scheur is dan wel de bouwfout (eigen gebrek).

In rijtjes- of doorzonwoningen hebben de voor- en achtergevel op de begane grond hoofdzakelijk ramen en geen sterkte tegen afschuiving in het vlak van die lange gevel. Iemand die in dergelijke rijtjeswoning een korte binnendraagmuur tussen woonkamer en keuken heeft weggehaald om een **open keuken** te maken, verzwakt daarmee de horizontale lengteweerstand van het gehele bouwblok. Zonder aardbeving zal het gebouw wel blijven staan, maar een aardschok in de lengterichting van het bouwblok kan dan aanzienlijke scheuren opleveren; zelfs instortingsrisico van de hele rij woningen.

De juridische vraag is of een woning met 'eigen gebrek' door de veroorzaker van de aardbeving (de NAM) gerepareerd moet worden of dat het eigen schuld is van de woningeigenaar. In principe had Bouw en Woningtoezicht (BoWoTo) die interne verbouwing en verandering aan de draagconstructie van het gebouw niet mogen toestaan[80].

Figuur 1-47. Bouwvormen en aardbevingsschade.
<u>Links:</u> Indien de vloer-muur verbindingen van de etage vloeren niet momentsterk genoeg zijn om een aardbeving belasting in de lengterichting van het bouwblok op te kunnen nemen, en er zijn geen binnen dwarsmuren worden gemaakt die belastingen kunnen opnemen, kan het hele blokblok als een kaartenhuis instorten.
<u>Midden:</u> Binnen dwarsmuur van een woning na de aardbeving van 1992 te Roermond. De X scheurvorming is typisch van een in het vlak van de muur overbelasting (afschuiving). <u>Rechts</u>, woning na aardbeving in Italië.

Gedurende de bouwinspecties na aardbevingen wordt regelmatig 'eigen gebrek' geconstateerd. Het is ook niet eenvoudig om precies aan te geven of een verzakking of scheurvorming t.g.v. een eigen gebrek is. In sommige situaties zijn de eerste (oudere) scheuren het gevolg van zettingen die op zich een groot aantal verschillende oorzaken kunnen hebben. Die kunnen door de lichte trillingen zijn ontstaan.

[80] De praktijk is echter dat BoWoTo meestal niet tot dergelijke maatregelen overgaat, soms omdat verbouwingen niet altijd gemeld worden en soms omdat er niet de administratieve capaciteit voor bestaat. Bovendien had BoWoTo nooit rekening hoeven te houden met mogelijke aardbevingen.

Bijvoorbeeld: Een aanbouw die jaren na het hoofdgebouw is aangelegd, kan een andersoortige fundering hebben dan onder het hoofdgebouw, omdat deze moet voldoen aan nieuwe bouwvoorschriften. Beide funderingen zijn dan volgens het toen geldende bouwvoorschrift aangelegd. Door verzakking, verkeerstrillingen of een aardbeving, zal er een scheur optreden tussen het oude en nieuwe gedeelte. Alle bouwkundigen weten dat nieuwe funderingen 'op staal' iets zullen gaan zetten, en er dus spanningen in het metselwerk en scheuren zullen ontstaan. Haarscheuren langs de aansluiting zijn in dit geval normaal. De bouwtechnische oplossing om dat te voorkomen is een dilatatievoeg tussen het oudere hoofdgebouw en de aanbouw. Echter, als BoWoTo de tekeningen en de uitvoering niet heeft gecontroleerd, maar gezien of geaccepteerd, wordt het niet als eigen gebrek genomen (1C in de tabel).

In de beoordelingen van bevingsschade waren volgens de NAM verschillende opties mogelijk:

Gebrek	Type	Beschrijving	Verantwoordelijkheid
Ondeugdelijke (ver)bouw	1A	Slecht uitgevoerde (ver)bouw in vergelijking met andere panden in dezelfde omgeving in dezelfde tijd gebouwd.	Eigen gebrek – voor rekening van de gebouweigenaar.
	1B	Deugdelijk onderhouden pand, gebouwd volgens de bij de destijds (ver)bouw geldende voorschriften en gebruiken, maar moet thans als ondeugdelijk worden aangemerkt door de voortschrijding van de kwaliteit van de bouwvoorschriften.	Geen eigen gebrek.
	1C	Verbouw of aanbouw zonder goedkeuring van Bouw en Woning Toezicht, maar door BoWoTo niet aangeschreven om te wijzigen of te slopen en meer dan 20 jaar bestaand. (Verjaard).	Geen eigen gebrek. Ook indien de verbouw of aanbouw ondeugdelijk is.
Gebouw in slechte staat (bouwval)	2	Constructieve gebreken van een gebouw, of de toestand van een perceel, van dien aard dat door de overheid op grond van de Woningwet herstel zou worden gelast.	Eigen gebrek – voor rekening van de eigenaar van het gebouw

Objectief gezien zijn de basisoorzaken van veel schades in de eerste plaats het gevolg van oude bouwvoorschriften (1B) en vervolgens door 'eigen gebrek'. Die zwakheden zijn dan aan het licht gekomen door de aardbevingen. Bij gerede twijfel kan er een tweede aardbevingsdeskundige geraadpleegd worden en kan eventueel een aanvullend bouwkundig en funderingsonderzoek noodzakelijk zijn. Sonderingen zijn ook mogelijk.

Figuren 1-48. Woning in de stutten, vooraanzicht.
<u>Rechts</u>. Vooraanzicht van links. De grote beschadiging boven de dubbel deur in het midden, duidt op een constructief probleem dat te maken heeft met de hoge ramen, smalle penanten tussen de raamkozijnen, de verdeling van de binnenmuren, en met het gebrek aan doorlopend verbindend diafragma onder het dak. Dit zijn bouwkundige aspecten van vóór 1920 en hebben niets te maken met eigen gebrek, want zo werd er destijds gebouwd. Om dit gebouw te versterken zijn ingrijpende maatregelen noodzakelijk.

Het grootste probleem voor de woningeigenaren was dat er geen financieringsstructuur was opgezet voor herstel van eigen gebrek of verduurzaming (isoleren, energie genereren) van de woning. Hierdoor bleven veel gebouwen in de stutten en de steigers staan. De beelden van de stutten werden in de pers en andere media veelvuldig gebruikt als negatieve beeldvorming.

In plaats van een lange termijn financieringsregeling te treffen, richtte de NAM een werkgroep stutten op, om te zorgen dat de stutten sneller verdwenen en daarmee de negatieve publiciteit.

Elasticiteit (of veerkracht)

Elk materiaal heeft een bepaalde elasticiteit die wordt uitgedrukt door de elasticiteits-module of de Young module (binnen de elastische zone). Wanneer de maximale elasticiteit van een materiaal wordt overschreden zal blijvende vervorming optreden. Zie *Figuur 7.* In het trekdiagram van staal is de elastische grens 200 N/mm^2 en de lage elasticiteitsmodulus van 220 Pa.

Baksteen (hardgrauw) heeft een hoge elasticiteitsmodulus van ongeveer 4 - 8 GPa (gigapascal), en rode metselbaksteen van 1-7 GPa. Baksteen kan dan ook erg weinig elastische vervorming aan; bij een iets te grote vervorming zal het daarom barsten of breken. Bij een bakstenen gebouw dat al onder spanning staat vanwege reguliere zetting onder het gebouw, zal door een korte klap van een aardbeving een barst in het metselwerk krijgen. Dit is de reden waarom er zoveel nieuwe scheuren in het Groningse aardbevingsgebied voorkwamen; door oude zettingen in de funderingen staan veel gebouwen al onder spanning.

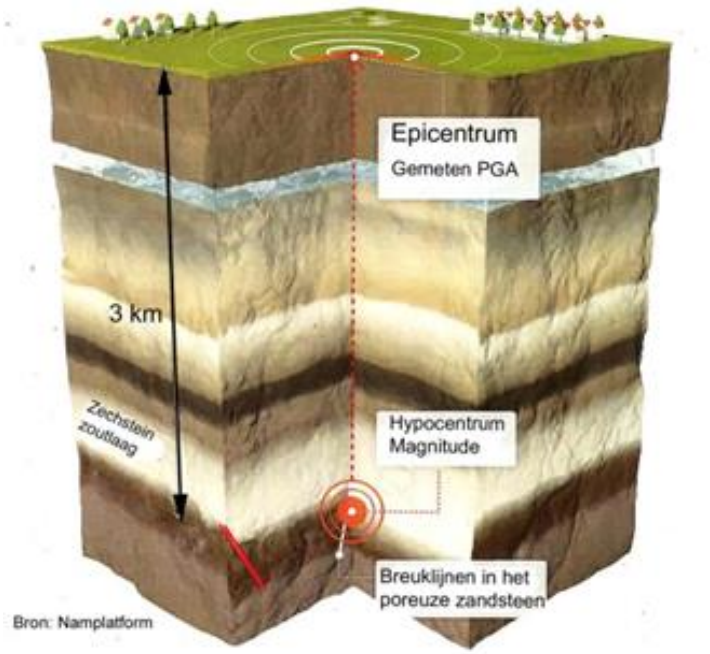
Een gebouw dat een grote elasticiteit heeft, zoals houtskeletbouw (HSB) of een stalen frame constructie van een agrarische schuur heeft een hoge *q*-waarde[81] en absorbeert daarom goed de krachten van de aardbevingen. Stijf invulmateriaal van baksteen metselwerk met hoogovencement mortel heeft dat niet. Daarom ontstaan er steevast barsten tussen het flexibele frame en de stijve invulmuren. Zie ook 'Capaciteitsmode'. Oude gebouwen die met zachtere en vervormbare kalkmortel zijn gemetseld zullen bij kleine vervormingen (< 2 mm) geen scheuren tonen.

Figuren 1-49. Scheuren langs stalen kolom. Links. Langs de stalen kolommen van deze kippenschuur zijn de voegen in de baksteen gescheurd door verschillende elasticiteit tussen het stalen frame en de stijve bakstenen invulmuur en windbelasting of een aardschok. Deze "schade" heeft geen enkele constructieve betekenis en is in principe een tekortkoming van de bouw.
Rechts. Grote agrarische schuur met gedeeltelijk metselwerk. Door de grote kopgevels van oude boerderij-schuren op te delen (scheiding bij de staldeuren) en de bovenkanten van die gevels in flexibel plaatmateriaal uit te voeren, worden scheuren door zettingen of beweging van de flexibele kapconstructie voorkomen. Zie ook 'Capaciteitsmode'.

[81] Voor gedetailleerde uitlag van de q-waarde zie onder **Gedragsfactor.**

Epicentrum

Een epicentrum is de plaats aan het aardoppervlak recht boven de aardbevingshaard, het hypocentrum. Aangezien het epicentrum het punt op het aardoppervlak is dat het dichtst bij de haard is, is dit ook het punt waar de verticale aardbevingsgolven het sterkst gevoeld worden. Op een horizontale afstand vanuit het epicentrum, die ook verder weg ligt van het hypocentrum, worden de verticale bewegingen kleiner, maar kunnen de horizontale bewegingen in lengte toenemen en vertragen. Aardbevingsschade ontstaat vooral door de horizontale bewegingen. In het algemeen betekent het dat de sterkte van de bevingen voorbij 5 km van het epicentrum geleidelijk afneemt.



Figuur 1-50. Hypocentrum en epicentrum. De 0,5 km tot 2 km (gemiddeld 1 km) dikke Zechstein zoutlaag is te taai om breuken te ondergaan.
Het Carboon onder het zandsteen reservoir heeft wel breuken maar die breuken ondergaan geen beweging tijdens of na een beving.
In de provincie Groningen ligt het epicentrum ongeveer 3 km boven het hypocentrum. Een aardschok doet er ongeveer één seconde over om de afstand hypocentrum-epicentrum af te leggen.

Elke aardbeving heeft haar eigen epicentrum, waarvan de locatie met trilling-meters zeer nauwkeurig bepaald kan worden. De grootste bevingen komen voor in de regio van de gemeente Loppersum waar het reservoirgesteente het dikste is, met Ten Boer, Zeerijp en Westeremden. Verder verwijderd van het epicentrum wordt de verticale PGAg kleiner, maar bij slappe bodem kan de horizontale PGA nog ver doorwerken. Dus ook bevingsschade optreden. In de buitengebieden van het aardbevingsgebied kan het daarom voorkomen dat nieuwe schade wordt geïdentificeerd, terwijl dat niet meer het geval is in het centrumgebied omdat daar dan alles al gebarsten is.

EVS (*Extended Visual Screening*)

Amerikaanse afkorting voor een niet-destructief maar uitgebreid onderzoek naar de veiligheid van gebouwen in een aardbevingsgebied. Deze methodologie werd door Arup[82] geadopteerd en aangepast voor het onderzoek Groningse gebouwen. Dit wordt toegepast na een Rapid Visual Screening (RVS).Met dit uitgebreide gebouwonderzoek van de EVS, kan bepaald worden of er maatregelen genomen moeten worden om de seismische veiligheid van het gebouw te verbeteren (tegen net niet instorten).In de provincie Groningen werden deze onderzoeken uitgevoerd door gespecialiseerde bureaus en het voormalige Centrum Veilig Wonen, 2015-2020[83]. Dit onderzoek kan het opvragen van bouwtekeningen inhouden en een vergelijk tussen tekeningen en de bouw.

[82] Arup is het ingenieursbureau dat door de NAM in 2012 werd aangesteld om een plan te maken voor onderzoek naar de bevingsschade en voorstellen te doen voor seismische versterking.
[83] Het CVW werd in 2015 opgericht voor een schade afhandelingsproces los van de NAM. Op 4 januari 2020 wordt de Tijdelijke Wet Groningen en de oprichting van het IMG in plaats van het CVW bevestigd.

Een fotorapportage is vaak een standaard element bij de meer complexere situaties. Bij openbare gebouwen zoals scholen (OBS) werd in Groningen standaard een EVS toegepast, en werden indien mogelijk de verbindingen van de constructies onderzocht. Dit werd zo besloten omdat openbare gebouwen, waar veel personen in samenkomen, aan hogere veiligheidseisen moeten voldoen dan privéwoningen. Zie ook Belangrijkheidsklasse en Gevolgklasse.

Flexibiliteit voor gebouwen

Het vermogen om vervormingen te kunnen ondergaan waarbij het materiaal of de materiaalsterkte intact blijft. Doordat een gebouw tijdens een aardbeving vervormt, wordt de aardbevingskracht gedeeltelijk geabsorbeerd door:

(1) De materialen van de constructie zelf zijn elastisch (staal of hout);
(2) De verbindingen tussen de constructie onderdelen zijn elastisch (staal, ductiel);
(3) De verbindingen tussen de constructie onderdelen zijn bewegelijk (enigszins los).

Flexibele constructies hebben een verhoogde **gedragsfactor** *q*, waardoor de weerstand van het gebouw tegen aardbevingen groter wordt. Stapelbouw heeft vaak vanwege de zwakke of losse verbindingen tussen de stijve prefab elementen (betonplaten) wel enige flexibiliteit.[84] Wanneer de verbindingen ductiel kunnen vervormen, krijgt het gebouw als geheel hierdoor enige flexibiliteit, ook al bestaat het uit betonnen panelen. Als met de precisie NLTHA-berekening deze flexibiliteit wordt meegenomen, zal blijken dat het gebouw beter bestand is tegen aardbevingen dan wanneer het slechts statisch berekend wordt. Dit geldt hoofdzakelijk voor hoge gebouwen.

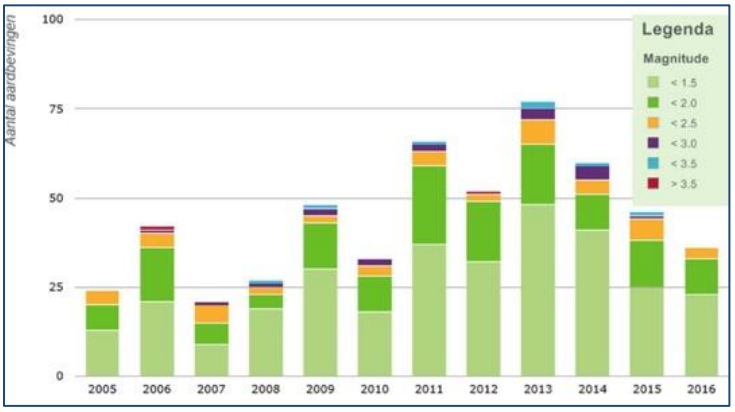
Figuur 1-51. Dijkzichtflat in Delfzijl. Foto RTV Noord. Een gedetailleerd NLTHA-onderzoek werd gedaan naar de seismische sterkte van dit en andere flatgebouwen. Vanwege de aanname van iets flexibele verbindingen tussen de elementen bleek het gebouw toch een redelijke sterkte te hebben.
Dit is een gevolgklasse CC3 gebouw.

Een interessant voorbeeld van een gebouw met stijve betonnen constructie elementen en iets ductiele of losse verbindingen is de Dijkzicht flat in Delfzijl (foto boven). Na precieze NLTHA-metingen van de feitelijke constructie en zeer gedetailleerde berekeningen, bleek de weerstand van het gebouw tegen aardbevingen groter te zijn dan de eenvoudige statische berekening aangaf.

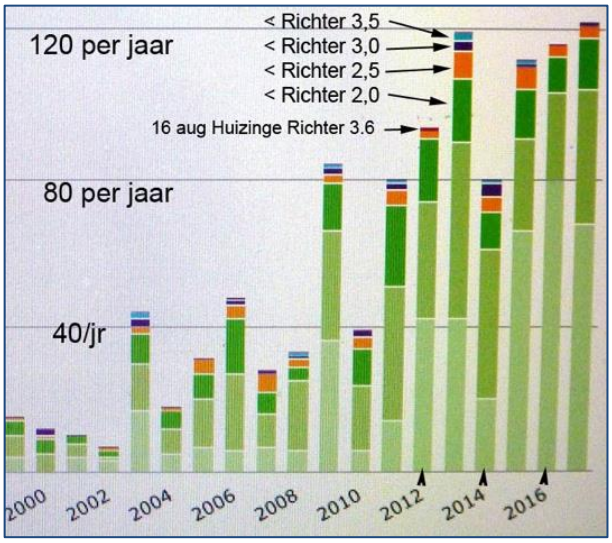
Frequentie schokken en sterkte.

De SodM laat in haar advies[85] van april 2017 zien dat het **aantal** schokken groter dan Richter 1,5 sinds de ingrepen ná 2013 **kleiner** is geworden. Door deze maatregels kan de 'directe bezetting' en gebruik van gebouwen in de provincie hoog blijven **en bestaat er geen verhoogd instortingsgevaar**, terwijl er bij de meest fragiele gebouwen aanpassingen aan de sterkte werden gepland of gemaakt.

[84] Betonplaten hebben betonijzeren lussen die op de verbindingen bij elkaar komen en daar met mortel worden vast-gestort. Bij een matige kwaliteit mortel zullen die verbindingen iets bewegelijk zijn.
[85] Zie bijlagen van: https://www.sodm.nl/onderwerpen/aardbevingen-groningen/nieuws/2017/04/18/xxxxxxx



Figuur 1-52. NAM grafiek aantal bevingen.
*Deze grafiek[86]< Richter 1,5 laat zien dat er verminderingen van de aardschokken zijn vanaf 2014, in het aantal en sterkte. Deze daling in sterkte is doorgezet. Direct na de klap op 16 augustus 2012 bij Huizinge (Richter 3,6) heeft de NAM echter de gasproductie **opgevoerd**, hetgeen te zien is aan het hoge aantal bevingen in 2013 en meer grote bevingen in 2014.*



Figuur 1-53. NAM-grafiek loopt t/m 2017.
De tekst is toegevoegd. In de 2012 kolom staat de Huizinge schok aangegeven[87].
Na 2013 werd er een sterke verlaging van de productie ingevoerd, van 54 miljard m^3/jaar tot 24 miljard m^3 per jaar in 2017, waardoor in 2014 het aantal schokken sterk verminderde. In de jaren 2015 tot en met 2017 treedt er weer een vergroting van aantal aardschokken op, vanwege de steeds lagere druk in het gasveld.
Te constateren is dat sinds 2014 het aantal kleine schokken (< Richter 1,5) toeneemt, maar niet het aantal grote.

Omdat er een pauze zat van ongeveer twee jaar tot een gelijke grotere aardbeving (> Richter 3,2) was het risico van een grotere aardbeving dan de Huizinge beving 2012 (Richter 3,6) binnen twee jaar klein. Na 2013 zou de gaswinning op een lager niveau doorzetten, waardoor de kans op grotere bevingen ook kleiner zou zijn.[88] In Zeerijp was er nog een beving van PGAg 0,11. Hoewel het aantal (kleine en grote) schokken direct na de Huizinge 2012 beving eerst geleidelijk groter werd, zullen er bij verdere verlaging en nivellering geen grotere bevingen komen. Daarmee ligt de werkelijke Mmax dus op ongeveer PGAg 0,1 De technische informatie in dit document is daarom gebaseerd op de grenswaarde van seismisch versterken met een Mmax met PGAg 0,2.

Gebouwtype *(building typology)*

Een classificering van de gebouwen die een gelijksoortige bouwkundige en sterktestructuur hebben met een gelijksoortige horizontale weerstand en gedrag tijdens een aardbeving. In Groningen zijn een twaalftal hoofdcategorieën geïdentificeerd, met onderverdelingen naar de bouwperiode en naar gelang het type fundering (op staal of palen) of het soort vloerdiafragma's (flexibel of stijf).

Rijtjeswoningen en tegen elkaar aangebouwde grachtenpanden behoren tot de zwakste categorieën en gebouwtypes, onder andere door gebrek aan dwarsmuren. Doorzonwoningen met relatief zware betonnen etagevloeren hebben zowel weinig muurdelen (penanten) in de voor- en achtergevels, maar door de zware vloeren extra aardbevingsbelasting. Vooral de goedkope, oudere naoorlogse bebouwing tot 1970 is daarom ook een zwakke categorie voor aardbeving strekte.

[86] https://www.nam.nl/feiten-en-cijfers/aardbevingen.html#iframe=L2VtYmVkL2NvbXBvbmVudC8/aWQ9YWFyZGJldmluZ2Vu
[87] Voor 2020 zie: https://www.nam.nl/feiten-en-cijfers/aardbevingen.html#iframe=L2VtYmVkL2NvbXBvbmVudC8_aWQ9YWFyZGJldmluZ2Vu
[88] Hieruit blijkt duidelijk dat de NAM de gasdruk en de relatie met schokken aan het monitoren was.

Oude gebouwen met houten vloeren zonder vloerdiafragma's behoren eveneens tot de erg zwakke constructies omdat hier de muren loodrecht op hun muurvlak belast kunnen worden.

De classificatie is afgeleid van de Engels-Amerikaanse versie voor UnReinforced Masonry (URM). De eerste typologie classificatie werd gedaan door Arup in 2013.

URM	Gebouw omschrijving	Periode	Woon-lagen	Afbeeldingen van veel voorkomende Groningse woningen in de provincie. De oudste categorieën hebben de meeste schade.
1	Vrijstaand, hoekwoning. Flexibele houten vloerdiafragma's, halfsteens binnen- of buitenmuren of steens buitenmuren. Ongeveer 10% van het woningbestand en met de meeste aardbevingsschade	< 1920	1-2	
2	Als URM 1 . "Herenwoningen". Zolder in gebruik Enkele van de koppen van de kop-hals-romp heren boerderijen zijn met lemen stenen gemetseld. Deze zijn extra kwetsbaar en een aparte categorie. .	< 1920	≥ 3	
3-4	Vrijstaand, hoekwoning. Flexibele houten vloerdiafragma's, halfsteens binnen- of buitenmuren of steens buitenmuren. De hoge schoorstenen uit de jaren '30 zijn hoog risico maar deze details vallen buiten de typologie.	1920-1960/70	1-2 en ≥ 3	

URM	Gebouw omschrijving	Periode	Woon-lagen	Afbeeldingen van veel voorkomende Groningse woningen in de provincie. De oudste categorieën hebben de meeste schade.
5-6	Vrijstaand, hoekwoning. Gewap. betonnen vloeren = stijf diafragma.en daardoor minder schade, maar grotere massa.	>1960/70	1-2 en ≥ 3	
9-10	Rijtjeswoningen en doorzon Flexibele houten vloerdiafragma's, halfsteens binnen- of buitenmuren of steens buitenmuren.	1920-1960/70	1-2 en ≥3	
11	Vrijstaand, hoek- en rijtjeswoning Gewapend betonnen vloeren. Stijf diafragma. Grote raampartijen smalle penanten. Extra kwetsbaar.	>1960/70	1-2	

Bij enkele oude boerderijen werden muren gevonden die met leem gemetseld werden, deze zijn nog zwakker dan de met kalmortel gemetselde constructies, maar ook vaak monumenten.

In de bovenstaande lijst worden slechts 9 typologieën van woningen uit 2013 aangegeven, maar in 2018 zijn er totaal 60 verschillende typologieën geïdentificeerd (varianten op de 12 basistypen), waarvan sinds 2020 door het TNO zeer gedetailleerde NLTHA-berekeningen en VersterkingsAdviezen (VA's) zijn gemaakt. [89]

Het typologieën rapport van het TNO is zeer uitgebreid, waarbij elke hoofdtypologie apart is uitgewerkt in deelrapporten. Deze zijn medio 2023 nog niet allemaal uitgewerkt. Bij geïnduceerde aardbevingen is zaak om de Mmax vast te stellen op basis van de sterkte van de typologieën. Met de kennis van 2013 en eenvoudige rekenmethodes was dat mogelijk.
Van oude woningen kunnen de houten vloerbalken niet, of slechts om de andere balk, aan de buiten of binnenmuren verbonden zijn. Het komt veel voor dat slechts enkele balken met de koppen aan de muren zijn verbonden en niet aan de parallelle zijkanten. Het is ook mogelijk dat vloeren van belendende kamers niet aan elkaar zijn doorverbonden zodat het gebouwdiafragma is onderbroken.

In woningen vanaf 1953 worden vloeren van betonnen elementen toegepast. Deze vormen stijve vloeren, maar als ze onderling niet verbonden zijn of aan de zijmuren vormen het geen diafragma's. het zijn ook **zware** constructies, dus zwaardere belastingen bij bevingen; hierdoor ontstaan ook vaker scheuren. Vooral bij rijtjes-doorzonwoningen met betonnen vloeren vormen deze een risico wanneer deze gebouwen te weinig constructieve dwarsmuren hebben. Scholen of hogere woongebouwen staan niet in de bovenstaande tabel en hebben een hogere gedragsfactor q (meer slachtoffers bij instorting) en moeten daarom met een hogere belasting berekend worden.

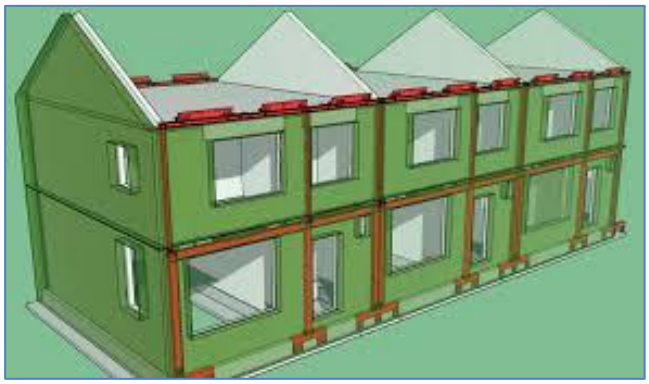
[89] Zie rapport NCG op: https://www.nationaalcoordinatorgroningen.nl/onderwerpen/typologieen-overzicht
Het door TNO opgestelde rapport: https://www.nationaalcoordinatorgroningen.nl/onderwerpen/typologieen-overzicht/documenten/rapporten/2023/06/26/tno-rapport---typologisch-toedelen

Woningen van na 1980 zijn hoofdzakelijk stapelbouw met een typisch eigen problematiek van gebrek aan momentsterke verbindingen tussen de vloeren en draagmuren. Veel vloeren bestaan uit afzonderlijke elementen die niet voldoende aan elkaar zijn verbonden en geen diafragma vormen. In woningen van ná 1985 worden bredere spouwen gebruikt vanwege thermische isolatie (10 cm in plaats van 5 cm) hetgeen de sterkte en stabiliteit van de muren ten goede komt. Door de bredere spouw wordt met goede spouwankers het weerstandsmoment van de muur iets groter.

In woningen van ná 1990 worden voor de binnenmuren regelmatig gelijmde kalkzandsteenblokken gebruikt waardoor de binnendraagmuren een hogere druksterkte kunnen hebben dan gemetselde kalkzandsteen in baksteen formaat. Dit komt omdat bij gemetselde voegen slechts de druksterkte van de voegen maatgevend is en de voegen zelden over de hele steenbreedte vol-zat zijn gemetseld. De lijmkwaliteit is meestal veel beter dan de metselwerk kwaliteit.

Wanneer een woning seismisch versterkt moet worden, kan dat betekenen dat er uitgebreide maatregelen genomen moeten worden, vooral aan de draagmuren en etagevloeren. De draagmuren van de buitenschil moeten dan volgens de bouwverordening aangepast worden aan de thermische normen.

Figuren 1-54. Versterking en thermisch isoleren. Bij het inwendig constructief versterken van een buitenmuur met houtskeletbouw (met trekverbindingen aan de binnen spouwmuur) is ook het thermisch isoleren volgens de laatste bouwnorm (BENG 4,7 m^2.K/W) vereist.



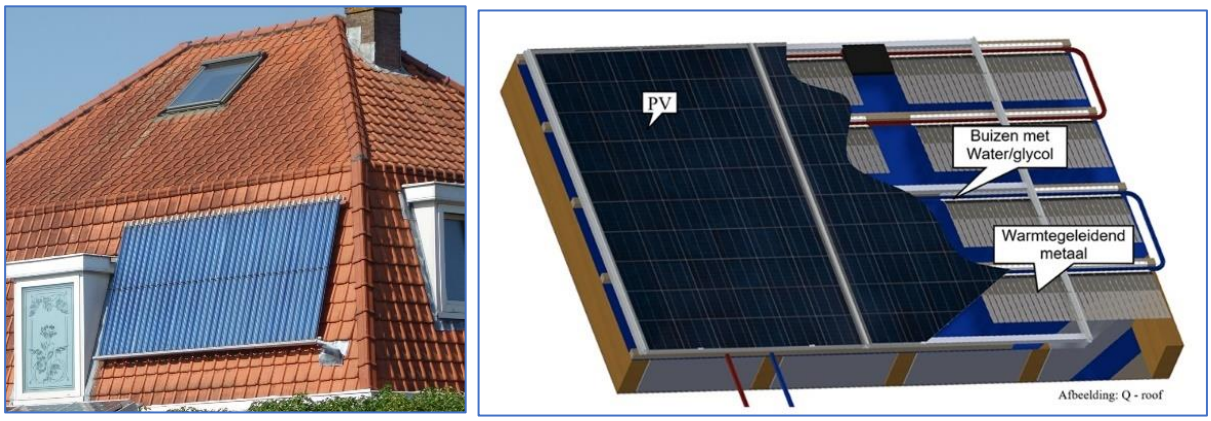
Links. Bij uitwendige versterking, bijvoorbeeld bij het plaatsen van stalen portalen in de plaats van het buitenspouwblad, kan daarna een dikke thermische isolatie en steen-strips worden toegepast, waarbij de boven etage een meer flexibele kunststof of houten gevelbekleding kan hebben (Rechts).

Bij een ingrijpende renovatie is per 30 juni 2021 de eis vastlegt voor het opwekken van een minimale hoeveelheid hernieuwbare energie – zoals zonnepanelen of warmtepompen. De verplichting vloeit voort uit de EU-richtlijn Renewable Energy Directive II (RED II). Hierin is vastgelegd dat Europese lidstaten een minimale hoeveelheid hernieuwbare energie moeten voorschrijven bij ingrijpende renovatie waarbij de verwarmings- of koelinstallatie(s) een deel is.

Ofschoon er voor het gebouwherstel na aardbevingen wel schadevergoedingen worden betaald, zijn er voor de meeste verduurzamingsmaatregelen slechts subsidies[90]. Woningeigenaren moeten dus andere fondsen kunnen aanspreken om beide activiteiten (versterken en verduurzamen) tegelijk en in voldoende mate te realiseren.

[90] Zie: https://www.rvo.nl/subsidie-en-financieringswijzer/seeh en https://www.rvo.nl/subsidie-en-financieringswijzer/isde verschillende gemeenten hebben ook aanvullende subsidieregelingen.

Als aanvulling zou er een bouwfonds kunnen komen waaruit verduurzaming van de woningen gefinancierd kan worden (en/of eigen gebrek) die pas wordt afgelost wanneer de woning verkocht of overgedragen wordt.

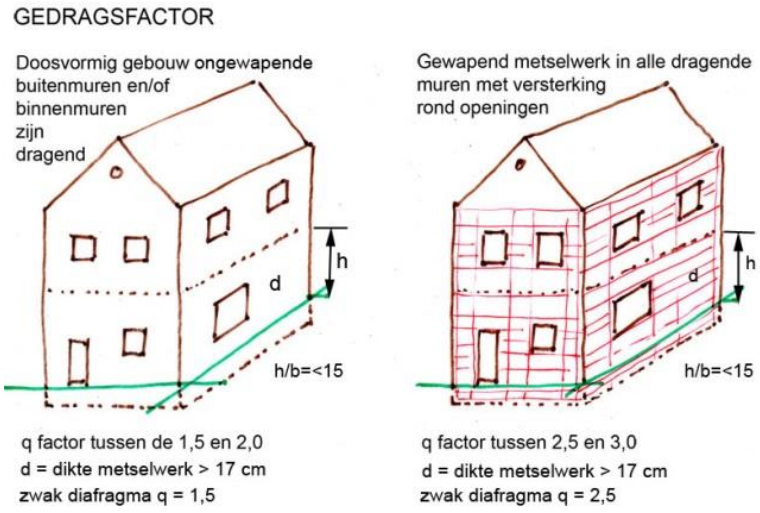


Figuren 1-55. Zonneboilers, PV- en PVT-panelen.
Zonneboilers leveren voor ongeveer 50% aan warm tapwaterbehoefte. Rechts. Thermische PV-panelen (PVT) zijn aan de warmtepomp gekoppeld.

Gedragsfactor *(Behaviour factor)*

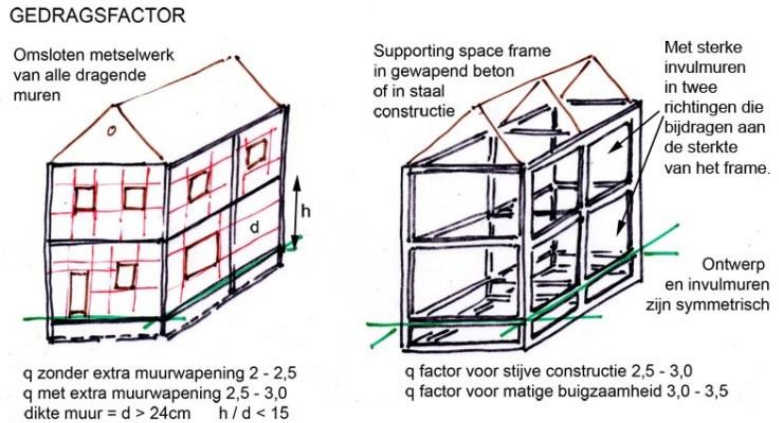
Uitgedrukt in *q*. {Eurocode 1.4.2.6} Factor om de krachten volgens een lineaire berekening te reduceren op basis van de vervormingscapaciteit van de constructie.

Figuren 1-56. Doosvorm, gewapend metselwerk.
De doosvorm is de Nederlandse standaard bouwmethode bij gebruik van baksteen.
Bij een brosse en stijve constructie is de q-factor laag. Bij een flexibele constructie is de q-factor hoog.
Gewapend metselwerk is verplicht bij een PGAg ≥ 0,2. Deze bouwmethode komt in Nederland niet of zelden voor.



In de provincie Groningen komt alleen het eerste type voor.

Figuren 1-57. Omsloten metselwerk en frames.
Een dragende frame constructie is bijvoorbeeld een staal- of betonskelet.
Beton- en staalconstructies die kunnen vervormen (ductiel) zonder te bezwijken hebben een nog hogere q-factor. Draagconstructies zoals houtskeletbouw (HSB) hebben ook een hoge q-factor.

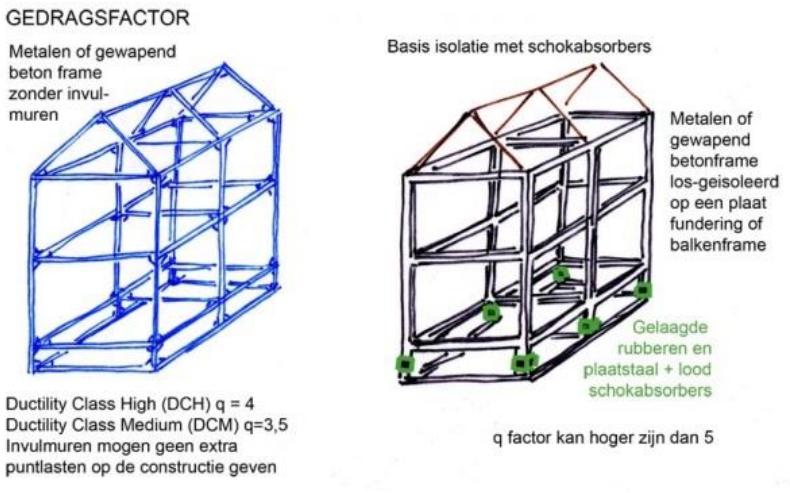


In een gebied waar natuurlijke of tektonische aardbevingen met PGAg ≥ 0,2 voorkomen is gewapend metselwerk verplicht (Eurocode).

Ongewapend metselwerk heeft een *q* = 1,5. Deze factor wordt in de berekening onder de deelstreep toegepast. Hoe hoger de *q*-factor is, hoe groter de reductie en hoe sterker het gebouw dan bestand is tegen aardbevingen. In de gewapend betonbouw worden wel extra wapening beugels in kolomeinden toegepast, maar niet in de mate die noodzakelijk is in een tektonisch aardbevingsgebied.

Figuren 1-58. Metalen skelet, gewapend beton.

Wanneer deze geen constructieve of stijve invulmuren hebben, kunnen berekend worden met een nog hogere q-factor.
Een gebouw op een base-isolation *heeft de hoogste q-factor, waarbij een makkelijk bewegende rolconstructie weer hoger scoort dan een stijver rubber blok of glijconstructie.*

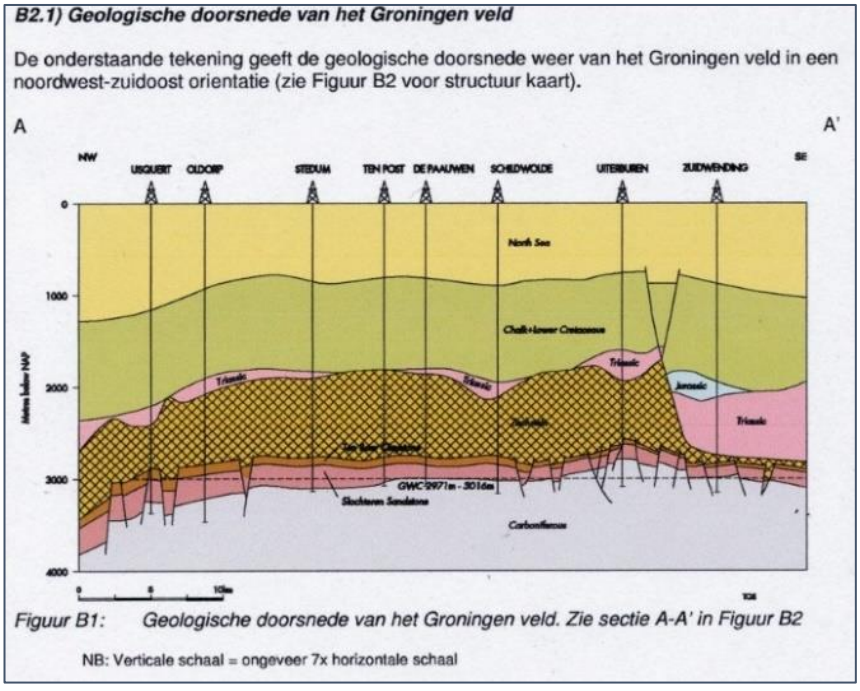


De belasting factor van het gebouw op *Base-isolation* hangt af van de stijfheid of weerstand van die *Base-isolation* elementen. Bij een hoge schuifweerstand kan dat nog PGAg 0,03 zijn.

Geïnduceerde aardbeving

Deze worden sinds 1986 in de provincie Groningen geregistreerd en worden veroorzaakt door de ontlasting van spanningen in de diepe ondergrond die zijn opgebouwd tijdens de gaswinning sinds 1963. Door de drukdaling van het gas in het reservoirgesteente ter plaatse van de gasextractie, worden de verschil-spanningen met het omgevingsgesteente zó groot dat er langs bestaande breukvlakken plotselinge compacties ontstaan. Hier zakt het gesteente plotseling een paar cm in elkaar.

Figuur 1-59. Deltares rapport doorsnede.
Doorsnede uit Winningsplan 2013: Verticaal is 4 km, horizontaal 50 km van Warfum N-W (links) tot Oude Pekela Z-O (rechts).
Van boven naar beneden: Noordzee = kleigrond afzettingen; Kalkhoudende lagen ≈1-2 km dik; Gearceerd = Zechstein steenzout afzettingen tot ≈1 km dik; Roze = Slochteren Rotliegend zandsteen van ≈ 100-200 m dik ook wel het 'reservoirgesteente'; Grijs, onder is de Carboniferous laag = steenkool houdende laag en de rest van de 40 km dikke aardkorst.



Het methaangas (CH_4) kwam een paar honderd miljoen jaar geleden uit deze steenkoollaag omhoog en werd opgesloten in het poreuze zandsteen vanwege de daarop afgezette en afsluitende steenzoutlaag (Zechstein). Door de gasonttrekking treedt drukdaling in het zandsteen op en treedt compactie van het zandsteen op en daardoor bodemdaling en komvorming.

Bij ongelijkmatige en snelle onttrekking van het aardgas, genomen over het hele Groningse veld, zullen er drukverschillen ontstaan in de zandsteenlaag (het reservoir). Bij een verlaagde inwendige druk kan of zal het zandsteen plotseling geplet worden. Dit zijn dan aardschokken in het hypocentrum en veroorzaken een aardbeving aan het aardoppervlak, het epicentrum. Deze schokken zijn daarom geïnduceerd door het onttrekken van het aardgas door bedrijven.

Eén van de problemen waar de wetenschappers mee te maken hadden, is dat er wereldwijd weinig bekend is over geïnduceerde aardbevingen die slechts op 3 km diepte ontstaan, bijvoorbeeld door mijnbouw, gasonttrekking en *fracking*. Bij gebrek aan deze informatie werd door hen gebruik gemaakt van de rekenmethodes, extrapolaties en onzekerheden van veel diepere tektonische aardbevingen (10-80 km diep) die het gevolg zijn van de continentale drift van en in de aardkorst die ook tientallen kms dik is. Dat is heel wat anders dan compactie in een relatief dun laagje zandsteen

Geïnduceerde aardbevingen zijn aanzienlijk anders dan tektonische aardbevingen. De onderstaande tabel geeft de hoofdpunten weer.

#	Tektonische aardbeving	Geïnduceerde aardbeving (Groningen)
1	Door de natuur, bewegingen van grote tektonische aardplaten (continenten) naar of uit elkaar. Bij het naar elkaar drukken schuift een tektonische plaat onder de andere die wordt opgedrukt. Wanneer er weinig zachte sedimenten op de onder schuivende plaat liggen (smering) dan gaat dat gepaard met aardbevingen. Dit proces is een aardse vorm van recycling.	Door mensen veroorzaakt vanwege mijnbouw, (aardgas-winning in Groningen) stuwmeren, bouw en bommen. Op microschaal zijn dat zware vrachtwagens die over verkeersdrempels rijden. Bij de ontginning van olie, gas of steenkool worden de natuurlijke grondstoffen opgemaakt en versneld verbruikt. Er is dan geen sprake van recycling. De betreffende aardlagen worden dan dunner.
2	Komen uit grote dieptes van 15 km tot 80 km. Aardplaten maken dalende of stijgende beweging.	Zijn oppervlakkig zoals slechts 3 km in Groningen. Daarom zijn ze kort en fel vergeleken bij tektonische bevingen. Alleen kleine oppervlakte daling.
3	Tektonische aardplaten drijven ≈ 4 cm/jaar. Constante horizontale verplaatsing voor miljoenen jaren.	Geen horizontale verplaatsing van aardlagen.
4	Door grote diepte spreiding over een groot gebied. Voelbaar tot op honderden kms van het epicentrum.	Door kleine diepte weinig maar felle schokken en minder horizontale spreiding van schokgolven. Na een tiental km buiten het epicentrum niet meer voelbaar.
5	Horizontale bewegingen tot wel 50 cm, en mogelijke plaatselijk grote verticale verzakkingen.	Hoofdzakelijk kleine verticale verzakkingen < 1 cm.
6	Verticale beving bewegingen kunnen enkele tot vele cm's zijn, terwijl er ook grondverzakkingen en meters diepe spleten in de grond kunnen voorkomen.	Verticale bewegingen zijn in mm's. Grondverzakkingen ontstaan alleen over verloop van tijd door compactie en komvorming.
7	Grond en landverschuivingen in de bergen en blokkade van rivieren en breken van dammen.	Geen zichtbare veranderingen.
8	Duurt meerdere seconden continue tot wel enkele minuten per gebeurtenis.	Duurt slechts tienden van seconden en vaak één enkele klap.
9	Bevingen langer dan enkele seconden kan verweking van natte gronden veroorzaken	Geen lange trillingen die verweking veroorzaken.
10	Bepaalde horizontale soorten bevingen kunnen over grotere afstanden opslingereffect veroorzaken	Bevingen zijn te kort in duur om in slappe gronden opslingereffect te veroorzaken.
11	Binnen weken vele grote naschokken en herhalingen die meestal wel iets minder sterk zijn.	Slecht kleine naschokken die meestal niet voelbaar zijn. Zie figuren 2.
	De PGAg is bepalend voor de schade én het aantal direct er op volgende naschokken.	De PGAg is bepalend voor de schade, maar naschokken hebben nauwelijks invloed.
12	Naschokken groot en kort achter elkaar veroorzaken extra schade en verder instortingen aan gebouwen.	Naschokken zijn erg klein (niet voelbaar) en veroorzaken nauwelijks progressieve schade.
13	Komen periodiek met grote en regelmatige tussenpozen voor in hetzelfde gebied, variërend van jaren tot	Komen dagelijks en wekelijks voor, afhankelijk van de menselijke activiteit. De schokken kunnen zonder

#	Tektonische aardbeving	Geïnduceerde aardbeving (Groningen)
	tientallen jaren. Bijvoorbeeld Kathmandu elke 75 tot 80 jaar een grote aardbeving.	aanpassing van het winningsprogramma jaarlijks toenemen in aantallen en sterkte tot aan het einde van de gasvoorraad.
14	Erg moeilijk om grote bevingen te voorkomen, tenzij men door zware explosies diep ondergronds de opgebouwde spanningen voortijdig ontlaadt.	Er goed te controleren en verminderen door aanpassing van de winningsmethode, bijvoorbeeld door nivellering en verminderde productie.
15	Wereldwijd is hierover veel kennis opgedaan en zijn er internationale bouwwetgevingen opgesteld.	Minder internationale kennis, waardoor de onzekerheids-marges in de berekeningen veel groter zijn.
16	Seismografen registreren deze wereldwijd.	Extra seismografen in de regio toegevoegd.
17	Mw- of Richter-waarden zijn bij bevingen uit een ander gebied of verschillende diepte NIET gerelateerd aan de PGA-waarde	Omdat alle bevingen van 3km diepte komen zijn in Groningen de Mw- of Richter-waarden met elkaar te vergelijken, maar NIET met andere gebieden.
18	Gedetailleerde bouwkundige informatie in het Engels en in de taal van het land voor iedereen beschikbaar.	Geen Nederlandstalige informatie beschikbaar tot 2015 en nauwelijks beschikbaar voor de burgers.
19	Actieve promotie van de bouwkundige kennis en wetgeving voor seismisch bestendig bouwen.	In Nederland geen aanwezigheid of promotie van publieke bouwkundige aanwezig.
20	Seismische kennis voor alle architecten en ingenieurs-opleidingen en praktijk of vak training op MBO.	Nauwelijks of geen technische opleidingen beschikbaar, alleen een paar personen HBO-ingenieurs opleiding.
21	Eenvoudige statische rekenmethode algemeen toegepast voor lage woningen en gebouwen.	Zeer gecompliceerde en dure rekenmethode toegepast voor alle bouwwerken, ook al is dat niet nodig.
22	Training materiaal voor laaggeletterden, zoals 3D bouwtekeningen en video's vrij beschikbaar.	Tekeningen en berekeningen niet beschikbaar voor de burgers. Verdienmodel van bedrijven.
23	Normaliter geen verzekering tegen schade. Wel vaak noodhulp door nationale en internationale organisaties	Veroorzaker moet schade vergoeden. Gesteggel over wat nu wel of geen bevingsschade is.
24	Verzekering mogelijk wanneer gebouwd volgens de bestaande seismische code voor de regio.	Vergoeding van schade vaak betwist en lange, dure juridische processen nodig om gelijk te krijgen.
25	Acceptatie door de bevolking dat er schade en slachtoffers zullen optreden en dat er economische verliezen ontstaan.	Geen acceptatie door de bevolking dat er meer schade of slachtoffers door de bevingen zullen ontstaan. Eis van economische compensatie.
26	Seismische code gebaseerd op net niet instorten van gebouwen met een standaard risicoprofiel van 10^{-5}.	Omdat geïnduceerd actief schade veroorzaakt, zou het standaard risicoprofiel 10^{-6} moeten zijn.
27	Bevolking is vaak toonbaar blij met de geleverde hulp.	Bevolking is achterdochtig over maatregelen en wil meer compensatie van de schadeveroorzaker of overheid.
28	Psychologische acceptatie van het noodlot. Normale rouwperiode voor overledenen.	Traumatische ontwikkelingen vanwege psychologische problemen, angsten, stress en economische schade.
29	Bij uitblijven van (internationale) hulp kunnen bewoners in een uitzichtloze armoede toestand geraken.	Bij uitblijven van goede schade compensatie of overheidsondersteuning (inclusief financiën, verlies van pensioen zekerheid dat uit de gebouwwaarde bestaat) kan langdurige stress, angstgevoelens en uitputting tot gevolg hebben met daaruit voortvloeiende gezondheidsproblemen.
30	Grote, zware, langdurige aardbevingen met massale schade komen regelmatig wereldwijd voor.	Aardbevingen blijven klein met relatief weinig schade.

Gezien het grote aantal verschillen kunnen de twee soorten aardbevingen niet goed met elkaar vergeleken worden. Beelden uit de pers van zware tektonische aardbevingen (Mw 6 of 7) zijn daarom **niet representatief** voor wat er in Groningen te verwachten zou zijn. De beving van Christchurch 22-02-2011 is enigszins vergelijkbaar. [91]

De Christchurch 2011 beving duurde slechts 10 seconden en op sommige locaties kwam grondverweking voor. De totale economische schade werd begroot op >20 miljard Euro. Gebouwen die veel lijken op de gebouwen in de provincie Groningen, maar voldeden wel aan de seismische code; 20.000 gebouwen beschadigd en 10.000 niet te herstellen; 50.000 personen verhuisd. Bijna de helft van de 186 slachtoffers ontstonden door neervallend puin van topgevels in de winkelstraten.

[91] Zie voor meer data https://www.britannica.com/event/Christchurch-earthquakes-of-2010-2011

Figuren 1-60. Fasen van instorting. Links. DS4 (net niet ingestort) en midden DS5 fase (ingestort), terwijl ze wel volgens de code seismisch-bestendig waren gebouwd. Mw 6,2 en diepte slechts 5 km en een 15 km lange zone met PGAg ≈ 0,22 verticaal en PGAg 0,17 horizontaal in het epicentrum. In de stad zelf waren de PGAg 0,08 verticaal en PGAg 0,07 horizontaal, vergelijkbaar met de 16-08-2012 Huizinge beving, maar veel langer van duur.

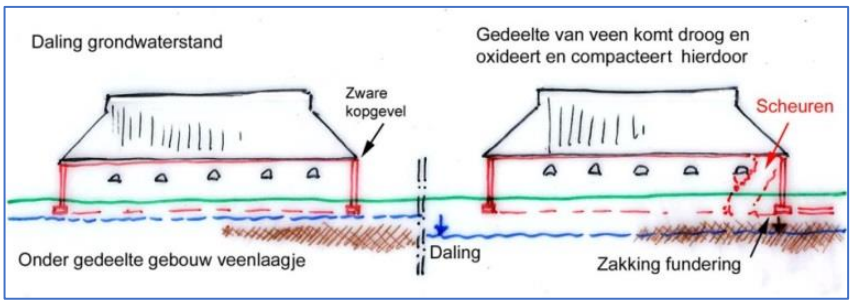
Bij een geïnduceerde aardbeving in Groningen is er meestal slechts één enkele klap, of op 16-08-2012 te Huizinge een dubbele klap met een periode van < 1 seconde. De beving in Christchurch was dus >10X zo lang als die Huizinge beving met een vergelijkbare PGAg in het stadscentrum. De langere duur is dus een van de redenen waarom de schade zo groot was. Wanneer men ten minste 10X de Huizinge beving direct achter elkaar zou krijgen wordt het wel vergelijkbaar.

In Nieuw-Zeeland moet nieuwbouw voldoen aan de seismische code, maar de bevingen in het epicentrum (15 km buiten de stad) waren aanzienlijk hoger dan de in de Nieuw-Zeelandse code vermeldde maximale PGAg-waarde, vandaar de instortingen.

Bij het bepalen van de gebouwsterkte in Groningen met de NLTHA-methode wordt meestal het gebouw uitgerekend met elke keer een grotere schoksterkte op basis van één enkele schok. Dit geeft dus de initiële gebouwsterkte weer. Wanneer op het beschadigde gebouw nieuwe schokken worden losgelaten zal dat gebouw dan initieel zwakker zijn en zal het meer beschadigen.

Grondwater

Grondwater is het water dat zich in de grond bevindt en is daardoor niet direct zichtbaar, totdat men gaat graven. De hoogte van het grondwaterniveau kan verschillen en is afhankelijk van de plaats waar men zich bevindt en de hoeveelheid neerslag. Van invloed zijn onder andere de hoogte van het gebied, de aanwezigheid van naastgelegen open water, de afstand tot sloot of drainage en de doorlatendheid van de grond (grondsoort). Bij een hoge grondwaterstand in zandgronden, kunnen minutenlange zware aardbevingen de grond verweken en haar draagkracht doen verliezen (komt niet voor in Groningen). Bij verlaagde grondwaterstand kan verdichting in veen ontstaan (t.g.v. oxidatie). Bij grondtrillingen en verschillende grondsoorten onder een lange slechte fundering kunnen op de duur zettingsverschillen ontstaan. Zettingsverschillen resulteren vaak in baksteenscheuren.



Figuur 1-61. Gedeeltelijke verzakking lang gebouw. Eén zijde van het gebouw op een uitgedroogde veenlaag staat, de andere op zandgrond. De massieve kopgevel van dit type schuur veroorzaakt een grote druk op de grond en deze zal dan verzakken t.o.v. de (slecht) gefundeerde lage zijgevel.

Bij het langdurig verlagen van de grondwaterstand kunnen drooggevallen veenlagen bij de oppervlakte oxideren en krimpen. Hierdoor kunnen gebouwen die op dat uitgedroogde veen staan verzakken.

Omdat veen soms plaatselijk voorkomt, komen dit soort verzakkingen ook plaatselijk voor. De bodemdaling in de provincie Groningen veroorzaakt een verhoging van de grondwaterstand t.o.v. het maaiveld. Dit kan hersteld worden door stuwen en pompen.

Figuur 1-62. Historische boerderij Garrelsweer.
Hier ontstonden in 2006 en 2012 scheuren in de fundering en de kelder vanwege de aardbevingen. In combinatie met de al ontstane komdaling en daardoor het verhoogde grondwater liep het grondwater de kelder in.
Uiteindelijk werd in 2020 dit oude gebouw op Base-isolation *gezet, een klus die pas eind 2021 klaar was.*

HAS, Helical Application System

Deze afkorting HAS (Helical Application System) komt veel voor in schaderapportages en verwijst naar het inlijmen met een epoxymortel van roestvrijstalen wokkels in de lintvoegen van het bakstenen metselwerk, om de muurdelen aan weerszijden van een scheur aan elkaar te verbinden en om treksterkte in het vlak van de muur te creëren. Het is een van de meest effectieve en redelijk goedkope methodes van licht bouwkundige versterken. Wordt veel in Nieuw-Zeeland toegepast voor retrofitting.

Andere benamingen zijn: Spiraalwapening, roestvrijstaal **wokkels** en lintvoegwapening.

Figuren 1-63.Toepassing van spiraalwapening.
In een diep uitgefreesde lintvoeg wordt een roestvrijstalen spiraal of wokkelvormige muurwapening gelijmd. Daarna wordt de lintvoeg vol gelijmd en afgewerkt. Gezien de lichte bevingen in de provincie Groningen is dit de belangrijkste methode voor muurherstel. Rechts: De langs-wapening boven de lateien is hier onderbroken. Dit betekent dat bij een nieuwe aardschok daar tussen de wapeningseinden een nieuwe scheur zal komen. In de beginperiode na 2012 werd de methode veelvuldig verkeerd toegepast.

Voor bouwkundig seismisch versterken is het noodzakelijk dat deze lintvoegwapening rondom het hele gebouw doorloopt, en niet slechts een klein stukje rechts en links naast de scheur. In de beginfase van gebouwreparaties in de provincie Groningen werden heel vaak korte stukjes wokkels toegepast om de kosten laag te houden. Door alle binnen en buitenmuren doorlopend met elkaar te verbinden en de balklagen/diafragmas ook aan de muren te verbinden kunnen veel gebouwen voldoende seismisch bestendig gemaakt worden, of kan scheurvorming voorkomen worden.

Er zijn verschillende bedrijven[92] in die dit systeem uitvoeren of het door aannemers in licentie uit laten voeren, of de noodzakelijke materialen verkopen. Wanneer de fundering van een gebouw goed is en het alleen maar gaat over licht herstel van muren, zonder seismisch herstel of versterken, kunnen de kosten laag blijven. Meer in Hoofdstuk 6 Versterken muren.

Hoofdconstructie

Hoofddraagconstructie. {Eurocode 8: 1.4.2.23} De principale bouwconstructie of samenstel van constructieve onderdelen (primaire seismische elementen) waarvan bezwijken leidt tot schade die niet in verhouding staat tot de oorzaak. Dit zijn de dragende wanden, kolommen en vloeren, met hun verbindingen. Als enkele van deze delen bezwijken wordt het gehele gebouw meegesleept en ontstaat er aanzienlijk meer schade door het instortende gebouw. Een stijve en brosse hoofddraagstructuur, zoals metselwerk, zal bij overbelasting scheuren en kan dan plotseling bezwijken. Voor het bouwkundig of seismisch versterken moet de hoofdconstructie daarom versterkt worden.

Hoog-Risico Elementen

Het verwijderen van hoog-risico elementen of componenten van gebouwen[93], of het zeker stellen daarvan, voorkomt dat bij een aardbeving deze van het gebouw kunnen afvallen. Een eerste identificatie van deze hoog-risico componenten gebeurt met een RVS-onderzoek (*Engels: Rapid Visual Screening*). Wanner bij een oppervlakkig onderzoek een potentieel probleem wordt waargenomen volgt er een verdergaande analyse met een EVS (*Extensive Visual Screening*)[94].

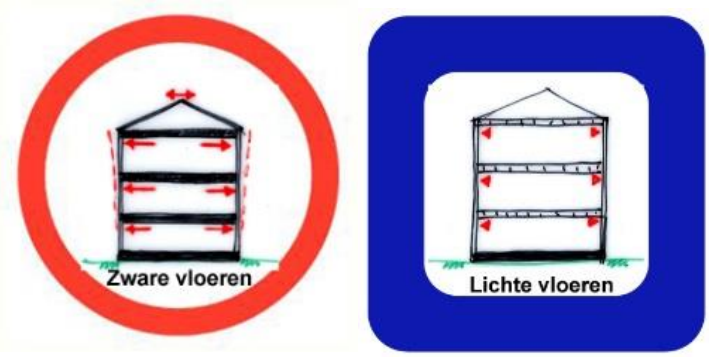
Figuren 1-64. Hoog-risico-elementen. Dit zijn bijvoorbeeld zware schoorstenen op een flexibele houten dakconstructie, balkons die zijn ingeklemd in bakstenen muren, en borstweringen of vrijstaande topgevels die op gebouwen en boven trottoirs zitten. Tijdens het vallen kunnen ze slachtoffers maken in de publiek ruimte.
Midden en rechts. Gebouw met hoog-risico elementen: zware schoorsteen op slappe kap, ingeklemd uitkragend balkon (rood), en een gebouw zonder hoog-risico elementen (blauw).[95]

Hoog-Risico Gebouwen

Gebouwen kunnen geïdentificeerd worden met een RVS en verder geanalyseerd met een EVS. Elk type gebouw, in combinatie met de sterkte van de aardbevingszone (max. PGAg) heeft een eigen risicoprofiel. Zware etagevloeren geven een hoog risico omdat hierdoor grote belastingen op de muren komen; lichte houten vloeren zijn minder belastend.

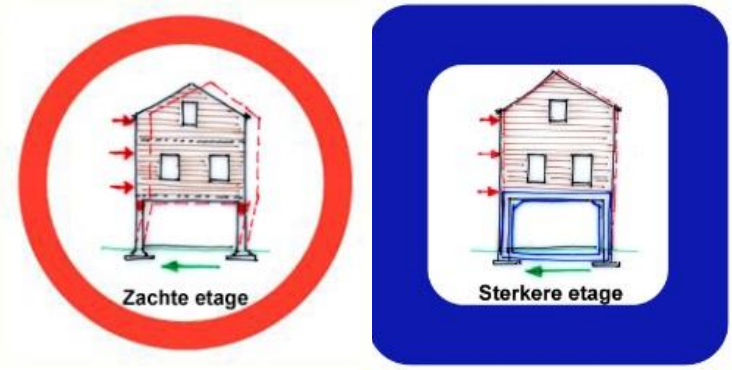
---

[92] Zie: https://www.abcadamas.nl/ en https://www.totalwall.nl/nieuws/de-herstel-methode-van-total-wall-concept.html
[93] In de officiële benamingen worden een groot aantal anglicismen gebruikt vanwege de Amerikaanse bron.
[94] De methoden zijn afgeleid van de FEMA. Over het algemeen werden alleen de Engelse termen gebruikt.
[95] Een uitgebreid overzicht van slechte en goede oplossingen wordt aangegeven in het document 'Basis Regels voor Aardbevingsbestendig Bouwen' op www.nienhuys.info , tweede pagina.



Figuren 1-65. Zware betonnen vloeren. Hoog risico, rood rond bord. Lichte houten en meer flexibele vloeren (laag risico, blauw bord). Houten vloeren in combinatie met smalle raampenanten kunnen echter een hoog risico vormen wanneer deze geen sterk diafragma vormen.

Als een van de meest risicovolle gebouwen kunnen de in stapelbouw uitgevoerde rijtjes- en doorzonwoningen worden aangemerkt met grote kozijnen in de gevels en zware betonnen vloeren. De begane grond etages met grote raamopeningen hebben een 'zachte etage'. Wanneer er binnenin rijtjeswoningen geen dwarsmuren zijn, die in de lengterichting van het gebouwblok de aardbeving belastingen kunnen opvangen, zijn deze erg risicovol. Het realiseren van een doorlopende open keuken in deze gebouwen is een recept voor problemen. Het versterken van deze gebouwen kan bijvoorbeeld door sterke portalen toe te voegen of sterke constructieve glaspanelen die strak in de raamkozijnen zitten en die de etagevloerbelasting in het vlak van de gevel naar de fundering overdragen.



Figuren 1-66. Zachte etage. Links: Zachte begane grond (winkels, doorzon) met veel vervorming (hoog risico). Rechts: Sterke begane grond vanwege een versterkt portaal met minder horizontale verplaatsing (laag risico).

Figuur 1-67. Het gemeentehuis in Leermens. Dit is een hoog-risico-gebouw. Het heeft extra smalle raampenanten (b:h = <1:7) en het gebrek aan doorgaande lateien of de aanwezigheid van een vloerdiafragma. Door in elke zijde tenminste één raam te vervangen door een constructief sterk glaspaneel worden de penanten constructief verbreedt. Het is niet altijd mogelijk om van buitenaf te zien of een gebouw een hoog risico heeft. Bestudering van de bouwplannen en de bouwmethode geven dan inzicht. Voor gelijksoortige gebouwen zijn vaak gelijksoortige risico's aanwezig.

Hypocentrum

Het gebied onder het epicentrum waar de aardbeving ontstaat; ook wel 'haard' genoemd. De haarddiepte van een tektonische aardbeving kan oplopen tot tientallen kilometers. Recente grote aardbevingen in Christchurch (Nieuw-Zeeland) en Nepal hadden hun hypocentrum slechts op 5 – 15 km diep respectievelijk, waardoor de schokken in het Epicentrum extra hard aankwamen.

Het hypocentrum van Groningse aardbevingen ligt heel ondiep op ongeveer op 3 km. Bij relatief kleine aardbevingen worden ze daarom wel sterk gevoeld ten opzichte van tektonische aardbevingen.

De totale energie die in het hypocentrum alle richtingen het vrijkomt wordt uitgedrukt en gemeten op de schaal van Richter. Omdat alle bevingen in Groningen uit dezelfde 3 km diepte komen, kunnen de Richter-waarden hier goed met elkaar vergeleken worden, maar voor het gevoel niet met de Richter-waarden van tektonische aardbevingen. De versnellende grondbeweging aan het aardoppervlak (de PGA), gecombineerd met de eigen massa van het gebouw is bepalend voor de aardbevingsbelasting op gebouwen en wordt in drie richtingen gemeten. De amplitude van elk van de drie bewegingen (verticaal P, horizontaal X en Y) is de mate van verticale of horizontale versnelling van de fundering van het gebouw. De gevoelde trilling heeft te maken met de gebouwrespons.

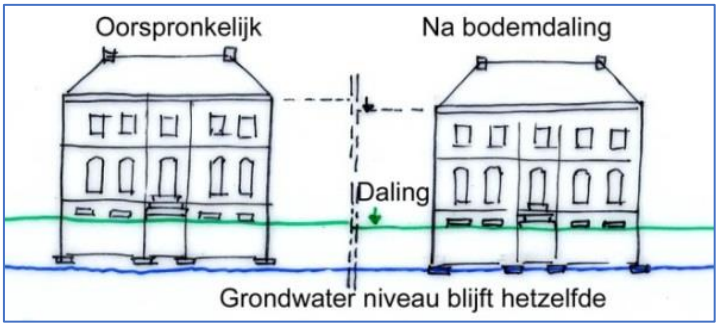
Instituut Mijnbouw Schade, IMG

Op 31-01-2018 werd besloten tot de oprichting van de Tijdelijke Commissie Mijnbouwschade Groningen, dat als bestuursorgaan geheel onafhankelijk en zonder inmenging van de NAM, zou mogen besluiten over aanvragen en vergoedingen van mijnbouwschade. Het betrof de schade die was (en nog zou ontstaan) door bodembeweging, die het gevolg was van de gaswinning in het Groningenveld en bij de gasopslag Norg van de NAM.

Inklinking

Inklinking is de daling van de grond of het maaiveldoppervlak, veroorzaakt door een daling van de grondwaterstand, het samenpersen of wegdrukken van de grond. Inklinking van grond is een van de hoofdoorzaken van scheuren in bakstenen gebouwen op staal, die met een lichte of smalle fundering direct op de ongeroerde grond onder het maaiveld zijn gebouwd. Zie ook onder ‘zetting’.

Bodemdaling door compactie veroorzaakt in eerste instantie een verhoging van de grondwaterstand. De provinciale waterhuishouding moet dan worden aangepast.



Figuur 1-68. Inklinking of bodemdaling. Hierbij zakken alle gebouwen heel langzaam in haar geheel mee, terwijl het maaiveld t.o.v. het gebouw op hetzelfde niveau blijft. Hierdoor ontstaan geen scheuren. Het grondwater komt dan omhoog ten opzichte van het maaiveld.

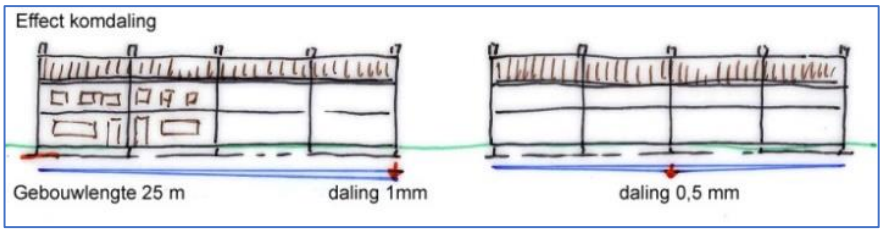
Komvorming

Het zeer langzaam en geleidelijk dalen van een groot centraal gebied door de compactie en bodemdaling. Hierdoor vormt het aardoppervlak ten opzichte van NAP een hele vlakke kom. De uiteindelijke diepte van de kom is gelijk aan het kaartje van de bodemdaling.

Wanneer de maximale bodemdaling over een afstand van 10 km gelijk is aan 200 mm, dan is de hoekverdraaiing of scheefstand van gebouwen over 10 m slechts 0,2 mm (allebei 1/1000ste). Dit is nauwelijks waarneembaar voor een gebouw[96], en heeft geen invloed op de belastingpatronen in een gebouw. Komdaling heeft wel invloed op de grondwaterstand.

[96] Dit is wel meetbaar met een tilt-meter, vandaar dat er op bepaalde gebouwen of dijken dergelijke tilt-meters zijn geplaats die over een langere tijd een verdraaiing kunnen detecteren.

Sterkere komvorming vindt ook plaats in gebieden met zoutexploitatie. Hoewel er een aantoonbare scheefstand van gebouwen kan plaatsvinden heeft het geen effect op de gebouwsterkte.

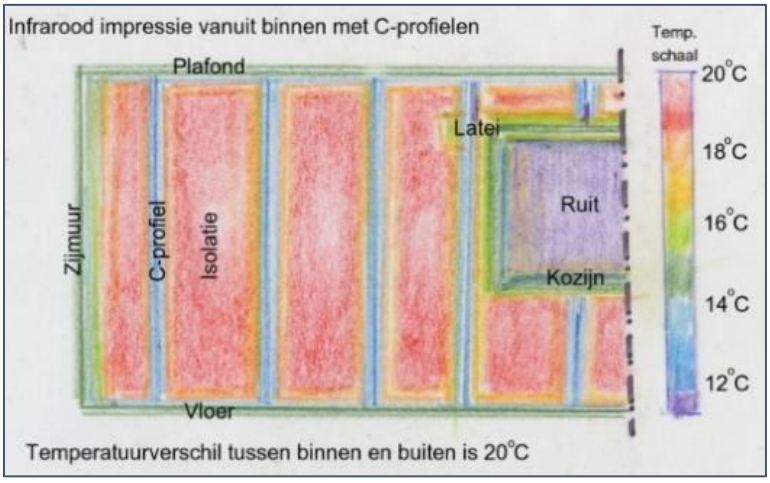


Figuur 1-69. Komdaling. Een gebouw dat dwars op de contourlijnen van de bodemdaling staat zal aan één kant meer zakken dan aan de andere kant.

Koudebrug (verkeerd, maar ingeburgerd taalgebruik)

Bedoeld wordt: thermisch lek of warmtelek. Een thermisch lek in een constructie zal de warmte sneller geleiden dan het geïsoleerde gedeelte van de gebouwschil. Omdat dit in Nederland vooral voelbaar is in een warm vertrek terwijl het buiten koud is, is het begrip 'koude-brug' ontstaan, dat is vervolgens ingeburgerd als 'koudebrug'. Eigenlijk is het meer een warmte-brug. Immers, bij kou buiten, vloeit de warmte naar buiten, waardoor het binnen oppervlak koud aanvoelt. Op een relatief koud oppervlak in een warm en vochtig vertrek zal condensatie optreden, wat weer verkleuring, vochtplekken of schimmel kan opleveren.

Bij het aanbrengen van stalen portalen als seismische versterking van een gebouw is het belangrijk dat deze aan de binnen- of buitenkant goed geïsoleerd worden om thermische lekken te voorkomen. Ter voorkoming van condensatie in de constructie moet aan de warme kant van een constructie een dampdichte laag worden aangebracht.



Figuur 1-70. Lange warmtelekken. Binnenzijdige versterkingsconstructies zoals seismische versterking, kunnen worden ingevuld met isolatiemateriaal. De metalen constructies zijn echter grote warmtegeleiders en vormen lange thermische bruggen of warmtelekken. Deze warmtelekken kunnen voorkomen worden door de ondersteuningen te bekleden met hoogwaardige isolatie [97] .

Wanneer een stalen draagconstructie, of regels waar de thermische isolatie tussen zit, aan de warme binnenkant niet dampdicht is afgewerkt, zal op dat metaal condenstatie optreden dat tot roestvorming kan leiden. De uitzettende roestvorming kan dan beschadigingen aan de binnenafwerking veroorzaken. Lange warmtelekken worden het eerste zichtbaar door neerslag van rook (sigarettem kaarsen, openhaard).

KNMI, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut

Het nationale instituut voor weer, klimaat en seismologie. Het beschikbaar stellen van bij het KNMI aanwezige kennis, data en informatie is een kernactiviteit. Het KNMI heeft een aantal seismografen in Nederland en bestudeert de verschillende soorten aardbevingen.

[97] Zie het document "Warmtelekken Vermijden" op de 1ste pagina van de website www.nienhuys.info

Het instituut is een agentschap van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu. De taken van het KNMI zijn vastgelegd in de Wet op het KNMI. www.knmi.nl KNMI geeft geen informatie over bouwkundige of seismische versterking.

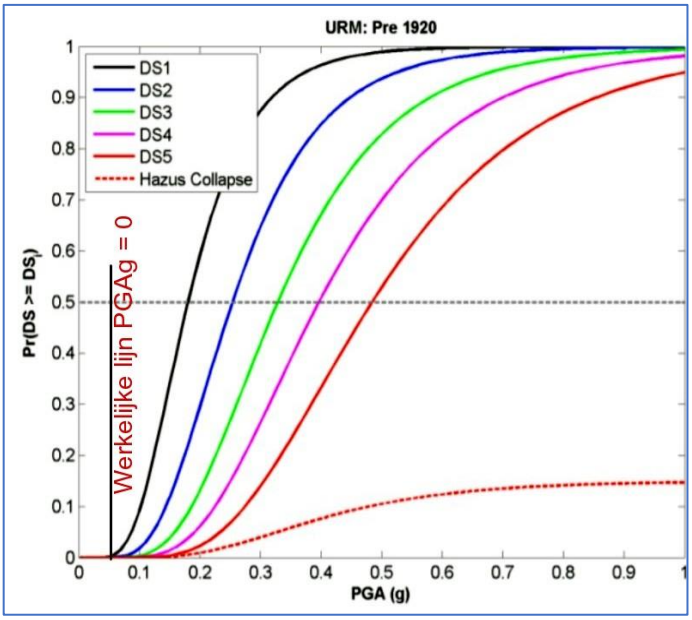
Het KNMI werd door de NAM gevraagd de Mmax te berekenen. Het KNMI is daardoor indirect medeverantwoordelijk voor de bepaling van de aardbevingssterkte contourenkaart die bij de NPR9998 hoort. De KNMI kon alleen verleden gegevens bestuderen en de informatie die door de NAM werd aangeleverd (over de planning van de toekomstig gasexploitatie). De KNMI brekende echter de mogelijk zwaarste aardbeving die de NAM mogelijk kon creëren met versnelde en onevenwichtige aardgas exploitatie. Daaroverheen kwamen de nodige onzekerheden. De Mmax moet echter bepaald worden op basis van de gebouwsterkte van elke typologie of de fragility curve, niet op basis van het maximaal haalbare schadeniveau.

Kwetsbaarheidsdiagram

(Fragility curve). {Eurocode 8: 1.4.2.15}. Diagram of schema dat de kans weergeeft op een bepaalde mate van fysieke schade (scheuren, bezwijken, verzakken) als functie van de sterkte van een enkele schok van een aardbeving, type Groningen geïnduceerd[98]. Elk type gebouw heeft een ander kwetsbaarheidsdiagram. Van een aantal van hetzelfde type gebouwen kan op basis van meting en observatie het schadeniveau na een aardbeving worden vastgesteld en het kwetsbaarheidsdiagram; dat dan voor alle gebouwen van datzelfde type kan gelden. De NAM-consultant Arup heeft in 2013, op basis van de toen beschikbare gegevens, die verschillende kwetsbaarheidsdiagrammen ingeschat van verschillende soorten (typologieën) gebouwen.

Volgens de onderstaande grafiek (eerste ontwerp uit 2013) zouden dan bij een PGAg 0,4 pas 50% van de pré-1920 woningen een DS4 schade hebben. Dat wil zeggen onherstelbaar beschadigd. De onderste gestippelde lijn in de grafiek geeft de Hazus Collapse aan. [99]

Op basis van de geleden schade (2.200 meldingen na Huizingen 2012) en de beoordeling van veel van die schadedossiers is in 2014 de inschatting dat pré 1920 woningen dan > 80% gedeeltelijk ingestort zouden zijn. Deze eerste ontwerp grafiek geeft daarom een onrealistisch beeld van de situatie.



Figuur 1-71. Kwetsbaarheidsdiagram. Van woningen van vóór 1920, 'op staal' gebouwd, met steens muren en grote ramen of smalle penanten en houten vloeren zonder diafragmafunctie. De linker schaal is het aantal dat beschadiging oploopt bij de onderstaande PGA-waarde. Arup 2013.

De zwarte lijn van DS1 (lichte schade) loopt in deze diagram pas op bij PGAg 0,05 en is bij PGAg 0,1 ongeveer 10%. ***Dit komt echter niet overeen met de werkelijkheid****, waarbij in Huizinge >50% van de pré-1920 woningen al schade had bij PGAg 0,085.*
De verticale PGA 0-lijn zou dus al moeten beginnen op het beging van de zwarte lijn én alle lijnen moeten iets steiler lopen.

[98] Een enkele schok van een fractie van een seconde. Bij tientallen schokken is de schade vele malen groter.
[99] De Hazus Collapse wordt uitgelegd in het document: https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-09/fema_hazus_advanced-engineering-building-module_user-manual.pdf

Voor het seismisch (preventief) versterken van die typische gebouwen met standaard bouwkundige oplossingen, is een kwetsbaarheidsdiagram een theoretische bijdrage in het besluitvormingsproces.

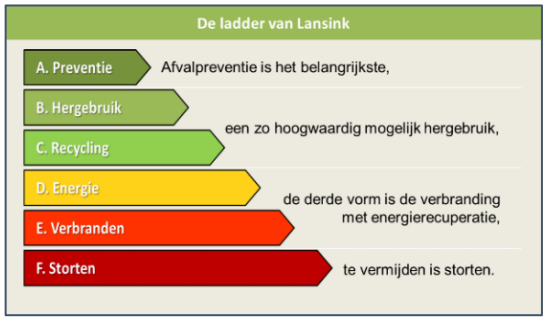
Figuren 1-72. Oude herenboerderijen. Deze behoren tot de kwetsbaarste gebouwen.
Links. De oudste gebouwen vaak met leem en kalkmortel gemetseld, hebben hoge ramen, gebrek aan vloer-muur verbindingen en hoge zware schoorstenen op een slappe houten kap. Ze zijn verbonden zijn aan de grote flexibele schuur. Bovendien zijn sommige van de kopgebouwen gedeeltelijk onder-keldert wat verschil in zetting oplevert. Omdat tussen het kopgebouw en de hals of tussen de hals en de romp geen dilataties zijn gemaakt zullen ze daar scheuren. De grote schuur heeft zo haar eigen seismische problemen. (Foto's Internet-Funda)
Rechts. Doorzonwoningen of rijtjeswoningen zonder dwarsmuren zijn erg kwetsbaar bij aardbevingen.

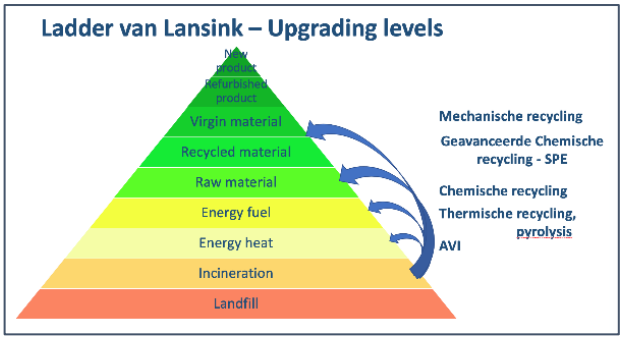
Ladder van Lansink

De politicus Ad Lansink heeft al in 1970 deze ladder ontwikkeld om het afval (in de bouw en industrie) te verminderen en beter te beheersen. Hoe hoger op de ladder, hoe beter het systeem voor het milieu (lagere CO_2-uitstoot) en beter in het kader van circulair bouwen. Hiermee liep hij al 50 jaren vooruit op de steeds groter wordende milieu- en grondstoffen problematiek.

Voor duurzaamheid en het "Cradle to Cradle" concept moet het gebruik en hergebruik van alle (bouw) materialen zoveel mogelijk geoptimaliseerd worden. Momenteel heeft bouwafval een lage restwaarde omdat er in de ontwerpfase met hergebruik geen rekening mee werd gehouden. Het werd vroeger niet toegepast op een manier zodat het op een economisch gunstige manier recyclet kon worden.

Figuren 1-73. Ladders van Lansink.
Verbranden of storten is het minst wenselijke. Preventie van afval en het reduceren van afval is het belangrijkste, daarna komt hergebruik, ook van sloopmaterialen. De totale CO_2 uitstoot is medebepalend voor de positie op de ladder.





Bijvoorbeeld, de arbeidskosten van het schoonmaken/verzagen van oude baksteen is meestal veel hoger dan die van nieuwe baksteen (inclusief de energiekosten)[100]. Dat komt omdat in de huidige (bouw)industrie de totale milieukosten voor het maken en transporteren nauwelijks meegenomen worden. Wanneer bakstenen worden verkruimeld dan wordt de restwaarde erg laag. Zie ook hoofdstuk 12 Verduurzamen.

Bij het handhaven van een bestaand gebouw (bij een renovatie) kunnen de woningwetwoningen uit de jaren '60 en '70 buiten de boot vallen, omdat de netto etagehoogte met 240 cm nu onvoldoende wordt geacht. Bij oude gebouwen en hoge kamers is er dan meer mogelijk. Bestaande gebouwen en monumenten handhaven staat dan ook boven aan op de ladder, ook al zijn de financiële kosten vaak hoger dan nieuwbouw. Bij 50% meerkosten t.o.v. slopen en nieuwbouw is de voorkeur hergebruik van alle uit de sloop vrijkomende bouwmaterialen. Daarvoor moet de afval gescheiden blijven.

Lateral Force Resisting System (statische weerstand berekening)

De horizontale weerstand van een gebouwverzameling wordt bepaald door de afschuifbestendige muren *(shear walls),* dragende muren portalen en kolommen, en verbonden met diafragma's, die tezamen de weerstand bieden tegen aardbevingen. Dit systeem kan op een redelijk eenvoudige manier worden uitgerekend[101] en geeft voldoende zekerheid voor de gebouwsterkte omdat er in die berekeningen de gebruikelijke marges zitten. Dit is vooral zo bij laagbouw en stijve constructies. Voor elastische of flexibele hoogbouw (+10 etages), wordt de elastische absorptie of ductiele vervorming bij deze statische berekening niet meegenomen.

De berekeningsmethode volgens bovenstaand systeem (*Lateral force calculation method*) is de klassieke berekeningsmethode voor de sterkte van een gebouw. Hierbij wordt aangenomen dat de aardbeving een horizontale kracht op het gebouw uitoefent die gerelateerd is aan de massa van het gebouw (PGAg 0,1 = 10% van de massa en PGAg 0,2 = 20% van de massa). Deze horizontale krachten op het gebouw worden overeenkomstig de geldende aardbevingscode aangepast naar gelang; (a) de massa van de constructie, (b) de belangrijkheidsfactor, (c) het constructie type of de gedragsfactor van het gebouw, (d) de grondsoort, (e) de hoogte en (f) de onregelmatigheid van het gebouw.

Voor eenvoudige gebouwen met weinig etages is de statische berekening voldoende nauwkeurig en is in een paar minuten klaar. De zogenaamd 100% precieze NLTHA-methode kost weken werk, kan alleen met een geavanceerd computerprogramma berekend worden en kan voor een klein gebouw 15.000 euro kosten. Deze methode geeft geen betere uitkomst wanneer het over de lage PGAg 0,2 gaat zoals relevant is in de provincie Groningen of geïnduceerde aardbevingen.

Oudere gebouwen hebben vaak aanpassingen en veranderingen ondergaan. Als er aan een van de 12 of 30 typologieën gerekend wordt, dan kan een gelijksoortig gebouw van dezelfde typologie flink afwijken. Bovendien, met de berekening met een PGA die 100% afwijkt is het resultaat van die NLTHA-methode niet beter dan met een eenvoudige berekening met de Lateral Force Resistant Methode.

Magnitude of Intensiteit

Dit is de maat voor de sterkte van de aardbeving, meestal uitgedrukt als getal op de schaal van Richter of als momentmagnitude (MMS; ook genoteerd als Mw, waarin w staat voor de verrichte arbeid). Er bestaan verschillende schalen voor de magnitude die echter **niet goed met elkaar te vergelijken zijn**.

[100] Wanneer de energiekosten voor het maken van bakstenen sterk oplopen, zoals het geval was in de tweede helft van 2022, wordt het wel weer interessant om oude baksteen te hergebruiken, maar de recycling van sloopmaterialen is daarvoor nog onvoldoende ingericht.
[101] Bij een PGAg 0,2 wordt 20% van de bouwmassa boven de rekenlijn genomen als horizontale belasting.

De magnitude is gebaseerd op het moment van de aardbeving, welke gelijk is aan de starheid van de aarde, vermenigvuldigd met de gemiddelde verzakking van de breuk en de omvang van het gebied dat is verzakt. De MMS schaal werd ontwikkeld in de jaren 1970 als opvolger van de schaal van Richter. De MMS is nu de primaire schaal die door het *United States Geological Survey* (USGS) wordt gebruikt voor het meten van elke grote aardbeving. Net als bij de schaal van Richter, is de MMS een logaritmische schaal. Bij een verhoging van 1 punt op de Mw- of Richter-schaal, is de aardbeving ≈10x zo sterk. De KNMI gebruikt bij de aardbevingssterkte sterkte aanduiding de Richter schaal **die niet direct vergeleken kan worden met de PGAg voor de belasting op gebouwen.**

Een aardbeving Richter 4,6 (PGAg ≈ 0,22) is **dus 10x zo sterk** (energie in het epicentrum) als een beving Richter 3,6 (PGAg ≈ 0,085 Loppersum). Aan het aardoppervlak (epicentrum) betreft dat de horizontale bevingskracht, niet de schoksnelheid. De totale energie van een aardbeving in het hypocentrum gaat in drie richtingen en is **dus 31,6 x zo sterk** met een hele punt verhoging van Richter of Mw. {Eurocode 1.4.2.1} en {Eurocode 1.4.2.3}.

> Het grote probleem (voor de Pers en de bevolking) van de KNMI-NPR Richter weergave is dat hun prognoses uit 2015 aangaven dat de aardbevingen een sterkte van Richter ≈ 5,6 en hoger konden bereiken, waarbij wél verteld werd dat Richter 4,6 **10X** zo sterk is dan Richter 3,6 (2012 Huizinge), maar NIET dat de PGAg slechts ≈ **2X** zo sterk zou zijn.
>
> Een beving Richter 5,6 is een aardbeving die **100X** zo sterk is als de Huizinge beving. Dat zou een grondversnelling kunnen geven die ongeveer **5X** zo groot was. Gezien de dunheid van het reservoirgesteente is dat niet mogelijk.

Alleen de PGA van de beving is maatgevend voor de gebouwschade en daarom in de NPR vermeld. Er zijn drie PGA-waarden; verticaal, radiaal vanuit het epicentrum en de S-golven van rechts naar links vanuit het epicentrum (slangenbeweging).

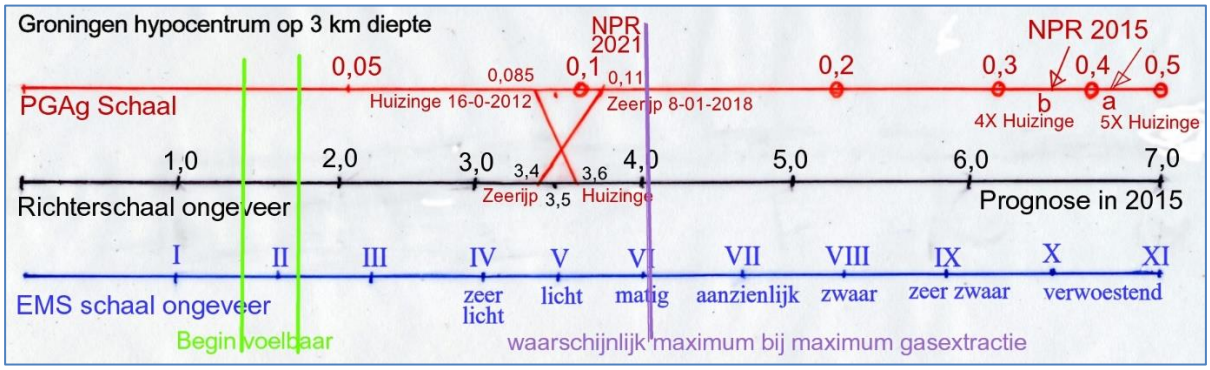
Schaal van Richter (energie).	Omschrijving in het Epicentrum	≈ PGA_g
1-4 Lichte aardbeving	Type geïnduceerd in de provincie Groningen.	< 0,1
4-6 Matig zware bevingen	Gewapend metselwerk is verplicht volgens de meeste aardbevingscodes	> 0,2
> 6 Zware aardbeving	Komt niet voor in Nederland	> 0,3
Schaal van Mercalli	**Omschrijving van de ervaring van mensen.**	
I. Niet gevoeld	Slechts door seismometers geregistreerd	0,01
II. Nauwelijks gevoeld	Alleen onder gunstige omstandigheden gevoeld[102]	0,02
III. Zwak	Door enkele personen gevoelt. Trilling als van verkeer	0,04
IV. Vrij sterk	Door velen gevoelt. Trillingen als van zwaar verkeer. Rammelen van ramen en deuren.	0,06
V. Sterk	Algemeen gevoelt. Opgehangen voorwerpen slingeren. Slapende mensen worden wakker.	< 0,08
VI. Lichte schade	Schrikreacties. Voorwerpen in huis vallen om. Lichte schade aan minder solide huizen.	< 0,1
VII. Schade	Paniek. Schade aan veel gebouwen. Schoorstenen breken af. Golven in vijvers.	< 0,15
VIII. Zware schade	Algehele paniek en schade aan gebouwen. Zwakke bouwwerken gedeeltelijk vernielt.	< 0,2
IX. Verwoestend	Veel gebouwen en funderingen zwaar beschadigt. Ondergrondse pijpleidingen breken.	0,3
X. Buitengewoon verwoestend.	Verwoesting van vele gebouwen. Schade aan dammen en dijken. Grondverplaatsing en scheuren in de aarde	>0,4

Vaststelling van de intensiteit van Mercalli vindt achteraf plaats via waarnemingen van schade en via enquêtes; de **gevoelswaarde** speelt hier dus de hoofdrol. De intensiteit hangt af van de magnitude van de beving, de bodemgesteldheid en de afstand en diepte tot het hypocentrum. Deze gegevens worden weergegeven op een intensiteitenkaart.

[102] Bijvoorbeeld ‘s nachts wanneer men rustig in bed ligt. Overdag komen ze ook voor, maar men voelt ze dan niet. Deze lichte aardbevingen kunnen echter wel invloed hebben op de gebouwde omgeving.

Bij de aardbevingen in Groningen wordt door de KNMI hoofdzakelijk de Richterschaal gebruikt. Omdat alle bevingen uit dezelfde 3km diepte voortkomen, zijn ze goed met elkaar te vergelijken, maar niet met tektonische aardbevingen. **In berekeningen wordt alleen de PGA gebruikt.**

De verschillende schalen zoals van Richter (Energie, M_w), EMS (schade) met Mercalli (gevoel en schade), en de PGA-zonering van de Eurocode 8 lopen niet gelijk op. Alle PGA's (acceleratie) van tektonische en Groningse geïnduceerde bevingen zijn wel met elkaar te vergelijken, onafhankelijk van de diepte van het hypocentrum; daarom zijn die vermeld in de Eurocode en de NPR.



Figuur 1-74. Vergelijking van schalen. De PGA wordt sterk beïnvloed door de diepte van het hypocentrum. De Richterschaal heeft alleen met de kracht van de aardbeving te maken (+1 punt = 10X zo sterk) en kan vanwege de relatief dunne zandsteenlaag niet erg groot worden. De Richterschaal heeft weinig met de grondversnelling te maken. De Zeerijpbeving had dus minder kracht dan de 2012 Huizinge beving (dubbele schok), maar wel een grotere PGA dan die Huizinge beving.

Maximum aardbeving, Mmax

Dit is bij tektonische aardbevingen de (theoretisch) maximaal waarschijnlijke aardbeving in een bepaald gebied (Mmax in PGA), berekend op basis van gegevens uit het verleden en aangepast op basis van risicoberekeningen, verhoogd met toleranties en onzekerheden en soms met extra "veiligheden" zoals voor lange periodes (*design-earthquake*). Deze Mmax bij tektonische aardbevingen heeft een geschatte kans dat deze ook werkelijk voorkomt (bijvoorbeeld een kans van 10% in 2475 jaar). Op deze Mmax-PGA wordt dan ontworpen, zodat het gebouw 'net niet instort'. Deze ontwerpwaarde voorkomt niet dat het gebouw scheurt of *total-loss* wordt. Wanneer de risico's niet duidelijk kunnen worden gedefinieerd, wordt er een verhogend percentage voor die onzekerheid toegepast. Hoe meer onzekerheden, hoe hoger de grondversnelling.

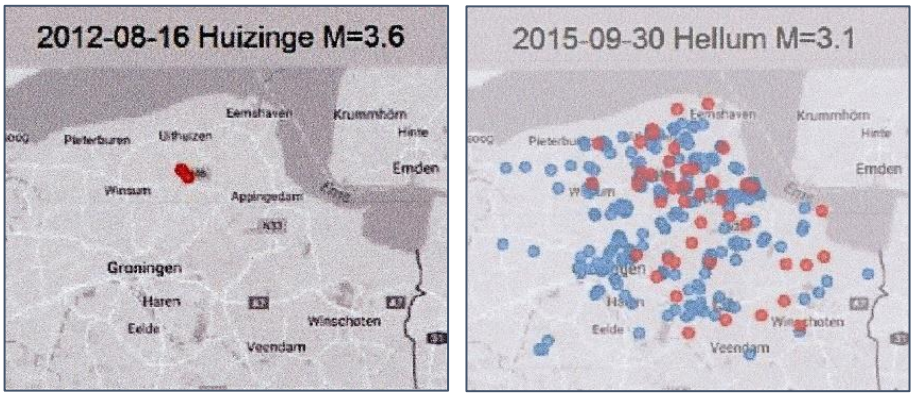
Voor het bepalen van de Mmax bij geïnduceerde aardbevingen is niet bepalend hoe zwaar die **kunnen** morden, maar hoe zwaar die **mogen** worden. Dit hangt af van de kwaliteit van de gebouwde omgeving, de infrastructuur en de industrieën.[103] De methodologie om van de verschillende typologieën de accepteerbare schadeniveaus vast te stellen is dan de enige juiste.

Wanneer de toekomstige aardbevingen of schokken niet sterker worden dan de 2012 Huizinge beving (PGAg = 0,085 of < 0,1) zijn er volgens de NPR nauwelijks seismische versterkingen noodzakelijk. Er stort dan namelijk niets in. Echter, er zullen dan wel veel scheuren blijven optreden bij meerdere schokken. Het versterken tot op het NPR-niveau van PGAg 0,2 is dan een goede maatregel die de veiligheid van de bevolking garandeert.

[103] Bij gevaarlijke industrieën is het produceren van zware aardbevingen niet wenselijk als door die aardbevingen schadelijke stoffen of straling vrijkomt die nog meer schade kan aanrichten onder de bevolking dan de kracht van de aardbeving zelf. Bij infrastructuur moet bijvoorbeeld voorkomen worden dat een belangrijke dij inzakt en vervolgens een groot gebied onder water komt te staan wat meer materiele schade en slachtoffers oplevert dan alleen de aardbeving.

Meetnetwerk

Met het seismologisch meetnetwerk van accelerometers en boorputseismometers kunnen de KNMI en TNO voor de NAM de aardbevingen registreren, zowel aan het aardoppervlak als op grote diepte. Ook aan de funderingen van gebouwen zijn in de provincie Groningen een paar honderd accelerometers geplaatst. Door de informatie van de diepe metingen te koppelen aan de metingen aan het aardoppervlak kan men bepalen hoe de relatie is tussen deze twee metingen. De seismografen aan de funderingen geven echter ook de gebouwresponse (natrillen) weer voor de verschillende soorten constructies; dit moet gecorrigeerd worden.



Figuren 1-75. KNMI-meetnetwerk. KNMI (rood) en TNO (blauw) sinds 2012 tot en met 2015. Door het grote meetnetwerk kunnen betere data verzameld worden en nauwkeurige kaarten worden gemaakt.

Momentsterke structuur

Momentvaste hoofddraagconstructie; (*moment-resisting frame).* Een gebouwconstructie biedt weerstand aan horizontale krachten omdat de onderdelen zoals muren, balken en kolommen weerstand bieden tegen elastische buiging. Na de belasting neemt de draagconstructie structuur weer haar oorspronkelijke vorm aan. Een momentsterke hoofddraagconstructie met elasticiteit heeft een hogere *q*-factor dan een stijve doosconstructie (baksteen woningen). Balk- en kolomstructuren die bij een overbelasting blijvend vervormen (maar niet breken) noemt men taai *(ductiel)*. Een taai gebouw heeft een hogere *q*-factor dan een gewone momentsterke structuur.

Nationale Coördinator Groningen (NCG).

Hans Alders was NCG in 2015 door de Minister EZ aangesteld vanwege de aardbevingsproblematiek in Groningen, met als taak na te gaan waar versterking nodig is en hoe deze aangepakt moet worden. Hij formeerde de organisatie en nam in 2018 afscheid. Op 17 juni 2019 is dit instellingsbesluit gewijzigd. De NCG is daarna de uitvoeringsorganisatie die verantwoordelijk is voor de opnames, beoordelingen en de bouwkundige uitvoering van de reparaties en versterkingen. Kort daarna werd de IMG opgericht die alleen het herstel (zonder versterking) ging managen en uitvoeren. Vanaf 1 januari 2020 is NCG de enige management en uitvoeringsorganisatie voor de versterkingsopgave.[104]

Niet-constructief gebouw onderdeel

Niet constructief onderdeel. {Eurocode 8: 1.4.2.12}
a. Constructief onderdeel, niet behorend tot de hoofddraagstructuur van het gebouw. Een constructief onderdeel, dat, ofwel wegens gebrek aan sterkte of wegens de manier waarop het verbonden is aan de hoofdstructuur, niet mag worden wordt beschouwd als een draagconstructie dat weerstand biedt aan een aardbevingsbelasting ter voorkoming van voortschrijdende instorting. Zie ook {Eurocode 8: 4.3.5}.

[104] https://www.nationaalcoordinatorgroningen.nl/over-ons/instellingsbesluit

b. Niet-constructief onderdeel. Architectonisch of elektrisch onderdeel, dat, ofwel wegens gebrek aan sterkte ofwel wegens de manier waarop het verbonden is met de bouwconstructie bij een aardbeving kan leiden tot een of meer slachtoffers. Zie ook {Eurocode 8: 4.3.6}
De niet-constructieve onderdelen mogen **geen nadelige belastingen opleveren aan de constructie**.

Deze onderdelen tellen dus niet meer voor de sterkteberekening van het gebouw en zijn ook gebouw onderdelen die bij de maximale aardbeving wel kunnen of mogen instorten /afvallen.

Vóór 1960 werden zelden alle onderdelen van een gebouw op sterkte en verbinding berekend. Vóór 1940 en helemaal vóór 1900, werd hoofdzakelijk op ervaring gebouwd betreffende funderingen, muurdikte en raamoverspanningen zoals lateien; ook in de stad Groningen. Later werd het verplicht dat de verbindingen tussen niet constructieve elementen en constructieve onderdelen meer dan voldoende sterk waren en waar nodig ook ductiel waren (vervormbaar bij overbelasting).

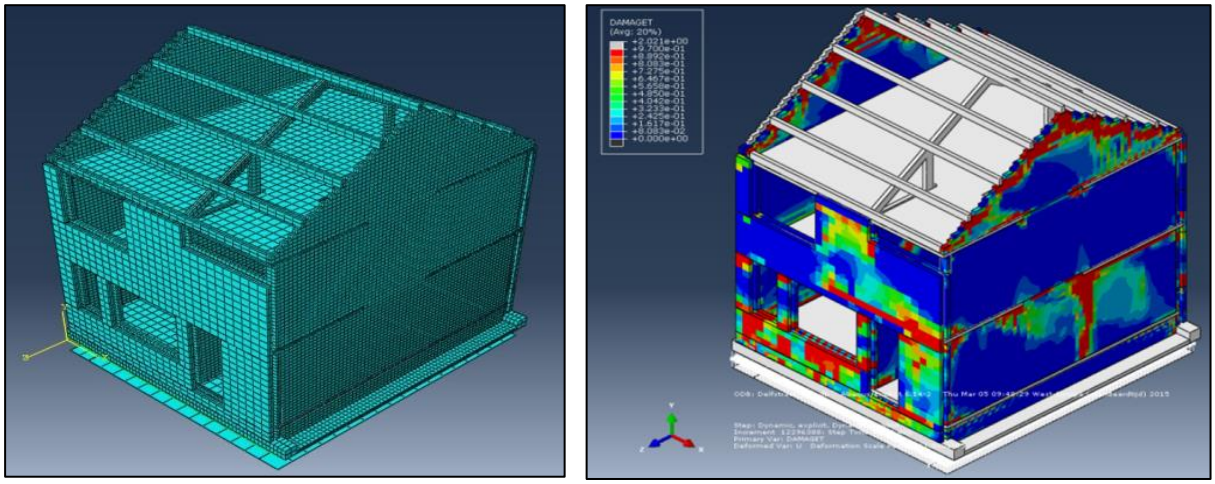
Figuur 1-76. Neerstorten van gevels. Deze niet constructieve elementen van oudere gebouwen, die niet volgens de seismische code waren gebouwd, zoals façades, topgevels boven winkelgalerijen, waren de belangrijkste oorzaak van dodelijke slachtoffers onder de bevolking. Vooral invulpanelen bij space-frame gebouwen of gewapend betonconstructies moeten speciale aandacht krijgen zodat ze ductiel aan de hoofdconstructie zijn verbonden. (Internetfoto) In Christchurch, New Zealand,

NLTHA. Non-Linear Time-History Analysis

Deze (Niet Lineaire Tijd-Geschiedenis Analyse, NLTGA) rekenmethode is gebaseerd op de tijdgebonden reactie van het gebouw tijdens een aardbeving. Het verticale en de twee horizontale en grondsignalen van een aardbeving worden hierbij toegepast op de fundering.[105] Om deze methode te kunnen toepassen en uitrekenen wordt het gehele gebouw in kleine stukjes berekend (bijvoorbeeld 30 cm x 30 cm) waarbij de elasticiteit en de sterkte van elk stukje wordt ingevoerd en diens verbindingen (taai, elastisch, flexibel) met het aansluitende stukje. Dit betekent dat er duizenden tot tienduizenden stukjes ingevoerd moeten worden; dit is specialistenwerk en duurt weken (en is dus heel duur).

Speciale hiervoor ontworpen computerprogramma's voeren de vele berekeningen uit van elke trilling en van alle stukjes[106]. Hierdoor kan men theoretisch zien welke punten of zones in een gebouw het zwakste zijn en het (gaan) begeven. Voor nieuwe of bestaande gebouwen zijn dat dan de locaties waar de versterkingen dan moeten worden toegepast of het ontwerp aangepast.

[105] In verschillende situaties werd in Nederland een hoog grondsignaal gebruikt (PGAg > 0,3) van een aardbeving in Turkije die verder weinig met de Groningse aardbevingen te maken had.
[106] Voor het invoeren en uitrekenen van het 13 verdiepingen hoog flatgebouw Dijkzicht waren verschillende maanden nodig. In een dergelijk geval moeten de bouwtekeningen bestudeerd worden en metselwerk of betonwerk testen worden uitgevoerd om de juistheid van de data zo goed mogelijk te benaderen. Het feitelijke uitrekenen moet gebeuren met een trilling signaal dat overeenkomt met het type schokken en de grondsoort die zich in de provincie Groningen voordoen. Deze informatie werd in 2015 afgeleid van tektonische bevingen in Turkije, maar die waren aanzienlijk hoger dan wat zich in Groningen zou kunnen voordoen.

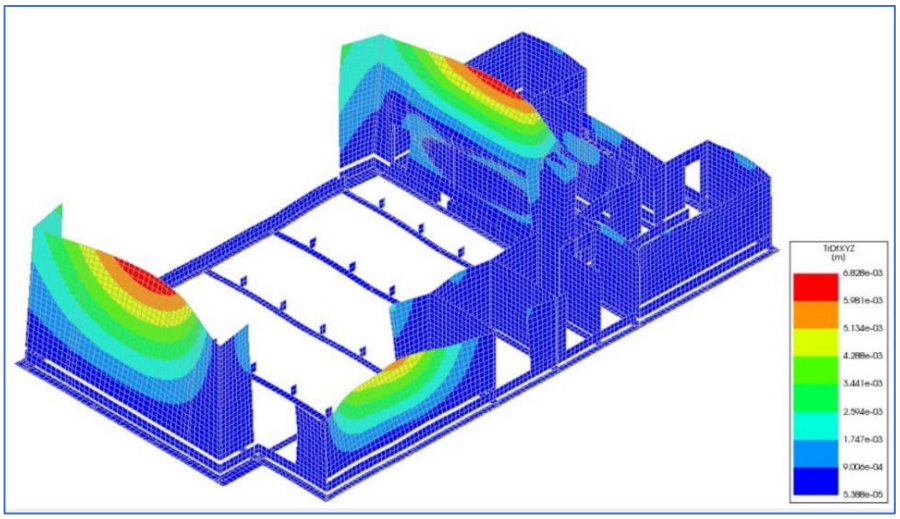


Figuren 1-77. Kleine stukjes van 30 x 30 cm. Voorbeeld van het opdelen van een rijtjeswoning en het resultaat van een NLTHA door Zonneveld Ingenieurs. Rood zijn schadezones in metselwerk, zoals scheuren.

De Commissie Meijdam heeft 14 december 2015 een advies[107] uitgebracht over 'Omgaan met de risico's van geïnduceerde aardbevingen'. In dit advies wordt gesteld dat deze Commissie pleit voor het gebruik van een precieze rekenmethode, de zogeheten '*finite elements'–method* (NLTHA), omdat dit voldoende betrouwbaarheid zou opleveren. Voor bestaande gebouwen kan het hele gebouw 3D gescand worden en digitaal uitgetekend.

De verfijning van de rekenmethode op basis van een te zwaar aangenomen PGA-waarde is niet relevant. Bovendien, bij oudere woningen moet er een gok gedaan worden naar de sterkte en de constructie details. Een paar weken computer rekenen via de NLTHA levert hetzelfde bouwkundige resultaat op als een half uurtje rekenen op één A4. Een praktisch inzicht in de algemene gebouwconstructie is dan sneller en betrouwbaarder.

Voor lage en stijve baksteen gebouwen is de NLTHA-methode nauwelijks relevant. Deze methode is sinds 2015 in Groningen voor duizenden woningen toegepast[108]. In een dergelijk geval kan ook met de eenvoudige statische methode worden gerekend.



Figuur 1-78. NLTHA-berekening van school. De bakstenen topgevels laten veel vervorming zien (blauw en groen), en zullen daardoor het eerste beschadigen (oranje en rood). Afbeelding van AVECO.

[107] Commissie Meijdam Eindadvies 14-12-2015 https://zoek.officielebekendmakingen.nl/blg-646523.pdf

[108] De oorsprong van deze besluitvorming ligt waarschijnlijk in het rapport van de Commissie Meijdam 2015 waarin deze methode voor de typologie benadering werd aanbevolen als zijnde 100% precies (hetgeen dus uiteindelijk niet zo is). Zie: https://zoek.officielebekendmakingen.nl/blg-646523.pdf

Bovenstaand is een analyse van een schoolgebouw, maar de topgevels zijn hier (in de berekening) niet verbonden aan de dakconstructie. Het effect is dat deze topgevels gaan zwiepen en afbreken. De bevingsbelastingen moeten in verschillende richtingen uitgevoerd worden. In het epicentrum (gemeente Loppersum) staat het niet vast vanuit welke richting de aardbeving komt.

Noodmaatregelen

Maatregelen die zijn of worden genomen om instortingsgevaar te voorkomen, of om ergere schade aan een gebouw te voorkomen. In sommige situaties wordt de noodzaak geïdentificeerd met een RVS of EVS. De belangrijkste maatregelen zijn het stutten van constructies of gebouwen om het omvallen van muren te voorkomen, en het afzetten van het loopgebied rondom het gebouw zodat gebouw onderdelen niet op personen kunnen vallen.

Figuren 1-79. Risicovolle gevelconstructies. De flexibele kap geeft geen steun (wel extra belasting) op de al grote massa van de hoge kopgevel.
Rechts: Stutten van een oude slechte zijmuur.

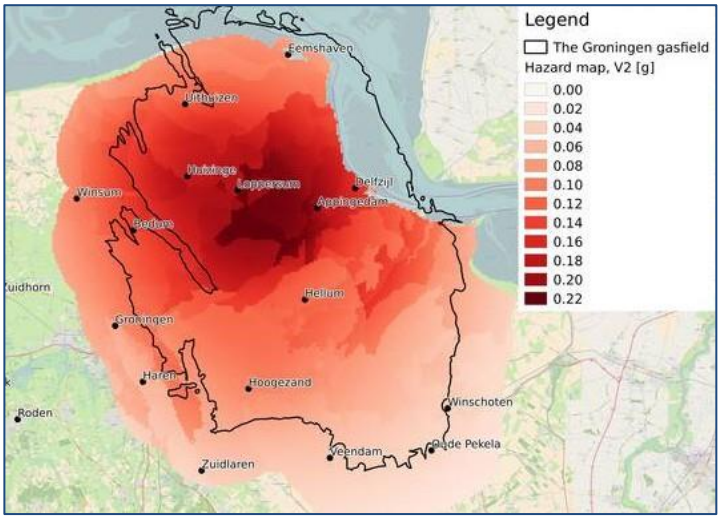
In de provincie Groningen werden in veel gevallen noodmaatregelen genomen bij oude boerderijen, omdat de houten kapconstructies erg flexibel zijn en bij een aardbeving de stijve bakstenen zijmuren wegdrukken. Bij oude woningen komen ook noodmaatregelen voor, inclusief het plaatsen van steigers en stempels in het gebouw ter ondersteuning van vloeren die los geraken. Een andere noodmaatregel is het uit huis plaatsen van de bewoners. Dit kan soms wettelijk door de plaatselijke gemeente moeten gebeuren, op last van Bouw en Woning Toezicht (BoWoTo).

Nederlandse Praktijk Richtlijn, NPR9998

De Eurocode 8 geeft de berekeningsmethode aan voor aardbevingsresistent bouwen. Deze code geldt voor heel Europa en heeft per land een kaartbijlage die de maximale aardbeving per regio in dat land aangeeft. De Eurocode 8 is weer gebaseerd op de Amerikaanse ACI 318-71 en de daaropvolgende verfijningen met betere rekenmethoden voor tektonische aardbevingen. De NPR9998:jaartal is in eerste instantie een vertaling van de Eurocode 8. Ingenieurs kunnen ook de Engelstalige Eurocode 8 makkelijk gebruiken. Voor niet-bouwkundig of wiskundig onderlegde professionals is de NPR een moeilijk te begrijpen document.

De NPR geeft vier verschillende rekenmethodes aan voor de berekening van een gebouw. Daarvan is de statische methode het eenvoudigste en goed voor gewone constructies zoals de Groningse laagbouw. De NLTHA is de meest ingewikkelde en geschikt voor hoogbouw (> 10 etages).

De NPR9998:2020 geeft via een nieuw Home Webtool de PGAg per locatie en de herhalingstijd periode aan https://seismischekrachten.nen.nl/map.php . Bij een locatie waarbij de PGAg <0,05 bedraagt bij een herhalingstijd van 95 jaar is geen speciale seismische sterkteberekening nodig. Veel woningen kunnen wel versterkt worden zodat ze bij een PGAg 0,2 weinig schade oplopen.



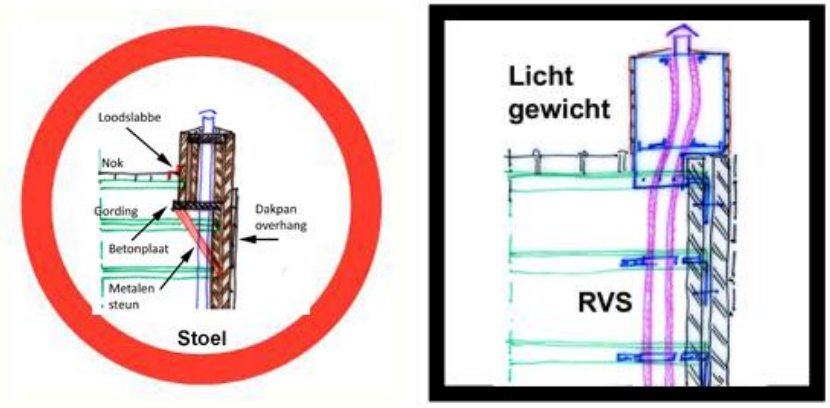
Figuur 1-80. Dreigingskaartje met PGAg 0,022.
Dit was een vrij reëel kaartje, waar ook nog een flinke veiligheidsmarge in zat voor het epicentrum gebied tussen Ten Boer en Loppersum. 2014 Arup.

In 2018 toen voor de derde keer de PGA-waarde werd verlaagd, zou alleen nog in het kerngebied van de regio (gemeente Loppersum en zuid en zuidoost daarvan) de maximale grenswaarde van PGAg = 0,13 bereikt worden.

Onveilige situatie

Een onveilige situatie in relatie tot aardbevingen is een situatie die bij extra of meerdere schokken of bij zwaardere aardbevingen kunnen leiden tot het afvallen van gebouwonderdelen of het instorten van gebouwen of gebouwonderdelen (e.g. schoorstenen) of vloer- en dakconstructies kan bezwijken.

Deze onveilige situaties kunnen vaak worden waargenomen tijdens een RVS, *(Rapid Visual Screening*), waarna met een EVS *(Extended Visual Screening*) ook **binnen in het gebouw gekeken kan worden** of er reële risico's bestaan. Na een bestudering van de bouwkundige details kan deze onveilige situatie worden weggenomen. Bij een hoog-risico situatie kunnen er tijdelijk stutten worden aangebracht totdat de onveilige situatie is weggenomen. Het wegnemen van een onveilige situatie is nog geen bouwkundig versterken.

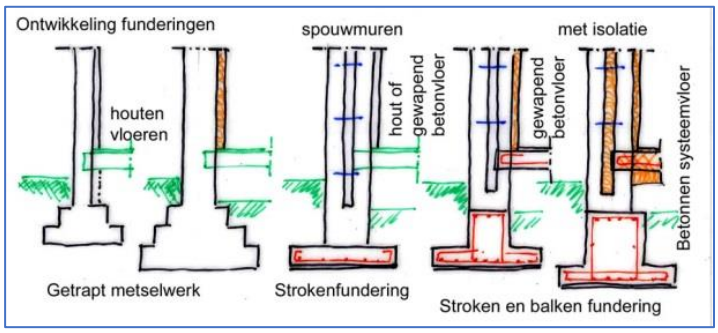


Figuren 1-81. Schoorstenen zijn risicovol.
Een zware baksteen schoorsteen op flexibele houten kapconstructies en op een stoel kan vervangen door een veilige lichtgewicht schoorsteen. De gemetselde topgevel en de verankering blijven problematisch, vandaar dat de tweede schets geen blauw kader heeft.

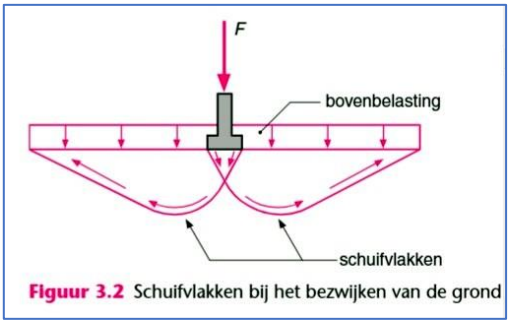
Op staal (gebouwd of gefundeerd)

De uitdrukking 'op staal' is afgeleid van 'op stal' wat in het oud-Germaans rust betekent (het paard staat op stal). Het heeft niets met staal (ijzer) te maken en is in veel gevallen geen sterke dragende fundering die extra belasting kan opnemen. Extra funderingsbelasting ontstaat door de verticale en horizontale schokken van de aardbeving (kanteleffect bij horizontale belasting). De verticale trillingen en schokken kunnen op slappe gronden tot zetting leiden. Dit is vooral het geval bij funderingen die 'op evenwicht' zijn gebouwd, waarbij de grond onder de funderingen kan afschuiven door de aardbeving en andere (verkeers-)trillingen. Bij voorkeur wordt fundering 'op staal' op een vast zandpakket gebouwd, maar in de provincie Groningen is dit zelden het geval, vandaar dat op natte en elastische kleigrond en veen veelvuldig zettingen voorkomen.

Bij een fundering ‘op staal’ die op natte grond staat kan het grondwater onder de fundering uitgeperst worden, waardoor deze fundering zakt en scheuren in de baksteen muren veroorzaakt[109]. De fundering ‘op staal’ is in de loop der jaren verbeterd door de toevoeging van gewapende betonstroken, en later betonstroken met geïntegreerde balken (schets); geen funderingen op palen.

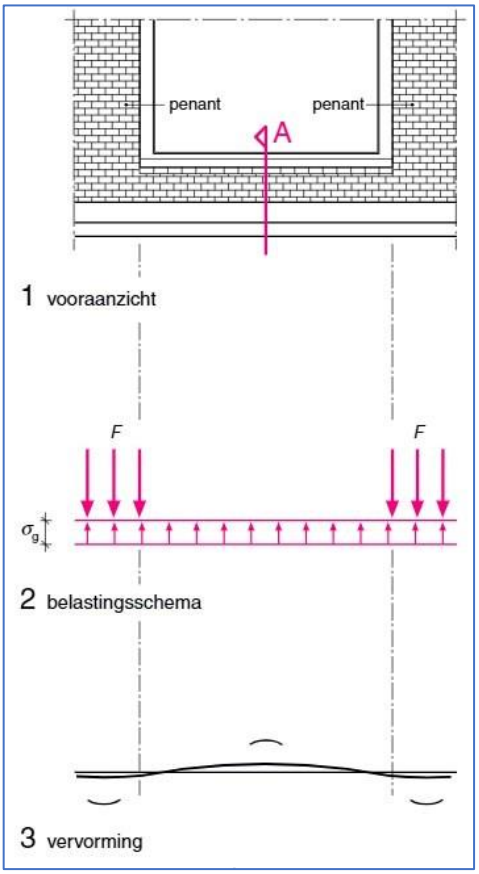


Figuren 1-82. Funderingen op staal moeten breder. Dit is vooral zo bij hogere gebouw-belastingen.



Figuur 3.2 Schuifvlakken bij het bezwijken van de grond

Door de toepassing van funderingen op stroken en balken ontstaan er minder scheuren in de funderingen, maar mogelijk wel hoger in het gebouw (jaren ‘70-‘80). [110]



Permeabiliteit

Doorlaatbaarheid van een materiaal (gerelateerd aan porositeit). Dit houdt verband met het aantal en grootte van de kanaaltjes tussen de poriën in het zandsteen. Er zijn een groot aantal boorgaten (300) voor de aardgasextractie in Groningen. Het gas uit de omgeving van die boorgaten stroomt vanwege de permeabiliteit langzaam naar die extractie punten.

Wanneer de compactie toeneemt (door gaswinning), kan ook de permeabiliteit van dat zandsteen iets afnemen, waardoor de drukverschillen minder snel nivelleren. Het langzamer onttrekken van het aardgas zal dus de drukverschillen doen afnemen en de compactie over de tijd spreiden, en ook schokken op de breuklijnen doen afnemen.

Piek grondversnelling, PGA (acceleratie)

PGA, *Peak Ground Acceleration* {Eurocode 8: 1.4.2.2}
De hoogste waarde van de versnelling van het maaiveld tijdens een aardbeving. Deze wordt uitgedrukt in PGAg of PGA (g), waarbij de g de zwaartekracht versnelling is van 9,81 m/sec^2. Soms is de waarde aangegeven in pga of PGA m/sec^2; in deze laatste notaties is de waarde ongeveer 10 maal de PGAg-waarde. Bij een notatie van de sterkte in PGA moet de m/sec^2 zijn vermeld.

[109] Een zakking van 2 mm van een kant van een fundering op staal zal in de muur erboven een scheur van 2 mm opleveren. Bij ongelijke fundering zoals bij kelders treden deze scheuren bijna altijd op (en kanteling).
[110] Tekeningen uit https://docplayer.nl/64563105-Jellema-2-onderbouw- voorwerk-indd-20-25.html .

Omdat over de jaren sinds 2013 de PGAg-waarde steeds verder verminderde, werd het invloedgebied waar nieuwe aardbevingen zich voelbaar voor zouden doen steeds kleiner (voor mensen voelbaar). Gebouwen blijven echter wél invloed ondervinden van de kleinere bevingen. In verband daarmee zouden de preventieve versterkingen en de bouwkundige herstelkosten volgens de NPR ook in een steeds kleiner gebied noodzakelijk zijn.

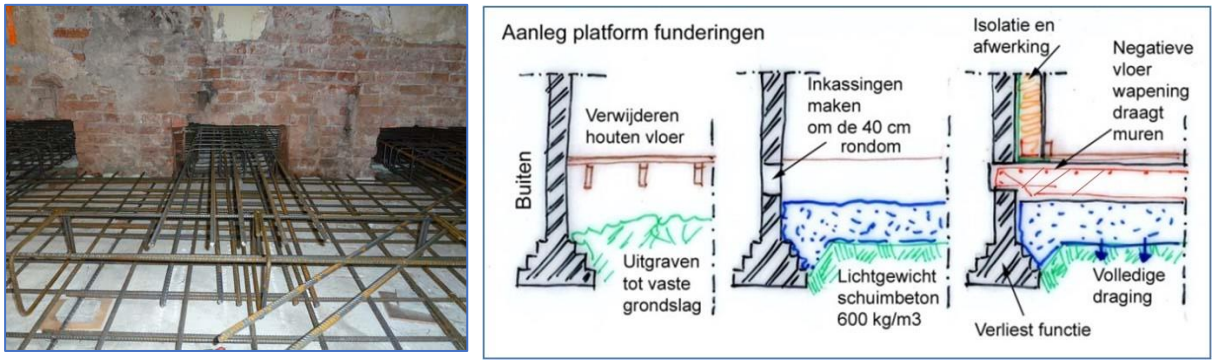
De kracht van de aardbeving van 16 augustus 2012 in Huizinge was geschat op PGAg = 0,085 (of pga 0,0085 m/sec^2) iets minder dan PGAg = 0,1. De ontwerpaardbeving uit de NPR geeft de ontwerpbelastingen per locatie in de provincie Groningen om instorten te voorkomen.

Deze NPR-PGA wordt aangegeven als piekgrondversnelling a_gS op maaiveld niveau. De a_gS is inclusief de bodemfactor. De bodemfactor wordt bepaald aan de hand van de bovenste 30 m van de grond en de grondsoorten en grondwater wat zich in die lagen bevinden. Elastische (klei) gronden en slappe veengronden hebben een andere invloed op de bodemfactor dan een vaste zandgrond en kunnen voor extra en langere natrilling zorgen, maar ook voor demping.

De feitelijke sterkte van de aardbeving (voor de berekening van gebouwen) wordt alleen aangegeven in PGA. Daarom is het dreigingskaartje van de NPR ook alleen in PGA weergegeven.

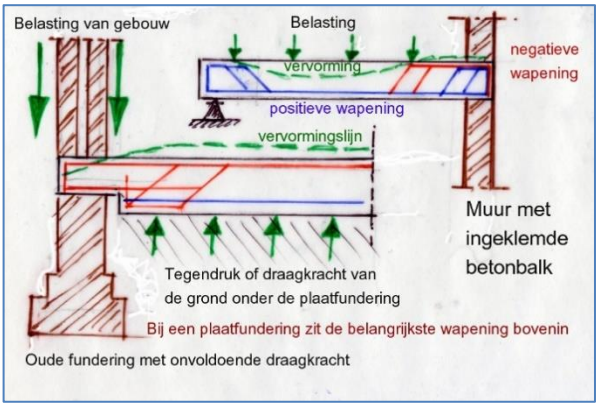
Platform fundering, plaatfundering

Volledige plaatfundering onder het gehele gebouw, ook wel 'evenwichtsfundering' genoemd. Door dit ontwerp veroorzaakt het gebouw een lage geheel gespreide druk op de grond en is het zettingsrisico sterk vermeden, en daarmee ook scheurvorming in muren vanwege gedeeltelijke zetting. Deze plaatfundering (soms op schuimbeton) kan bij bestaande gebouwen worden ingebracht door op regelmatige afstanden de muren in te kassen en daar een dragende betonvloer in aan te brengen met langs alle muren negatieve wapening in die betonvloer.



Figuren 1-83. Aanleg van platformfundering.
Links. In een bestaand gebouw wordt de betonvloer op de grond aangelegd en ingetand in de draagmuren. Door onder het hele gebouw een volledig dragende plaat te maken wordt de gronddruk extra verlaagd.
Rechts. Om de grond onder het gebouw beter draagkrachtig te maken kan een laag schuimbeton worden toegepast. Het schuimbeton kan echter niet de muren dragen. Zie ook Hoofdstuk 4.

Bij zwakke funderingen en seismische versterking wordt de bovenvermelde methode soms toegepast. Voor het versterken van oude bakstenen gebouwen met fundering op staal die plaatselijk verzakkingsverschijnselen vertonen is dit een uitstekende versterkingsmethode, maar beschermt de bovenliggende constructie niet tegen de horizontale belastingen van een aardbeving. Aanvullende muur en diafragma versterkingen blijven dan noodzakelijk.



Figuren 1-85. Plaatfundering met betonwapening.
Links. Bij een betonbalk ontstaat er een negatief moment bij de inklemming in een muur. Hier wordt dan 'negatieve' wapening toegepast (rood). Bij een plaatfundering is de belasting van het gebouw rondom langs de randen van de vloer, dus het omgekeerde van een vrijdragende betonvloer. In de hele bovenkant van de plaatfundering moet dan negatieve wapening komen. Rechts. Toepassing van schuimbeton ná fundering herstel.
https://vandijkmaasland.nl/expertises/schuimbeton/woningbouw/

Primaire seismische gebouw onderdelen

Primaire seismische elementen zij de hoofddraagconstructie. {Eurocode 8: 1.4.2.13}. Elementen of onderdelen die beschouwd worden als deel van het constructief systeem dat de seismische belasting weerstand biedt; de gehele draagconstructie. De sterkteberekening van een gebouw wordt voor deze onderdelen gemaakt. De primaire seismische onderdelen (draagmuren, kolommen, portalen, diafragma's) moeten versterkt worden om instorten van het gebouw te voorkomen. Bij de maximale aardbeving mogen deze primaire elementen (b.v. kolommen) niet bezwijken. Wanneer de feitelijke bevingen een hogere PGA hebben dan de maximale van de seismische code, moeten ze zó ontworpen zijn dat ze ductiel bezwijken. In andere woorden: dat ze verbuigend en langzaam bezwijken en niet plotsklaps instorten. (Zie 'Ductiel')

Ratio *(aspect ratio)*

Verhoudingsgetal tussen de lengte en de hoogte van bijvoorbeeld een afschuifmuur *(shear wall).* Ook de lengte-breedte verhouding of de verhouding tussen een overspanning en de dikte van een constructie. De ratio wordt toegepast bij een RVS-inspectie voor de snelle inschatting van verhoudingen van constructies zoals raampenanten, vrije muurlengtes en hoogtes van schoorstenen. Wanneer deze onderdelen buiten de aanbevolen ratio vallen, moeten ze op hun sterkte berekend worden en eventueel versterkt.

Figuur 1-86. Ratio van de muurpenanten.
Het rood omlijnde muurpenant rechts heeft b:h = 0,2 en is daardoor erg zwak. Door sterke constructieve glaspanelen in de kozijnen te lijmen wordt de verhouding inclusief de naastliggende muurpenanten (groen omlijnd ernaast) b:h = 0,8 en ongeveer 4X zo gunstig. Het stijfste penant neemt dan de belasting op de muur op.
Bij de beoordelingen van schoorstenen die alleen op de basis staan is een ratio van b:h = 0,5 al risicovol omdat er vanwege de loodslabben geen verbinding is met het onderliggende metselwerk.

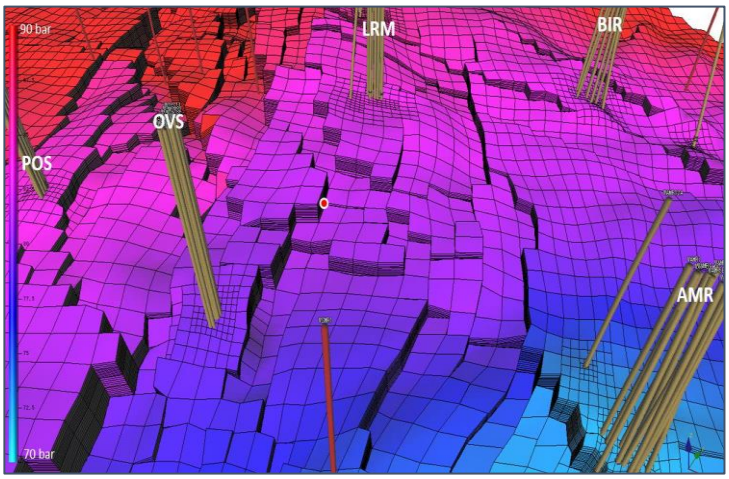
Voor verschillende typologieën kunnen de grenswaarden berekend voor constructie onderdelen zoals muren en schoorstenen. Met een sjabloon kan met een RVS snel bepaald worden of de betrokken constructie bij een PGAg 0,2 een risico kan opleveren.

Reservoir, reservoirgesteente

Het reservoirgesteente in Groningen is het 3 km diepliggende zandsteen dat voldoende porositeit heeft, waardoor het gassen en vloeistoffen kon bevatten. Door de inwendige permeabiliteit is verplaatsing van dit gas mogelijk. De term wordt veelvuldig gebruikt.

Reservoirdruk

Door bij elk boorgat de drukafname in het reservoir over het verloop van tijd te meten, kunnen drukverschillen in het reservoir worden geregistreerd. Hoe groter de drukverschillen tussen aansluitende secties, hoe groter de kans op aardschokken of hoe meer schokken er zich kunnen voordoen.[111]



Figuur 1-87. De pijpen van de boorlocaties.
Door een snellere gaswinning in AMR-zone (rechts onder) dan uit de andere boorgaten, is de reservoirdruk daar het laagste.
Het minimaliseren van het drukverloop door minder onttrekking zal vermindering van het aantal en de sterkte van schokken opleveren.
De rode punt is het hypocentrum van de aardbeving van 21 augustus 2017 bij Appingedam. Verticale schaal van deze grafiek is 10 x horizontale schaal.

Door de gasonttrekking verlaagt de inwendige gasdruk in dat zandsteen. De gezamenlijke weerstand van de gasdruk met de sterkte van het poreuze zandsteen verminderd dan. Wanneer de sterkte of elasticiteitsgrens van dat zandsteen overschreden wordt, volgt plotselinge verkruimeling van de zandsteen (compactie), in de vorm van een schok (aardbeving). Tegelijkertijd wordt de gasdruk dan op die plaats tijdelijke verhoogd. Wanneer er een blijvend verschil van reservoirdruk ter plaatse van de compactie en het naastliggende gebied blijft ontstaan zullen naast de compactie zone nog een serie kleinere compacties volgen. Die grootte en frequentie van die extra bevingen hangen af van de structuur en de taaiheid van het bovenliggende zoutsteen. Lagere druk is ook lagere uitsroming.

Richter, schaal van

In 1935 ontwierp de Amerikaanse seismoloog Charles Richter zijn magnitudeschaal. Deze is gebaseerd op de sterkte van de trillingen, zoals die gemeten wordt op het seismogram in het epicentrum en uitgedrukt op een logaritmische schaal. De magnitude wordt berekend aan de hand van de grootte van de uitslagen van de registratie door verschillende seismografen van die aardbeving. De seismoloog (KNMI) past hierop correcties toe om de invloed van de afstand tussen epicentrum en het seismisch station in rekening te brengen.

[111] Kaart met 3D weergave van de drukverschillen in het reservoir en langs de breuklijnen. Van NAM website, zie: https://www.nam.nl/nieuws/2017/rapport-aardbevingen-gebied-appingedam-loppersum/_jcr_content/par/textimage.stream/1504694438195/cb091a285690c263e3d9cb61f1db6778f3e3668676f20943a8d8226df13e531b/special-report-appingedam-on-27th-may-2017.pdf

Met het toenemen van de afgelegde afstand verliezen de seismische golven door geometrische spreiding en absorptie een deel van hun trilling amplitude. De amplitude van Richter begint bij nul, en elk volgend geheel getal betekent een tienvoudige toename in de golfamplitude (logaritmisch). Een beving van 3 op de schaal van Richter produceert dus horizontale golven die 10X keer zo sterk zijn als die van een schaal 2. Een aardbeving Richter 4 is dus 100X zo sterk als een Richter 2.[112]

Deze tienvoudige toename per schaalnummer in de golfamplitude vertegenwoordigt een >31X toename in de hoeveelheid vrijgekomen energie in het hypocentrum. Die energie vanuit het hypocentrum gaat echter in alle richtingen, waarbij slechts de beweging die naar het aardoppervlak gaat relevant is. De Richterschaal is niet direct gerelateerd aan de PGA-schaal. Er zijn drie richtingen in de PGA-schaal, waarbij de horizontale amplitude het belangrijkste is voor de gebouwbelasting. Deze horizontale belasting wordt beïnvloed door de afstand tot het epicentrum en de grondsoort.

De aardbevingsbelasting op gebouwen wordt uitgedrukt in PGA. Een gebouwschade is afhankelijk van veel factoren zoals, grondsoort, fundering type, amplitude, frequentie en duur van de schokken, en van de stijfheid of elasticiteit van een gebouw, de gebouwvorm en andere aspecten. De geïnduceerde aardbevingen zijn helemaal **niet te vergelijken met tektonische aardbevingen**. Tektonische aardbevingen van Richter Mw 4.0 die uit een diepte van 15 – 20 km komen tellen nauwelijks mee, terwijl een oppervlakkige aardbeving van Richter Mw 4.0 in Groningen al heel erg veel schade kan opleveren aan oude bakstenen gebouwen. In Nederland zijn gebouwen hier niet op berekend.

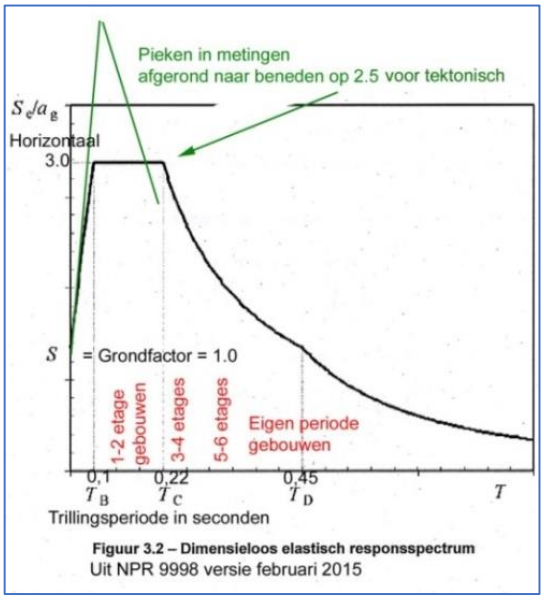
Respons spectrum

Respons spectrum of '*Reaction diagram*'. {Eurocode 8: 1.4.2.5} Di is de maximale respons (reactie) van een constructie op een aardbeving als functie van de eigen periode (slingertijd) of eigen frequentie (afhankelijk van hoogte, massa en elasticiteit) op basis van een 5% demping door de elasticiteit of taaiheid van de grond.

Figuur 1-88. Response spectrum.
Het reactie diagram combineert de grondsoort met de hoogte en de eigen trillingsfrequentie van het gebouw. Lage gebouwen zijn daarom extra belast.

Elastische kleigronden kunnen een grotere demping van de schok hebben wat gunstig is voor de berekening. De NPR geeft meer duidelijkheid in de berekeningen met een grondsoorten kaartje van de bovenste 30 m voor de provincie Groningen.

*De lage en brosse bakstenen gebouwen in de provincie Groningen hebben een **nadelig respons spectrum** en lopen daarom sneller schade op dan flexibele (houten) gebouwen of hogere gebouwen.*



Figuur 3.2 – Dimensieloos elastisch responsspectrum
Uit NPR 9998 versie februari 2015

De Eurocode 8 (NPR9998) geeft verschillende methodes aan om deze eigen gebouwfrequentie te berekenen. Een eenvoudige methode is $T_1 = C_t * H^{3/4}$ Formule (4.6). Wanneer de aardbeving frequentie gelijk is aan de eigen gebouwfrequentie kan bij langdurige aardbevingen gebouwresonantie ontstaan.

[112] De beving van 16 augustus 2012 te Huizinge was Richter 3,6. Als de maximale beving volgens de NPR van 2015 Richter 5,6 zou worden, dan zou dat betekenen dat aan het oppervlak die beving ongeveer 100X zo zwaar zou zijn als de Huizinge beving met Richter 3,6.

Dit is niet het geval in Groningen omdat de duur van de schokken heel erg kort is (tienden van een seconde). Bij een gebouw op *Base-isolation*, wordt de zware schok van de aardbeving niet op het bovenstaande gebouw over gedragen, maar vertraagd en omgezet naar een veel kleinere beweging.

Risicofactor

In de kennis en statistieken over ongevallen zoals verkeersongevallen, woningbranden, van de trap of steiger vallen en dergelijke, wordt een toelaatbaar ongevalsrisico met dodelijke afloop berekend van 10^{-5}. Dit wordt ook zo in de Europese en Nederlandse wetten toegepast. Dat wil zeggen dat een dodelijk ongeval van 1 op de 100.000 een acceptabele norm is waarbinnen gebleven moet worden. De overheid probeert dan ook om regels en veiligheidseisen te stellen zodat deze waarde 10^{-5} niet overschreden wordt. Deze normberekening werd ook toegepast op de berekening van de risico's met betrekking tot de geïnduceerde aardbevingen.

Echter, als het gaat over het instorten van woningen (met dodelijke gevolgen), zou dat betekenen dat met een risicofactor 10^{-5} er in Nederland (> 17 miljoen inwoners) niet meer dan 170 doden per jaar zouden mogen vallen vanwege instortende gebouwen of 5 doden per jaar voor de provincie Groningen. Het gaat hier in dit geval over onvoorziene ongelukken. Echter er overlijdt echter niemand in Nederland door instortende woningen.[113]

De geïnduceerde aardbevingen, worden veroorzaakt door een mijnbouw exploitatiebedrijf. Dat de sterkte van de bevingen kan beïnvloeden. Het gaat hier dus niet over onvoorzien risico, maar over bewust schade toebrengen aan de bevolking en hun eigendommen. In dit geval zou de risicofactor eerder 10^{-6} moeten zijn, gelijk aan doorbraak van zeedijken, of nog lager.

RVS (*Rapid Visual Screening*)

Dit inspectiesysteem voor gebouwen is gebaseerd op het Amerikaanse model (ATC-20) voor een snelle onderzoekmethode vanaf de openbare weg. Dit onderzoek wordt gebruikt om te beoordelen of een gebouw of elementen aan een gebouw een hoog risico vormen voor de bewoners of de omgeving. Deze methode werd overgenomen om in de provincie Groningen de eerste gebouwinspecties uit te voeren. Na het constateren van een mogelijke gevaarlijke situatie (e.g. lage ratio van muurpenanten) wordt een vervolgonderzoek ingesteld. Dit vervolgonderzoek heet volgens de Amerikaanse methode EVS, *Extended Visual Screening*.

Figuur 1-89. Hoge schoorsteen is hoog risico. Deze hoog risicovolle elementen en zijn eenvoudig van buitenaf te detecteren met een RVS. De jaren '30 schoorstenen zijn hiervan een extreem voorbeeld. Aan de basis is het metselwerk ook nog onderbroken door de loodslabbe. Versterken is zeer kostbaar en verwijderen of vervangen met een lichtgewicht model zijn dan de opties. Open haarden zijn in energiezuinige gebouwen of voor het milieu niet gewenst (slecht rendement en veel fijnstof uitstoot). Het heeft daarom de voorkeur om de gemetselde schoorsteen in haar geheel te verwijderen, tenzij het een belangrijk architectuur element is.

[113] Uit de risicoberekeningen over de toegenomen bouwactiviteit en verkeersbewegingen van de versterkingen in de hele provincie, zouden door de bouwmethoden en de verkeersdrukte wel een paar doden per jaar kunnen vallen. Het aantal doden in het verkeer is ruim 600 per jaar of een risicofactor op de hele bevolking van 1: 30.000 dus nog aanzienlijk hoger dan 10^{-5} als gesteld wordt dat iedereen aan het verkeer deelneemt. Met maatregelen probeert met het risico van de verkeersdeelnemers te beperken tot 10^{-5}.

Figuren 1-90. Topgevel is hoog risico.
Dit is meestal een hoog-risico element vanwege gebrek aan verbinding met het dak en sterke erosie van het metselwerk. In dit geval moet de top moet gerestaureerd en goed aan het dak verbonden worden.

Schade beoordeling

Bij de beoordeling van gebouwschade in Groningen wordt de locatie van de scheur in de muren en de scheurafmeting opgenomen. Lichte scheur $\leq$ 0,3 mm is zelden zichtbaar op foto's, tenzij in een witgepleisterde muur. Middelmatige scheuren van 0,3 tot 3 mm zijn het meeste waargenomen. **Lichte scheuren en middelmatige scheuren hebben geen structurele consequenties voor de gebouwsterkte.** Zware scheuren van > 3 mm lopen vaak ver door en kunnen gepaard gaan met verschuivingen in de muur; dit percentage is erg laag, maar wel goed zichtbaar, en kan structurele consequenties hebben.

Het bovenstaande is de seismische of bouwkundige benadering van scheuren. De emotionele of architectonische benadering is geheel anders. In Groningen werd door officiële instanties steeds verteld dat de bevingen heel veel sterker zouden worden. Daarom waren de scheuren voor de woningeigenaren een voorbode voor het instorten van het gebouw en dodelijke slachtoffers. Het seismisch versterken van de beschadigde gebouwen had voor de bewoners van die gebouwen daarom een hoge prioriteit.

Voor gebouwen van tussen 1920 en 1940 en gebouwen (jaren '30 woningen) van ná 1970 komen nauwelijks zware scheuren voor bij een PGAg > 0,1. Van gebouwen van vóór 1970 komen relatief veel middelmatige schades voor aan de buitengevels (goedkopen snelle bouw). Bij woningen van ná 1970, zoals twee-onder-een-kap woningen, komen er relatief veel middelmatige schades voor aan binnenmuren door de stijve bouwmethode en balkfundering (meer trilling overdracht). Gebouwen die 'op staal' zijn gebouwd (meestal van vóór 1940) hebben veel middelmatige scheuren, vooral in de fundering vanwege zettingen.

Figuur 1-91. Oplegging van een latei.
De latei is over een korte afstand (een strek) op de binnenmuur opgelegd en schuift af. De meeste scheuren rondom raam- en deuropeningen zijn gebouw-gebonden en de oorzaak van matige constructie details (voor seismisch resistente bouw), vaak gecombineerd met lichte zettingen in de fundering. Door trillingen van verkeer of een aardbeving kunnen ze erger worden.

De drie hoofdoorzaken van de scheuren zijn:
(1) Gebouw gebonden oorzaken (constructie, thermisch, bouwfout) en zettingen in fundering;
(2) Aardbevingen, waarbij deze vaak resulteren in zettingen van funderingen.
(3) Aardbevingen met gebrek aan sterkte in de twee horizontale richtingen en gebrek aan verbindingen tussen vloeren en de muren en gebrek aan vloerdiafragma's.

Schade vanwege bestaande zettingen kunnen worden verergerd door alle aardbevingstrillingen, waardoor bestaande spanningen in het metselwerk overschreden worden en tot middelmatige scheurvorming kunnen leiden. Voor minder dan 75% van de schades kon meestal duidelijk worden vastgesteld wat de oorzaak was. In het merendeel van de schadegevallen is er sprake van een combinatie van factoren zoals fundering 'op staal', ongelijke funderingsdiepte, bouwperiode, ouderdom, zettingen in veen of klei en bouwfouten. Het bestuderen van de fundering van een gebouw en de grondslag kan veel informatie verschaffen over de oorzaak van de schade. Het analyseren van de fundering is geen reguliere activiteit bij een RVS.

Voordat de grootste aardbeving van 16 augustus 2012 in Huizinge kwam, waren er al 1100 schadegevallen vergoed[114]. Vanwege de onbekendheid met de kwaliteit en sterkte van de Groningse woningbouw in relatie tot de geïnduceerde aardbevingen werden hierna veel verschillende onderzoeken gestart om hier duidelijkheid in te brengen. Uiteindelijk werd er pas in 2017 een trilling richtlijn[115] opgesteld die aangeeft dat nieuwe gebouwen lichte trillingen onder een bepaald niveau moeten kunnen weerstaan.

Schaliegas

Schaliegas[116] is aardgas dat zit opgesloten in leisteen. Een ander woord voor leisteen is "schalie" en heeft een weinig doorlatende structuur. De methode om schaliegas te winnen is daarom anders dan bij het aardgas in Groningen. Voor het winnen van schaliegas (of olie) wordt gebruik gemaakt van *fracking (breken)*. Hierbij wordt onder hogedruk chemicaliën en zand tussen de schalielagen geperst en een vorm van porositeit gecreëerd, waarna het gas of de olie opgepompt kan worden. Uit het opgepompte mengsel moet dan de olie of het gas gewonnen worden.

Figuur 1-92. Mogelijke schaliegas gebieden.
Hier wordt de fracking *technologie gebruikt door horizontaal door de lagen te boren en zand en chemicaliën in te spuiten. In Nederland is er aandacht voor twee schaliegesteente formaties op 2 tot 4,5 km diepte (TNO, 2012). Vanwege de aardbevingsschade in Groningen en mogelijk risico voor de kwaliteit van het grondwater, is er veel burgerlijke en politieke weerstand om het schaliegas te gaan winnen in de op het kaartje aangegeven blauwe zone[117]. TNO-kaartje 2012.*

[114] Deze reparaties waren vrij simpel, maar waren na elke aardbeving opnieuw nodig. Vanwege het plotselinge grote tekort aan vakmensen werden de kosten voor herstel gedurende 2012 en 2013 verveelvoudigd.
[115] https://www.building.nl/uploads/fckconnector/bbb3c9ac-bf69-4a11-ad06-95a88aeca916/3016759984
[116] Bron tekst en kaartje: http://aardgas-in-nederland.nl/de-toekomst-van-aardgas/aardgasreserves-en-verbruik/#3a
[117] Dit heeft te maken met negatieve verhalen uit de USA waar het schaliegas oppervlakkiger wordt gewonnen.

Scheurvorming

Over scheurvorming in de Nederlandse woningbouw zijn uitgebreide rapporten geschreven. E.g. Phd rapport Ilse de Vent, https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:e9a3a2f9-16b5-4b22-a1f4-6511f3543f6e/datastream/OBJ/download *Structural Damage in Masonry*.

In de verdere hoofdstukken van dit boek worden hoofdzakelijk de scheurvorming ten gevolge van de aardbevingen behandeld[118]. Scheurvorming kan ontstaan en verergerd t.g.v. de aardbevingen.

Secundaire seismische gebouw onderdelen

Dit zijn onderdelen die niet beschouwd worden als deel van het systeem dat weerstand biedt aan de seismische belastingen {Eurocode 8: 1.4.2.14}. Bij bezwijken mogen deze onderdelen geen schade berokkenen aan de draagconstructie of vallen zodat personen getroffen kunnen worden. Bij een RVS dienen deze te worden geïdentificeerd en mogelijke problemen verholpen. Bij een oude woning is van buiten niet te zien of de balken wel aan de muren zitten of een diafragma vormen. Ook kan men niet van buiten zien hoe een schoorsteen dragend is. Bij het onderzoek van de lagere scholen werden regelmatig de verlaagde plafonds opengemaakt om te kunnen bestuderen hoe de spanten aan de muren waren verbonden.

Bij veel bouwcodes moeten de verbindingen tussen primaire en secundaire seismische onderdelen aan extreem hoge sterkte eisen voldoen. Een voorbeeld zijn de bevestigingen van betonnen gevel- of balkonplaten. Echter, het is in een aardbevingszone meer praktisch wanneer deze verbindingen ductiel (taai) zijn bevestigd in plaats van extra sterk stijf verbonden.

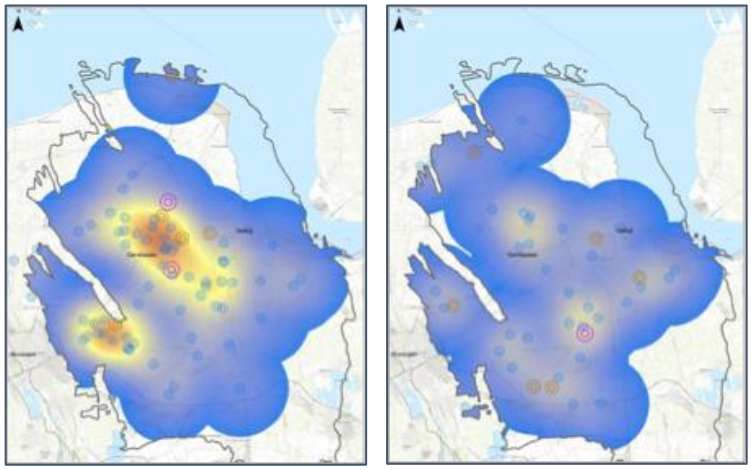
Figuur 1-93. Secundaire gebouwonderdelen.
Invulmuren zijn niet dragende muren.
Deze secundaire gebouw elementen kunnen tijdens een aardbeving wel bijgedragen aan een ondersteuning van een kolommenconstructies (primaire draagconstructie van het gebouw) zodat deze in hun beweging gedempt worden.

In dit hoge flatgebouw (Kathmandu) droegen de bakstenen invulmuren bij aan de demping van de horizontale gebouwbewegingen, waardoor de kolommen in hun maximale momentzones minder vervorming ondergingen. Secundaire gebouwelementen kunnen daarom wel bijdragen aan de gebouwsterkte na de vervorming van de primaire elementen.

[118] De SBR, Stichting Bouw Research heeft twee documenten “Scheurvorming in gemetselde wanden, 1976“ en “Scheuren in woningen 1969” uitgebracht. Zie ook 2017 onderzoekrapport Witteveen en Bos over NAM scheuren: https://www.nam.nl/nieuws/2017/nam-zoekt-oplossing-deel-schades-zuidlaren/_jcr_content/par/textimage.stream/1510311678487/efc5414fe61f9117ea8445febc94cba8fcbf0a76/rapd-bijlage-verzamelen-van-informatie-ii.pdf

Seismiciteit

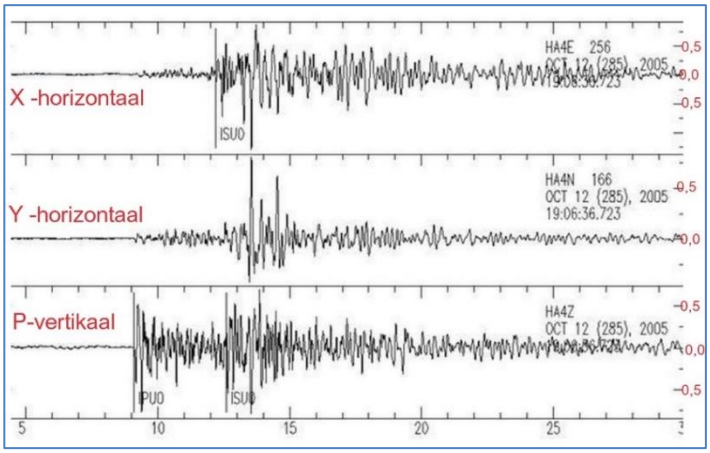
De seismiciteit is een maat voor het optreden in de tijd van aardbevingen van een bepaalde sterkte voor een bepaald gebied. De mate van het bewegen van de grondlagen. De oppervlakte seismiciteit wordt meestal in de vorm van een contourenkaart weergegeven, zodat je kunt zien wat voor maximaal risico je op een bepaalde plek van het aardoppervlak kunt verwachten. De diepte seismiciteit geeft aan wat voor bewegingen er in het hypocentrum verwacht kunnen worden. De seismiciteit kan op verschillende manieren worden weergegeven[119].



Figuur 1-94. Seismiciteit 2013 tot 2016. Links: maart 2013-2014. Grote en dubbele cirkels zijn grote schokken; kleine cirkels zijn kleine schokken. Oranje geeft een grotere dichtheid aan van de schokken per km^2/jaar, en geel een iets lagere dichtheid per km^2/jr. In het centrumgebied rond gemeente Loppersum was in 2014 de gasextractie minder, waardoor er minder seismiciteit ontstond. Rechts: maart 2015-2016.

Seismische golven

Door een aardbeving ontstaan verschillende soorten trillingen die zich vanuit de haard van de beving uitspreiden. De verticale P *(pressure)* of drukgolven zijn het snelste (ongeveer 3 km/sec. in Groningen), en de horizontale S *(secundaire)* golven half zo snel. Deze S golven worden horizontaal in twee richtingen gemeten (radiaal en zigzag). Deze trilling-golven planten zich zowel dwars door de aarde als langs het aardoppervlak voort. Op het seismogram worden deze pulsen geregistreerd en kan de sterkte en frequentie worden afgelezen. Dergelijke pulsen worden door seismologen seismische fases genoemd. Vooral het verschil in snelheid waarmee de diverse golven zich voortplanten is van belang. De golfsnelheid wordt bepaald door de combinatie van de elastische eigenschappen en de dichtheid van het gesteente of de grondlagen waarin de golf zich voortplant. In de bovenste grondlagen van de provincie Groningen zitten veel zachte en weke zones. Op veel plaatsen is de bovenste 10 m erg zacht van structuur (klei, veen), waardoor de golven vertragen.



Figuur1-95. Drie soorten seismische golven. Dit is de oppervlakte seismograaf met de registratie van de 2012 Huizinge beving. Uit de grafiek kan gezien worden dat P-verticaal het eerste bij het aardoppervlak kwam. Deze had een maximale amplitude van 0,6. Ook is te zien dat er tenminste twee schokken waren.

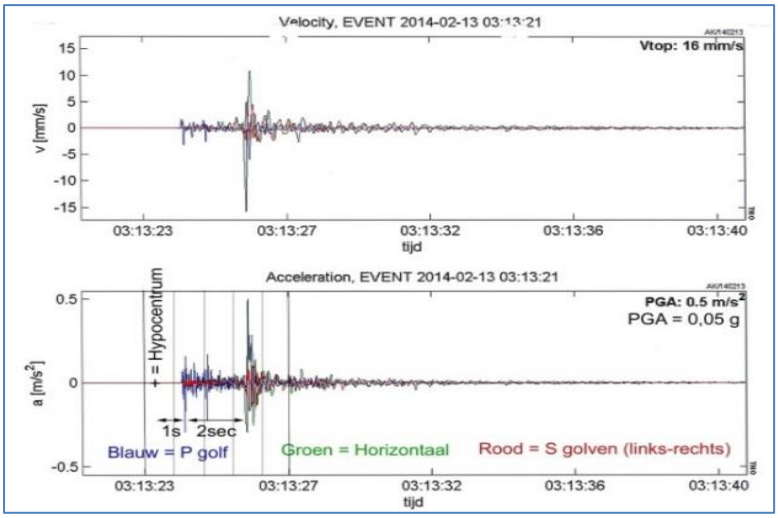
De twee horizontale bevingen hebben een grotere amplitude van 0,85 verticale en zijn het meest belastend voor het gebouw.

[119] Zie rapport: Apr 13, 2017 - Bijlage 1. Technische bijlage. Advies Groningen gasveld n.a.v. Rapportage recente aardbeving. Wirdum en Garsthuizen 2016/2017. Staatstoezicht op de Mijnen.

De $V_{s,30}$ snelheid heeft betrekking op de bovenste 30 meter en is medebepalend voor de belasting op een gebouw. Hoewel de voortplantingssnelheid P in graniet wel 6 km/sec. is, is deze P in de grondlagen boven het Groningse zandsteen gemiddeld 3 km/sec. De voortplantingssnelheid in de zachte Groningse $V_{s,30}$ toplaag ligt slechts tussen de 100 m/sec. en 200 m/sec.

Seismograaf of seismometer

Een seismometer of seismograaf is een instrument om de trillingen van de aarde te registreren. Het bestaat meestal uit een set van drie seismometers: een voor de verticale beweging (Z of V) en twee voor de horizontale bewegingen (X en Y) vanuit het epicentrum. De meter voor de verticale beweging bestaat uit een gewicht dat aan een veer is opgehangen. De meter voor de horizontale is een slinger. Na een beweging zal de massa weer terugkeren in zijn oorspronkelijke evenwichtsstand. De meter wordt elektronisch afgelezen en het signaal doorgestuurd naar een centraal punt voor de analyse.

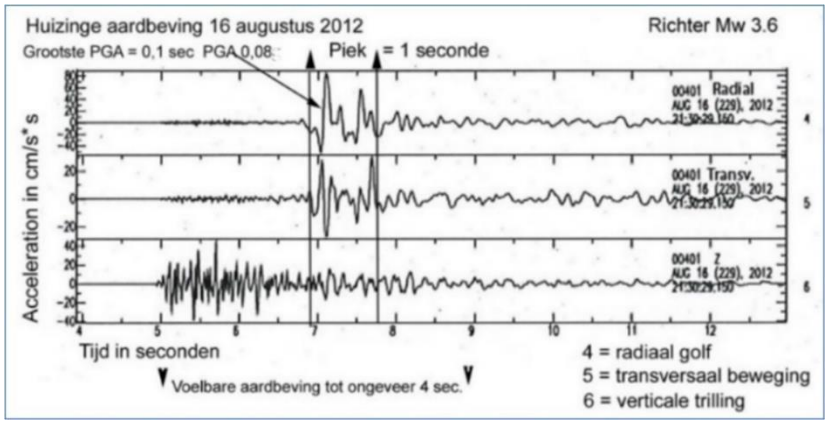


Figuur 1-96. Twee seismogrammen. Deze geven de drie bewegingen aan met de snelheid (boven) en de acceleratie (onder).
Deze schok startte op seconde 23 en kwam aan het aardoppervlak in seconde 26,5 en duurde minder dan een halve seconde.
Het gebouw zal afhankelijk van haar constructie dan nog natrillen.

Seismogram

Een seismogram is een geregistreerd resultaat van een seismisch onderzoek door middel van het opwekken van trillingen in de ondergrond. Er worden drie bewegingen geregistreerd. De verticale trillingen (druk of P-golven), de horizontale radiale golven (vanuit het epicentrum naar buiten), en de horizontale transversale S-golven (heen-en-weer beweging vanuit het epicentrum). Op basis van de radiale golven wordt de PGA bepaald. Bij sommige aardbevingen worden zowel de verticale als de horizontale PGAg opgegeven. De horizontale PGA veroorzaakt de bepalende gebouwbelasting.

Door de combinatie van verschillende seismogrammen en de tijdlijn kan de herkomst van de golven, de seismische bron of aardbevingshaard bepaald worden. Haarden (hypocentra) van door gaswinning veroorzaakte aardbevingen liggen in Noord-Nederland op ongeveer 3 km diepte. Ze staan bijna altijd in direct verband met de breukvlakken in dat reservoirgesteente.



Figuur 1-97. De horizontale radiale beving.
Deze bepaalt de PGA.
Op seconde 7,2 met PGAg 0,05 naar het epicentrum en PGAg 0,08 vanuit het epicentrum zijn de hoogste versnellingen.
De links-rechts bevingen waren met een PGAg 0,025 aanzienlijk minder.

Sterk Constructief Glaspaneel

Muren met grote raampartijen en smalle penanten zijn seismisch zwakke constructies. Door de raam- en deuropeningen in te vullen met metselwerk zullen de muren (in het vlak van de muur) versterkt worden. De sterkte kan ook verbeterd worden door sterke raamkozijnen of kozijn randen te maken; afbeelding midden onder. Bij historische gebouwen zijn dit vaak voor monumentenzorg nog geen acceptabele oplossingen[120].

Door geharde (getemperde), gelamineerde (dubbele) isolatie glaspanelen in de kozijnen te plaatsen en die drukvast te plaatsen en te verlijmen, worden de muurpenaten breder en daardoor wordt de sterkte van het gebouw in het vlak van de gevel groter.

Figuren 1-98. Versterking van gevels. Zwakke gevels kunnen versterkt door sterke glaspanelen.
Links. Dichtzetten van een raam versterkt de hele gevel.
Midden. Sterke kozijn omlijstingen.
Rechtsboven. Sterke glaspanelen in de lichtgroene kozijnen.
Rechtsonder. De markthal te Rotterdam is een voorbeeld met een sterke gevel van gelamineerde glaspanelen.

Door bij zwakke gebouwen met steens-muren sterke glaspanelen strak in de kozijnen te plaatsen en te zorgen dat de plafond-zoldervloer diafragma's de muren verbinden, wordt een seismisch sterke constructie gemaakt. De bovenzijde van de muren moeten aan het vloerdiafragma verankerd zijn om de belastingen over te dragen naar het vlak van de zijmuren.

Bij spouwmuren moet het kozijn de krachten overdragen op beide bladen van de spouwmuren. Meervoudig gelamineerde glaspanelen worden in grote projecten gebruikt en is geen onbekende techniek. Echter, als verbetering van de ratio bij zwakke muren met grote raamopeningen en smalle penanten is het onbekend. Onder andere moet worden uitgezocht wat de beste methode is voor thermisch isoleren van de sterke glas panelen. De binnenste ruiten van de gelamineerde glaspanelen kunnen bijvoorbeeld een Low-E coating hebben.

De toepassing bij monumenten zal het een zeer grote kostenbesparing opleveren en geen aantasting van de verdere architectuur van de gebouwen.

[120] Het gebrek aan kennis over deze methode en het gebrek aan voorbeeld woningen in de provincie Groningen waar deze methode is toegepast, is hier de oorzaak van de terughoudendheid.

Stutten en ondersteuning

Het tijdelijk ondersteunen van een flink beschadigde gebouw onderdelen als noodmaatregel en ter voorkoming van verdere gebouwschade of instorten van dat gebouwonderdeel.

Figuren 1-99. Methoden van stutten.
Links. Steigers en stempel buiten en in de raamopeningen.
Rechtsboven. De slecht gefundeerde zijmuren van de grote schuren verzakten en werden naar buiten gedrukt.
Rechts. Vanwege de publiciteit door deze stutten werd er veel aandacht aan de gebouwen met stutten besteed.

Het stutten is een tijdelijke, veiligheidsmaatregel in afwachting tot herstel of versterkingsmaatregel of sloop. Het stutten van een constructie betekent niet direct dat de oorzaak van een verzakking of schade direct te wijten is aan een aardbeving. In sommige gevallen is er sprake van bouwfouten en zelfs ‘eigen gebrek’. Er bestond geen financiering voor de woningeigenaren om eigen gebrek of bouwfouten te herstellen, of funderingen te versterken, daarom bleven de stutten lang staan.

In veel situaties blijken bakstenen gebouwen die vóór 1980 zijn gebouwd, volgens de toen geldende bouwnormen, niet bestand tegen de schokken (PGAg 0,06 tot 0,08) en lopen lichte schade op. Rijtjeswoningen van het type doorzon, met zware betonnen vloeren en in stapelbouw uitgevoerd lopen een verhoogd schaderisico. Woningen met hoge ramen, smalle penanten en houten vloeren die geen diafragma vormen uit de bouwperiode van vóór 1900 zijn eveneens erg zwak. Bij schadegevallen moesten veel van deze oude gebouwen eerst gestut en daarna versterkt worden wanneer de aardschokken in frequentie en sterkte zouden gaan toenemen van PGAg < 0,1 tot PGAg ≥ 0,15.

Terugkeertijd (herhalingstijd)

Return period. {Eurocode 8: 1.4.2.4} De herhalingstijd is een maat voor de kans op een extreme of maximale gebeurtenis zoals de waterstand of de Piekgrondversnelling (PGA*)*. In de Home Webtool werden vier opties voor herhalingstijd gegeven; 95 jaar, 475 jaar, 975 jaar en 2475 jaar. De standaard herhalingstijd van het NPR9998 is 475 jaar. Een nogal theoretische wiskundige waarde (gebaseerd op tektonische principes)[121]. In de huidige Home Webtool zijn de herhalingstijden 50 en 90 jaar, omdat de gasexploitatie binnenkort afloopt.

[121] In werkelijkheid zou men voor geïnduceerde aardbevingen een aangepaste herhalingstijd kunnen toepassen, waarbij enigszins rekening gehouden wordt met een lichte nawerking van de zettingen.

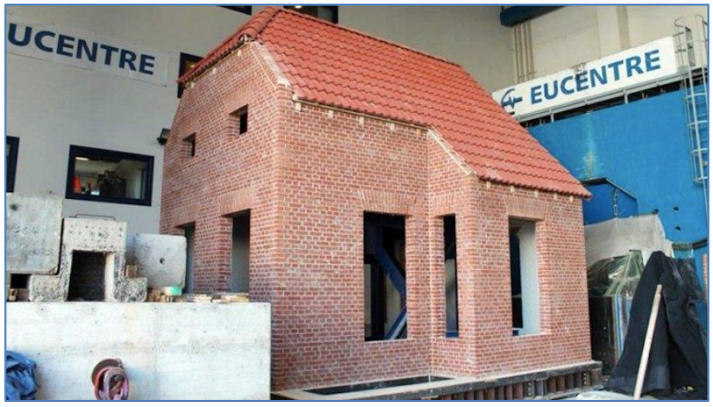
Als bij een herhalingstijd van 475 jaar, de a_gS (PGAg inclusief de grondfactor) kleiner is dan PGAg 0,05 behoeft geen sterktebeoordeling op aardbevingsbelastingen plaats te vinden. Seismisch gesproken hoeft er dan niets versterkt te worden. In de situatie van Groningen zal er over de komende periode van 20 jaar heel weinig of geen aardgas meer uit het centrale gasveld gewonnen worden, waarna de bevingssterkte en frequentie tot bijna nul daalt.

Wanneer er wel weer gas uit het Groningse veld wordt gewonnen zal de NAM moeten zorgen dat de bevingen niet boven de PGAg 0,03 uitkomen, zodat er geen schade meer optreedt. Dat kan alleen als men niet alle winningslocaties sluit, maar van elke winningslocatie een enkel put actief laat zijn en een slechts beperkte hoeveelheid gas onttrekt.

Testen op sterkte

In 2012 was er weinig Nederlandse informatie over de voortplanting van de trillingen in de Groningse grondlagen en nog minder informatie bij de niet-bouwkundige ingenieurs over het gedrag van de ongewapende gemetselde gebouwen in Nederland. Om meer kennis op te doen werden speciale testprogramma's opgezet over de diepe en ondiepe ondergrond, maar ook over bouwmethoden en materialen.

In Italië werd bijvoorbeeld een typische rijtjeswoning nagebouwd, op basis waarvan de verschillende rekenmethoden gekalibreerd konden worden. In door de NAM aangekochte testwoningen werden versterkingsmethoden uitgetest op praktische toepasbaarheid en kostenaspecten, terwijl door de TU-Delft ook metselwerktesten werden uitgevoerd. Door de NAM zijn sinds het groter worden van de aardbevingen in 2006 veel verschillende soorten onderzoeken en testen opgezet. Een onderdeel is de installaties van veel gebouwsensoren op gebouwen en trilling-meters in de diepe ondergrond.



Figuren 1-100. Testprogramma's in Italië.
<u>Links</u>: Een testwoning (nagebouwde rijtjeswoning) werd in Italië op een triltafel nagebouwd en aan series testen onderworpen.
<u>Rechtsboven.</u> Voorbeeld van een vloerversterking of diafragma vorming, door de toepassing van Carbon Fibre stroken.
<u>Rechts</u>. De typische lage arbeiderswoning In testwoningen in de provincie Groningen werden seismische versterkingen aangebracht als praktijktest. Door deze praktijkervaringen werd duidelijk in hoeverre deze maatregelen praktisch uitvoerbaar waren.

Het type lage arbeiderswoning is een in Groningen veel voorkomende gebouwvorm met een indeling die hoogst onrendabel is om seismisch te versterken en thermisch te isoleren.

Testwoningen

In de provincie Groningen zijn onder het aardbevingsproject een dozijn woningen[122] van verschillende bouw typologieën aangekocht om nader te kunnen bestuderen en om testen in uit te voeren. Deze woningen werden gestript om de kwaliteit van de muren te kunnen beoordelen.

Figuren 1-101. Details van testwoningen. Bij het onderzoeken van de testwoningen werd duidelijk dat sommige muurdelen waarschijnlijk zwakker waren dan de standaard berekeningen. Voegwerk is vaak aan de binnenzijde niet uitgevuld en in de loop van tijd zijn er soms verschillende gevel aanpassingen geweest.

Figuur 1-102. Drie typologieën en testwoningen.
<u>Boven.</u> Oude boerenwoning. Krimpje.
<u>Rechtsboven</u>. Rijtjeswoning jaren '70.
<u>Rechts.</u> Een van de nieuwere testwoningen. In deze rechtse woning werd onder andere de verbinding van het vloerdiafragma aan de buitenschil versterkt met een experimentele nieuwe verbindingsmethode.
De testwoningen gaven inzicht in de praktijk van de toepassing van de versterkingsmaatregel en waren ook een voorlichting- en trainingslocatie voor ontwerpers en ondernemers.

[122] Omdat de precieze sterkte van de oudere woningbouw in de provincie niet bekend was (wel de algemene waarden), en omdat men vroeger vaak op basis van ervaring bouwde, of de lokale aannemer bouwde zoals de buren bouwden, werden er veel testen opgezet. Het vermeende gebrek aan detailkennis resulteerde in een aantal onderzoeken zoals het bepalen van de sterkte van metselwerk. Stukken metselwerk werden uit muren gezaagd en in een laboratorium van de TU-Delft getest. Die uitkomsten kwamen overeen met wat men in de bouwwereld al lang wist en al 50 jaar geleden in mijn polytechnisch zakboekje stond.

In een deze testwoningen werden al bekende vormen van seismische versterkingen aangebracht en methoden die voorgesteld waren in de design competitie uit 2014. De versterking van wanden en verbeterde verbindingen tussen vloeren en muren (diafragma's). Dit werd gedaan om de technische en economische haalbaarheid van de verschillende constructietechnieken te testen en de kosten van het aanbrengen te evalueren. De testwoningen werden ook gebruikt om voorlichting te geven aan aannemers en bewoners over de mogelijke opties van versterken met hun voor- en nadelen.

De testwoningen werden alleen gebruikt voor het verbeteren van de gebouwsterkte, maar niet voor het verduurzamen van het gebouw zoals herindeling gebruiksruimten of goede isolatie. De eerste testwoningen werden versterkt tegen een zeer hoge PGAg 0,36 in plaats van Mmax met PGAg 0,2. De uitgebreide gebouwversterkingen inclusief enkele *Base-isolation* projecten werden ondernomen om te bestuderen in welke mate de zware gebouwversterking voor oude gebouwen mogelijk was.

Figuren 1-103. Platformfundering met portalen. Boven en rechts. In enkele (test)woningen werd in 2014 een volledige platformfundering en extra zware binnen- en buitenmuur versterkingen en diafragma's toegepast om een PGAg 0,36 te weerstaan volgens de NPR-2015. Deze integrale versterkingsoperaties bij oude gebouwen kostten meestal meer dan tweemaal de waarde van de woning.

Tilt-meter

Bewegingen van een gebouw zoals gedeeltelijke verzakkingen kunnen met een tilt-meter zeer nauwkeurig worden geregistreerd[123]. Deze meters worden veelvuldig gebruikt bij de aanleg van tunnels zoals bijvoorbeeld de metro. Hierdoor kan worden waargenomen of een gebouw scheefzakt. Voor een verzakking door een aardbeving is dit ook mogelijk als er vóór en ná de beving wordt gemeten. Echter, voor de aanvang van de grotere trillingen (2000) waren ze niet geïnstalleerd.

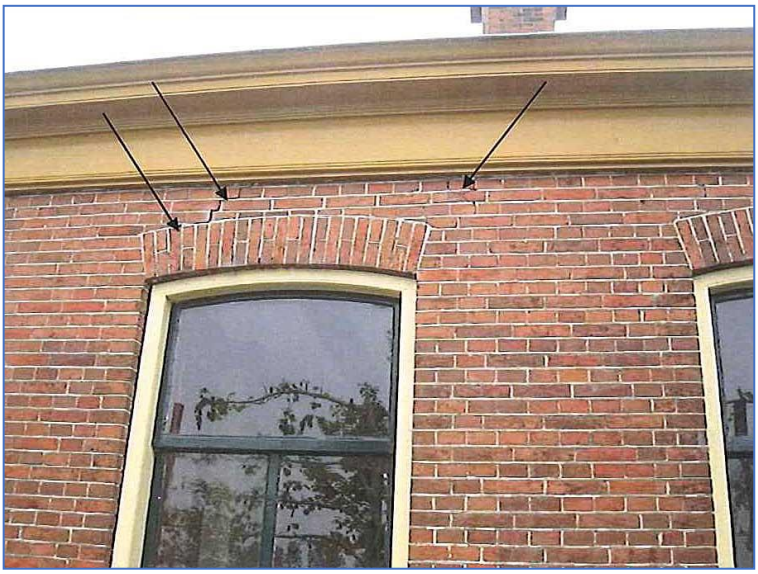
De trilling-meters moeten bij elke trilling het driedimensionale signaal versturen. In het geval van geïnduceerde aardbevingen moest dit signaal een frequentie van minimaal 500 Hz kunnen verwerken. Tilt-meters waren in 2014 hiervoor niet geschikt. Sinds 2017 zijn er een aantal tilt-meters geplaatst, om bewegingen over de tijd van gebouwen of dijken goed in kaart te kunnen brengen.

[123] Zie voor verdere uitleg https://en.wikipedia.org/wiki/Tiltmeter

Triggerwerking

De ene aardbeving kan een andere doen starten, omdat er dan naast de ontspannen zone (waar de beving plaats vond) een nieuw spanningsverschil ontstaat. Bij de 16 augustus 2012 beving in Huizinge waren er twee of drie bevingen, direct na elkaar, de eerste veroorzaakte kennelijk een tweede. Zie de grafieken bij 'Seismograaf'. Dit was bijvoorbeeld de reden waarom die aardbeving van 16 augustus 2012 in Huizinge (Richter 3,6) veel sterker werd gevoeld (door sommigen wel 10 seconden) dan een eerdere, bijna even grote beving op 8 augustus 2006 in Middelstum met een Richter 3,5 die maar een seconde werd gevoeld. De gevoelde tijd is dan inclusief het natrillen van het gebouw zelf.

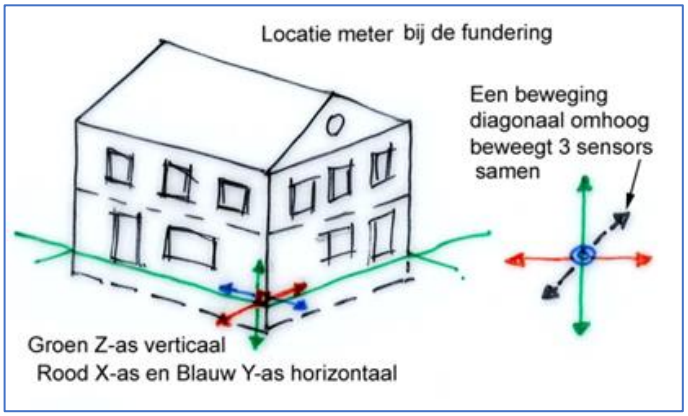
Vanwege verzakkingen en zettingen van funderingen zullen elastische spanningen in muren ontstaan. Die opgebouwde spanningen kunnen bij extra trillingen of bevingen toch in scheurschade resulteren. De aardbeving is dan de trigger. De dan in de muur zichtbaar geworden scheur wordt geclaimd als aardbevingsschade, terwijl in feite de eerder opgebouwde spanning in de muur de hoofdoorzaak kan zijn geweest. Het is ook mogelijk dat door de vele kleine niet-voelbare trillingen sinds 1970, die door de gasexploitatie werden gegenereerd, de zettingen van funderingen hebben versneld.



Figuur 1-104. Scheuren door triggerwerking.
Oude gebouwen 'op staal' en zonder lateiconstructie hebben vaak spanningen in het metselwerk vanwege zettingen, die bij extra trillingen kunnen vergroten of zich ontladen in zichtbare scheuren.
Zijwaartse druk van een toog in combinatie met weinig boven belasting op de penanten kunnen verwijding van die penanten teweegbrengen.

Trilling-meter, seismometer

Ook seismometer. Een trilling- of versnellingsmeter is een elektronisch meetapparaat dat een versnelling kan registreren en meten. Het wordt onder andere gebruikt in de seismologie om de trillingen van de aarde in het gebied dicht bij het epicentrum te meten. De elektronische trilling meters geven in drie richtingen de beweging van de grond of het gebouw weer. Horizontaal in de x-richting; horizontaal loodrecht erop in de Y-richting, en verticaal in de Z-richting.

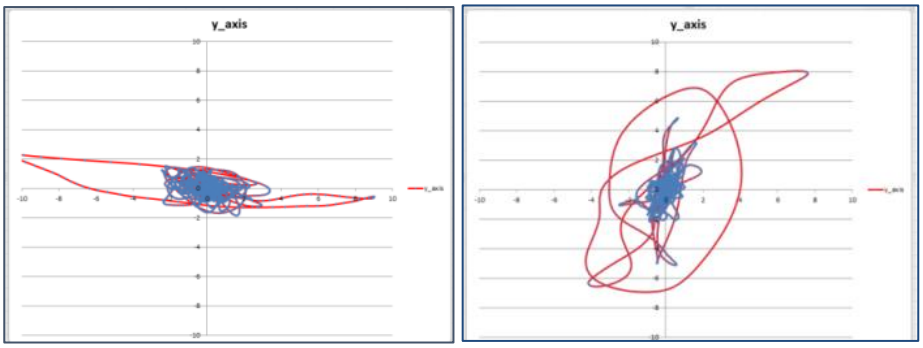


Figuur 1-105. Drie assen van een trilling-meter.
Een schuine beweging in een horizontaal vlak geeft een uitslag in de x en y coördinaten. Een schuine beweging naar boven geeft hierdoor een uitslag in alle drie de x, y en z coördinaten. De mate van uitslag wordt ook bepaald door de richting van de aardbeving, de massa en hoogte van het gebouw, de plaats van de trilling-meter en de elastische constructie van het gebouw.

Een trilling-meter die boven in de vrije grond zit zal alleen de pulsen weergeven van de trillingen die de (elastische) ondergrond veroorzaken. Een trilling-meter in een gebouw zal ook de gebouwrespons weergeven en langer natrillen.

De gekleurde grafiek hieronder geeft een trilling weer van een meter die aan een fundering is vast gebout. Na de hoge piek (rood) zijn de continuerende kleinere trillingen (blauw) de bewegingen van het gebouw die door de elasticiteit van het gebouw terugkomen naar de fundering (response).

Wanneer er een trilling-meter bovenin een hoog en elastisch gebouw wordt geplaats, zal deze het lange natrillen of zwiepen van dat hoge gebouw registreren. Trilling-meters in zowel de fundering als bovenin kunnen dan met elkaar vergeleken worden om het elastische gedrag van het gebouw te evalueren.



Figuren 1-106. Plaatsen van de trilling-meters. Links: Een enkele heen-en-weer puls van een fundering trilling-meter. Rechts: een meer complexe beweging van een gebouw dat daardoor ook een andere elastische respons terug naar de fundering geeft.

Een gebouw op betonnen palen, of met aan elkaar verbonden betonnen funderingsbalken zal veel langer natrillen dan een gebouw met ‘op staal’ gemetselde fundering. Een fundering ‘op staal’ met scheuren zal de trilling enigszins absorberen. Gebouwen met sterkere funderingen zoals gewapend betonnen plaat-balk constructies kunnen meer schade boven in het gebouw krijgen.

De trillingsfrequentie heeft invloed op het schadeniveau aan een bakstenen gebouw; een lage frequentie (< 10 mm/sec.) heeft vrijwel geen invloed. Een hoge frequentie met een trilling sterkte van > 30 mm/sec. heeft echter een grote invloed op het gebouw en resulteert vaak in schade, in combinatie met andere factoren. De trillingsfrequentie van oppervlakkige geïnduceerde bevingen is vrij hoog.

Het natrillen van het gebouw heeft ook effect op de fundering. Bij een te zwakke fundering kan dat weer leiden tot zetting. De interactie is hier complex, vooral bij funderingen op staal en op elastische grond soorten. De trilling-richtlijn uit 2017 geeft wel een handvat voor wat gebouwen van na 1980 zonder enige schade zouden moeten kunnen doorstaan, maar dat geldt niet de vooroorlogse bouw.

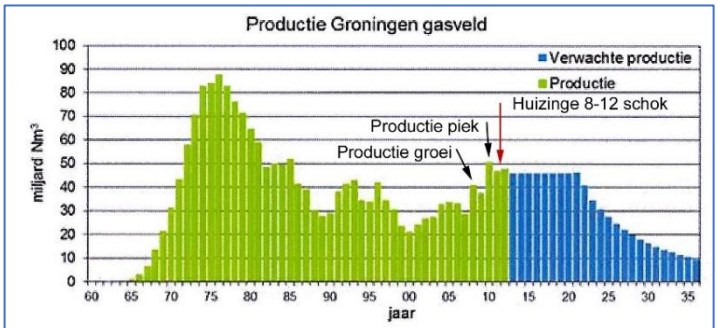
Uitputting gasveld

De uitputting van het gasveld was de doelstelling van het winningsplan 2007 en de eerste, aangepaste versie van het winningsplan 2013. Op basis van de gegevens van de 8-08-2006 en 30-10-2006 aardbevingen te Westeremden werd de aardgasproductie teruggedraaid, waarna er gedurende ongeveer een jaar geen grotere bevingen meer kwamen, en had men in 2007 het idee dat een exploitatieniveau van omstreeks de 45 miljard m^3/jaar niet aanzienlijk hogere aardbevingen zou opleveren dan PGAg 0,1 (Richter < 4) en de gebouwschade of herstelkosten te overzien waren.

Na de nieuwe aardbevingen in 8-05-2008 (Zeerijp) werd de aardgasproductie opnieuw teruggedraaid en het effect van die laatste aardbeving en de bevingen daarna te evalueren.

Vanwege het gebrek aan doorzetten van grotere aardbevingen na 2006 en 2008 was het risico van een hogere gasproductie na de 2012 Huizinge aardbeving als gering ingeschat.

Figuur 1-107. Oude winningsplan 2007. Hierin wordt de langere termijnplanning van de aardgasproductie aangegeven tot 2040, met een mogelijke uitloop tot 2050 voor de volledige uitputting. Op dat moment is nog ongeveer ¼^{de} van het gasvolume nog niet gewonnen. Vanaf 2022 zou het door de drukverlaging niet meer mogelijk zijn om op maximale capaciteit te draaien.



Gerealiseerde en verwachte productie van het Groningen gasveld conform het winningsplan (2007). http://www.nlog.nl/nl/reserves/Groningen.html

Ná 2022 zou de druk in het aardgasreservoir flink gedaald zijn, waardoor de inwendige doorstroming zou verminderen. Met het aantal extractiepunten zou het dan niet mogelijk zijn om op volle capaciteit te produceren. Er moet een plan gemaakt worden om in 2050 de hele productie af te sluiten. Een geleidelijke vermindering vanaf 2022 tot aan de uitputting is dan het resultaat.

Of men in de toekomst toch over zal gaan tot uitputting hangt dus af van de beheersbaarheid van de exploitatie en trillingen (< PGAG 0,04) en of de woningen in de tussentijd voldoende en op de juiste manier gerepareerd of versterkt zijn. Wanneer dat niet is gebeurd kunnen er bij lagere bevingswaarden toch weer oude schades terugkomen. Het hangt ook af van de kennis van de bevolking van Groningen over de toekomstige trillingen en het lage risico wat ze lopen.[124] Nieuwbouwwoningen hebben sowieso geen las van de trillingen, het gaat dus over de oudere bebouwing of die tijdig versterkt is.

Veengronden

Veen is een grondsoort die voornamelijk bestaat uit gedeeltelijk verteerd plantenmateriaal zoals veenmossen en een vochtgehalte van meer dan 75% heeft. Door belasting van een gebouw zal het veen samendrukken en wordt het water er uitgeperst. Hierdoor ontstaat inklinking, en bij een fundering ‘op staal’ gebouwverzakking. Veen dat droog komt te staan door bijvoorbeeld het verlagen van het grondwater zal gaan oxideren waardoor het volume verliest, inklinkt en de er boven staande fundering verzakt. Dit zal bij gemetselde gebouwen met zwakke funderingen leiden tot scheurvorming. Verlaging van het grondwater wordt veroorzaakt door droogte en bemaling, Bemaling is nodig wanneer door compactie het maaiveld verzakt en het grondwater dan relatief hoger komt te staan.

Bij bebouwing op veen zijn extra brede funderingen gewenst, of funderingen op palen die op een dieperliggende zandlaag dragen. Oude woningen op veen kunnen vaak het meest economisch op een platformfundering geplaatst worden.

Figuur 1-108. Grondsoortenkaart 2006. De paarse gebieden zijn veen. Wanneer het water uit het veen wordt onttrokken ontstaat bodemdaling. Wageningen Universiteit, 2006.

[124] Dit is dus een politieke en economische kwestie. Deze terminologie gaat daar niet verder op in.

Veiliger maken

Alle ingrepen die nodig zijn om op korte termijn de veiligheid van de bewoners te verbeteren of acute veiligheidsproblemen binnenin of buiten in de omgeving van het gebouw weg te nemen. Dit kan zijn door het stutten van het gebouw, of losse gebouwdelen vast te zetten of te verwijderen. De bewoners van het gebouw kunnen ook uit de woning geplaatst worden.

De term 'veiliger' is een betrekkelijk begrip en voor de bewoners een gevoelsmatige kwestie. Echter, de NPR9998 verstaat onder veilig 'net-niet-instorten', want door instortingen kunnen mensen het slachtoffer worden.
'Veilig' volgens het begrip van de NPR is niet veilig volgens de bewoners in de provincie.

Of de bewoners in een gebouw zich al-dan-niet veilig voelen is subjectief. Dat veiligheidsgevoel is gerelateerd aan het aantal aardbevingen die ze voelen en horen, het aantal scheuren dat het gebouw vervolgens vertoont, en officiële mededelingen over toekomstige zwaardere aardbevingen. Vooral de onzekerheid over toekomstige grotere aardbevingen, in combinatie met de al ontstane scheuren, geeft de eigenaar-bewoner meestal een erg onveilig gevoel.

Figuur 1-109. Stutwerk bij ingangspartij. Gebrek aan structurele samenhang (vloerdiafragma) en een onregelmatige plattegrond zijn vaak de oorzaken van scheuren. Scheuren in een gebouw maken volgens de NPR nog geen onveilig gebouw, maar wel volgens de bewoner.

Het criteria veiligheid in Nederland is gebaseerd op de norm 10^{-5}, dat wil zeggen dat er niet meer dan 1:100.000 fatale ongelukken per jaar mogen voorkomen. De maatregelen in de bouw voor steigers, ladders, apparaten etc. wordt hier regelmatig op aangepast. Zie ook de beschrijving onder 'Risico'.

De commissie Meijdam geeft aan:[125] **Individueel risico door een aardbeving**.
De kans dat iemand komt te overlijden door een aardbeving, in de periode van een jaar. In dit rapport worden vooral gehanteerd de waarden 1 op 100.000 per jaar (10^{-5}). Deze definitie telt al het aardbevingsrisico dat een persoon loopt bij elkaar op en gaat ervan uit dat een persoon het grootste deel van zijn tijd doorbrengt in gebouwen zoals thuis, op het werk of op school.

Bij het gepland aanbrengen van schade aan gebouwen en persoonlijke bezittingen (door gasexploitatie) moet de schade veroorzaker (NAM) alle kosten vergoeden of de schade volledig tenietdoen door reparaties. Dit is van toepassing op geïnduceerde aardbevingen want die zijn niet veroorzaakt door het noodlot. In Nederland met > 17.000.000 inwoners is geen overlijden door instortende gebouwen. Dit in aanmerking nemende zou maximaal een risicoprofiel wenselijk zijn van < 10^{-7}. Dat is 100 X lager dan wat de commissie Meijdam voorstelde. Het bepalen van de Mmax moet dan ook geschieden **op basis van de gebouwsterkte en het toelaatbare schadeniveau (inclusief sociale acceptatie)**, niet op een andere manier.

[125] Eindadvies 'Handelingsperspectief voor Groningen' Adviescommissie Omgaan met risico's van geïnduceerde aardbevingen 14 december 2015. https://www.parlementairemonitor.nl/9353000/1/j9vvij5epmj1ey0/vk01ksmvtnzw

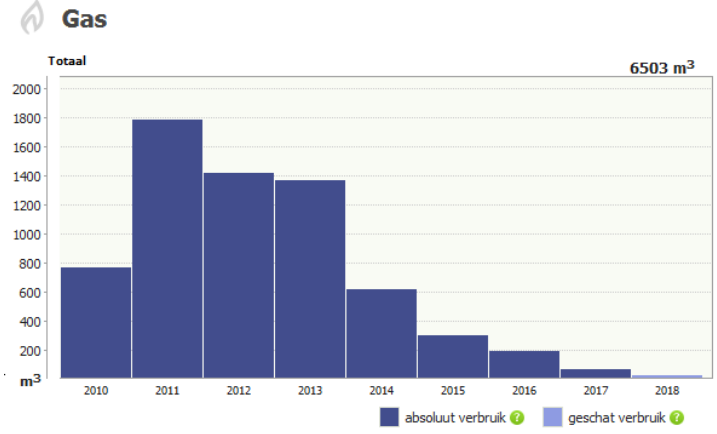
Verduurzamen

Verduurzamen is op vier manieren.

A. Het gebouw sterker maken of anderzijds aanpassen zodat het langer meegaat en ook voor andere bewoningsvormen of doeleinden gebruikt kan worden. De ruimte indeling, de mogelijkheid voor levensloopbestendige bewoning, of de flexibiliteit zijn hierbij van belang.
B. Het beter isoleren (a). Dit is in veel documenten de bedoelde mening van verduurzamen. Ook (b) het energie verbruik/opwekking van is toepassing is (BENG). Alleen beter isoleren is niet het complete verhaal.
C. Het gebruik van duurzame materialen en constructies, die zeer lang standhouden en weinig onderhoud vergen. Zoveel mogelijk materialen recyclen, waarbij de materialen die gebruikt worden van duurzaam geëxploiteerde bronnen zijn zoals duurzaam geproduceerd hout. Ook de materialen voor de aanleg van de infrastructuur rondom het gebouw zijn hierbij van belang. Het maximale hergebruik en recycling van bouwafval is van belang.
D. Een woonmodel waarbij de duurzame exploitatie en het gebruik van de omgeving ook van belang is (infrastructuur water, riolering, straten, etc.). De realisatie van woongroepen waar gemeenschappelijk gebruik van diensten (niet iedereen een eigen auto, wasmachine en bladblazer) en infrastructuur voorop staat en de bewoners elkaar kunnen ondersteunen in sociale en maatschappelijke voorzieningen.

De component C kan alleen worden gerealiseerd wanneer de verschillende afvalmaterialen gescheiden worden afgevoerd en aangeboden aan bedrijven die deze materialen kunnen (her)gebruiken of opwaarderen, of recyclen. Door op de bouwplaats de verschillende materialen gescheiden te houden is dit mogelijk. Zie ook **Ladder van Lansink.**

Door oude woningen aardbevingsbestendig te maken worden ze primair verduurzaamd volgens A, maar dat is alleen zinvol wanneer die woningen een goede fundering hebben en **nog een paar honderd jaar goed kunnen functioneren**. Wanneer de versterking door de NAM vergoed wordt, zal in de praktijk de eigenaar nog twee investeringen moeten doen in het kader van verduurzamen; B (a) de thermische isolatie en B (b) de eigen energieopwekking via technische installaties.



Figuur 1-110. Daling van gemiddeld gasverbruik.
Van een vrijstaande kleine woning.
In een aantal woningen werden gedurende 7 jaar verschillende vormen van verduurzaming toegepast (hoofdzakelijk isolatie, inclusief PV), waardoor het gasverbruik substantieel daalde.

Verweking

Liquefaction {Eurocode 8: 1.4.2.19} Verlies van sterkte en stijfheid in van vocht in niet-verdichte, maar verzadigde zandgrond, door trillingen en de daarmee gepaard gaande reductie van effectieve spanning en draagkracht van die grond. Bij gedeeltelijke verweking is er nog een deel van de korrelspanning over (druk op de zandkorrels). Wateroverspanning bestaat uit tijdelijke extra waterspanning in de poriën tussen gronddeeltjes, die kan worden veroorzaakt door snelle schuifspanningswisselingen tijdens een aardbeving. Vanwege de lage PGA, gecombineerd met hele korte trilling perioden en weinig natte zandgronden komt grondverweking in Groningen niet voor. Slechts bij PGAg > 0,2 en lange trilperioden van tientallen seconden is dit mogelijk.

Figuur 1-111. Verweking van zandgrond. Hierdoor komt het water omhoog en raakt de grond haar draagkracht kwijt. Langdurige en zware aardbeving in New Zealand 2011. Omdat de trillingen in Groningen slechts kort zijn, komt verweking niet voor, maar wel zetting.

In de bovenste 10 - 15 m van de bodem zijn in Groningen wel zandpakketten te vinden die onder het grondwater zitten en waarop met palen gefundeerd wordt, maar deze zandlagen zijn goed verdicht en geven geen aanleiding tot verweking. Wel is het mogelijk dat paalfunderingen die te hoog belast worden door aardbeving trillingen dieper in de zandlaag doordringen.

Wokkels of spiraalwapening

Spiraalvormige roestvrij stalen lintvoegwapening. Zie HAS-methode.

Zandsteen, reservoirgesteente

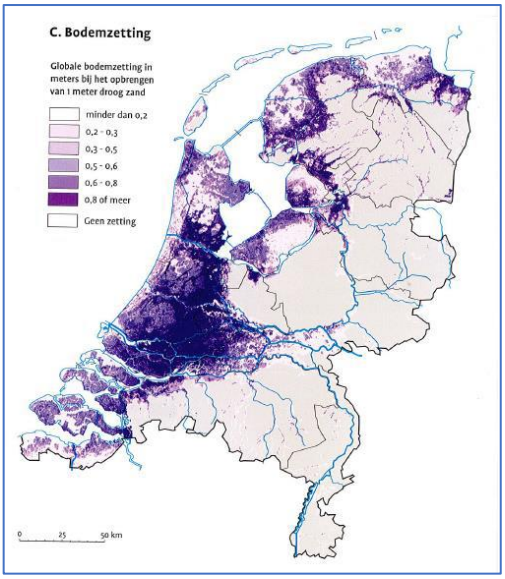
In de hele wereld komen dikke zandsteen formaties voor. Miljoenen jaren voor het ontstaan van dat zandsteen waren grote delen van de aarde bedekt met heel veel planten. De decompositie (rotten) van de gigantische hoeveelheden plantenresten veroorzaakte ook een grote hoeveel uitstoot van methaangassen (CH_4) die in de atmosfeer een zeer hoog-isolerende werking heeft. Het gevolg was een extreme opwarming van de aarde die overal woestijnvorming tot gevolg had en het rondwaaien van dat zand. Deze tientallen en honderden meters dikke zandpakketten die over de rottende planten werden afgezet, werden doorstroomd met het methaangas. Door de opwarming smolten ook de poolkapen en steeg het zeewater niveau wat door de grote hitte steeds verdampte. De zeezout afzettingen blokkeerden de doorstroming van het methaangas zodat dit op sommige plaatsen stopte.

Figuur 1-112. Uluru Rock in Australië. Deze steekt meer dan 300 m boven de grond uit en heeft >1 km doorsnede. Dit massief laat zien dat er hier naast porositeit ook grote gaten in het zandsteen kunnen zitten.

Zetting van de grond

Zetting is inklinking van de grond onder fundering door belasting, trillingen, door krimp zoals het geval is bij uitdrogen van veen, en door de bouw van zware kunstwerken zoals dijken, en nog meer oorzaken zoals compactie. Bij het plaatselijk ophogen van de grond of het aanbrengen van enig ander materiaal kan over een aantal jaren zetting geven; het grondwater kan onder deze grondophoging of constructies worden weg geperst, waarbij bijvoorbeeld funderingen die langs het talud zijn aangelegd dan worden vervormd.

Door inklinking langs dijken komen dijkwoningen ook vaak behoorlijk scheef te staan. Dit kan gemeten worden met tilt-meters. Omdat sinds 1970 de funderingen zowel een betonplaat als betonbalk constructie kregen, werd de gevoeligheid van gebouwen voor zettingen in de fundering minder. Doordat de sterkere fundering als een geheel bewoog, en de trillingen niet door scheuren in het metselwerk geabsorbeerd, worden deze trillingen naar boven in het gebouw doorgegeven, waardoor juist vanaf die periode zich veel kleine scheuren in de bovengelegen muren manifesteren.



Figuur 1-113. Zetting bij zandophoging.
Als men de grond ophoogt met 1 m zand. In de provincie Groningen kan dat oplopen tot 0,8 m; dit gebeurt dan gelijkmatig over een lange periode.
In de provincie Groningen komt de zone overeen met kleigronden. Kaartje uit de Bosatlas

Bij bijna alle schadegevallen die na de aardbevingen geclaimd werden is er sprake van een combinatie van gebouwbelasting, funderingen op staal en verschillende zetting van de grond. Wanneer tussen twee kanten van een gebouw de zetting verschillend is, kunnen er spanningen en scheuren in het metselwerk optreden. Door aardbevingen kunnen bij bestaande spanningen scheuren in dat metselwerk tot gevolg hebben.

Zoutlaag (*Zechstein*)

Eigenlijk ‘zoutsteen’ of *Zechstein*. Deze grondlaag is hard en taai tegelijkertijd en heeft daarom geen breukvlakken. Het *Zechstein* is gemiddeld ongeveer één km dik (plaatselijk soms met grote uitstulpingen) en sloot het methaangas in de onderliggende zandsteenlaag op, dat oorspronkelijk uit de daaronder liggende Carboon houdende laag kwam. De dikte van de zoutsteenlaag varieert over het gehele gebied (Nederland, Duitsland, Polen en de Noordzee), met op sommige plaatsen ruggen of heuvels van wel 2 km. In de provincie Drenthe komt het zoutsteen zelfs tot vlak aan het aardoppervlak. Hier wordt zout gedolven, wat zeer plaatselijk bodemdaling tot gevolg heeft. In enkele van deze zoutsteenkoepels wordt gedurende de zomer aardgas opgeslagen voor een eventuele piekvraag in de winter. Het zou kunnen dat die dikke zoutsteenruggen invloed hebben op de richting en sterkte van de aardbevingen.

Door de hardheid en taaiheid van deze zoutsteenlaag die boven het gas-houdende zandsteen ligt veroorzaakt deze waarschijnlijk een kortere trilling tijdens aardbevingen dan in de gebieden waar deze zoutsteenlaag dieper ligt. De dikke laag resulteert in een spreiding in de tijd van compactie zettingen in het onderliggende zandsteen.

Figuur 1-114. De Zechsteinsee.
Dit was een ondiepe binnenzee. Deze vormde zich ongeveer 260 miljoen jaar geleden over het tegenwoordige Noordwest-Europa uitstrekte. (Wikipedia)
Tijdens de miljoenen jaren hete periode van de aarde verdampte het water in deze zee, waardoor er een zoutafzetting ontstond.
Tot nu toe is het Groningse gasveld het grootste dat onder het Zechstein is gevonden.
Er zijn veel kleine gasvelden onder het Noordzeegebied gevonden.
(Afbeelding Internet)

********** Terug naar Inhoudsopgave figuren**********

Duurzaam Herstel en Versterking van Woningen in Groningen

Hoofdstuk 2 GEBOUWVORM en SCHADE-RISICO

Na de aardbevingsproblematiek en de afbouw van de aardgasproductie

Abstract:
Gebouwvorm in relatie tot aardbevingsschade aan bakstenen gebouwen, met betrekking tot geïnduceerde aardbevingen in de provincie Groningen. Vereenvoudigde uitleg, met schetsen toegelicht.

Kernwoorden o.a.:
Baksteen, bestuurlijke afspraken, diafragma, dilatatie, duurzaam, gebouwtype, geïnduceerd, hoofdstructuur, hoog risico, isolatie, maximum aardbeving, onveilig, op staal, seismisch versterken, RVS, sterkte, stijfheid, veiliger maken, verbouwen, verdieping, verduurzamen.

Door: Sjoerd Nienhuys
Bouwkundig, seismisch ingenieur
Juli 2023

2.0. Inleiding

Of bestaande gebouwen in de provincie Groningen seismisch versterkt moeten worden hangt af van een aantal factoren die ieder voor zich weer afhankelijk zijn van andere factoren. Het gaat hierover seismisch versterken volgens de NPR (net niet instorten) en niet over versterken in de algemene zin.

De hoofdfactoren zijn:

A. De sterkte van het gebouw. Dit hoofdstuk 2 geeft een indicatie van hoe de algemene seismische sterkte van het gebouw beoordeeld kan worden, zonder dat daar uitgebreide sterkte-berekeningen voor nodig zijn, te beginnen met de vormgeving van het gebouw als geheel, daarna de constructie. Het gaat hier slechts over bakstenen gebouwen en lichte aardbevingen. Bestaande scheuren in het gebouw geven ook al een indicatie over de sterkte; deze worden in detail in andere hoofdstukken behandeld. Hoofstuk 13. Basis Regels voor Seismisch Versterken geeft een aanvullende samenvatting van de belangrijkste regels voor de Groningen situatie.

B. De sterkte van de maximale aardbeving. Het gaat in Groningen over geïnduceerde aardbevingen, niet over tektonische. Er bestaan twee nogal verschillende waarden.
(1) De toegepaste waarde was per NPR9998:2015 en later, de maximaal haalbare aardbeving[126] bij een maximale gasexploitatie, verhoogd met verschillende onzekerheidsfactoren.[127]
(2) De accepteerbare waarde[128] voor het schadeniveau aan de gebouwde omgeving. Deze tweede waarde hangt af van de sterkte van de woningen, die bepaald kan worden door een analyse van elke woningtypologie. In het Groningse aardgasgebied zullen met het nivelleren van de extractie en het dichtdraaien van de gaskraan geen aardbevingen voorkomen die sterker zijn dan de beving van 16 augustus 2012 in Huizinge (PGAg = 0,085 of Richter 3,6 en duur van 0,52 sec.) of die van 8 januari 2018 te Zeerijp (PGAg = 0,114 of Richter 3,4 en duur van 0,43 sec). Het versterken van zwakke woningen tot de seismische waarde van PGAg ≈ 0,2 is dan een mogelijke maatregel. Dat betekent dat er bij een beving van PGAg 0,2 geen instorting zal plaatsvinden. Echter, de zwakste woningen zullen/kunnen dan nog wel zeer veel schade kunnen oplopen. Wanneer de werkelijke Mmax PGAg < 0,1 is, zullen de gebouwen die seismisch versterkt zijn tot PGAg > 0,2 wel minder snel bevingsscheuren krijgen.

C. De huidige en toekomstige economische waarde van het gebouw en de geschatte kosten van versterken en verduurzamen[129]. Om een gebouw seismisch te gaan versterken, zonder het tegelijkertijd beter te isoleren (buitenschil) en andere verduurzamingsmaatregels te nemen (verwarming en ventilatiesystemen, eigen energieopwekking), is geen goede investering[130]. Seismisch versterken van oude rijtjes- en doorzonwoningen met verduurzamen is relatief kostbaar en vaak economisch niet rendabel. Woningcorporaties zullen dan bij seismisch versterken de voorkeur geven aan sloop en nieuwbouw per woningenblok.

---

[126] Dit is een niet-logische stellingname. Als er een risico van overmatige schade of instortingen zou bestaan dan mag de geïnduceerde aardbevingssterkte niet groter zijn dan dat risico.

[127] Het seismisch versterken van woningen voor een PGAg 0,3 of hoger zal deze woningen grotendeels beschermen tegen schade door aardschokken met een PGAg < 0,1.

[128] De accepteerbare waarde zal voor veel woningeigenaren sterk verschillen. Wanneer de Mmax over een periode van enkele jaren pas verwacht wordt dan bestaat er de optie om de zwakste woningen te versterken.

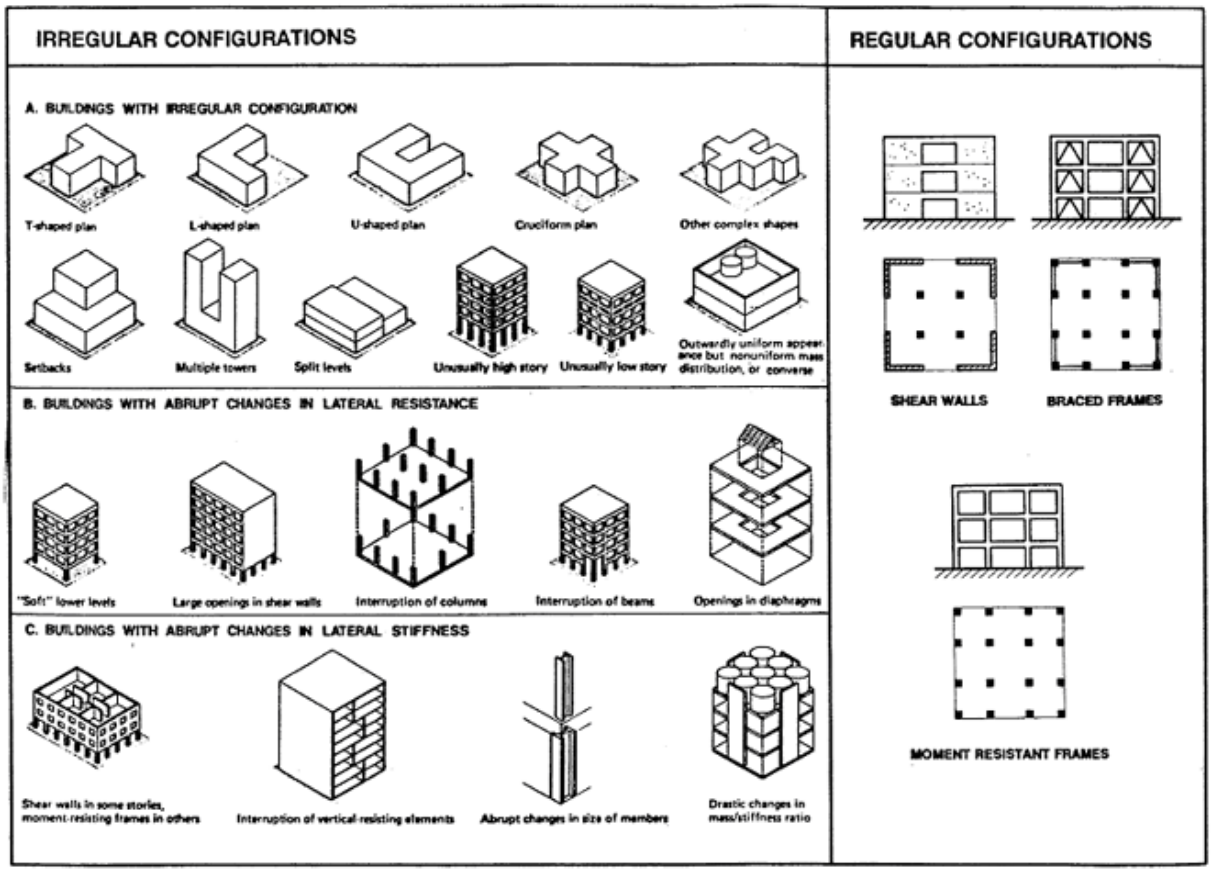
[129] Voor gemeentelijke of rijksmonumenten ligt deze situatie anders, want daar wordt minder naar de netto woonwaarde van het gebouw gekeken, meer naar de culturele waarde. Die culturele waarde is wel weer afhankelijk van de politiek. Bij monumenten die geïdentificeerd werden met aardbevingsschade, kunnen de kosten van seismische versterking de uiteindelijke woningwaarde flink overstijgen.

[130] Bij een nieuwbouw moet het voldoen aan de isolatie van het Bouwbesluit 2015 of beter, en voldoen aan de laatste NPR voor de te verwachten seismische schokken. Echter, als men de huidige nieuwbouwnorm volgt, zijn de additionele kosten voor het seismisch resistent maken hooguit 5% extra.

D. De milieupolitiek. Hoewel er door veel partijen al jaren wordt aangedrongen op betere woningisolatie in de woningbouw toe te passen, energie-labels, passieve woningbouw, de 'Ladder van Lansink', circulaire bouwmethoden[131] (Cradle to Cradle), van-gas-los, Nul-op-de-Meter, en verminderde CO_2-uitstoot op alle terreinen, enz., zijn overheidsmaatregels van vóór 2015 niet dwingend genoeg. Particuliere woningbezitters kunnen sinds 2020 wel isolatiesubsidies en renteloze leningen krijgen, maar met bijkomende kosten zijn er toch extra investeringen nodig, die voor veel bewoners vaak niet op te brengen zijn.

2.1. Aanbevelingen van de NPR9998 (Eurocode 8)

De sterkte van een gebouw om aardbevingen te weerstaan wordt negatief beïnvloed door een aantal factoren zoals een ongelijke of asymmetrische vorm, zowel horizontaal als verticaal, en een verschil in stijfheid of sterkte per woonlaag. Alle aardbevingscodes hebben een aantal paragrafen over dit thema, met formules en berekeningen om aan de sterkte eisen te voldoen. De relevante paragrafen uit de Eurocode 8 zijn bij de schetsen vermeld.



Figuur 2-1. Onregelmatigheid in de gebouwvorm. Voor de baksteen woningbouw in de provincie Groningen is hoofdzakelijk de bovenste rij van belang.
Afbeelding uit: http://www.wbdg.org/resources/seismic_design.php

Van buitenaf is meestal eenvoudig te zien of de vorm van een oud bakstenen gebouw een verhoogd schaderisico heeft[132]. De constructie moet eenvoudig en compact van vorm zijn. Bij T-, L- en U-vormen van de plattegrond van een gebouw zullen bij een aardbeving golvende krachten op de fundering hoger oplopen dan bij een compacte plattegrond.

[131] Zie webinar van Hans Stofberg op: https://bouwprofsacademie.ning.com/videos/circulair-bouwen-in-de-praktijk
[132] Moderne gebouwen kunnen inwendige versterkingsconstructies hebben van staal of gewapend beton die aan het oog onttrokken zijn. Een onregelmatig gebouw kan toch aardbevingsresistent ontworpen zijn.

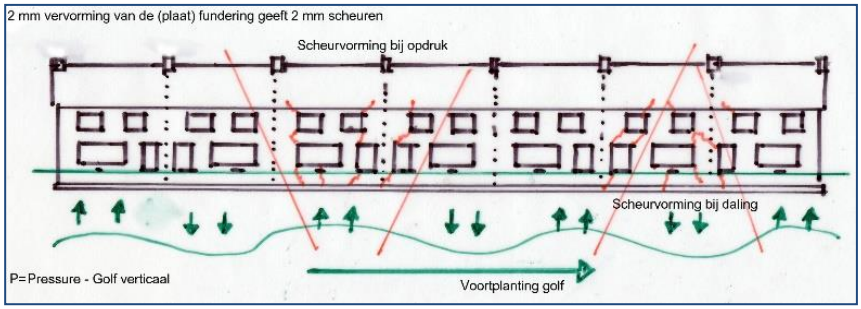
Tijdens een aardschok zijn er verticale P-golven en horizontale S-golven[133]; beiden hebben invloed op het gebouw, de S-golven het meest. Bij nieuwbouw moeten de gebouwvormen met de funderingen doorgerekend worden en aangepast op de Mmax.

Figuren 2-2. Onregelmatige vormgeving gebouwen.
Het is technisch mogelijk om onregelmatige bouwvormen toe te passen, maar de interne constructie en fundering moet dan seismisch aangepast worden.
<u>Links</u> boerderij Workum, <u>Rechts</u>. Belvedère Hilversum.

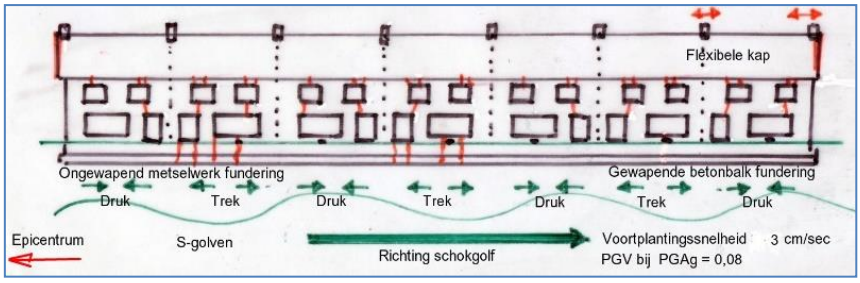
De druk of P-golf *(pressure)* veroorzaakt een verticale op-en-neer beweging. Bij een lang en laag gebouw en een slappe fundering zoals 'op staal' of een betonplaat zal deze iets meegeven, waardoor het bovenliggende gebouw scheuren kan oplopen. Bij het erg stijve en brosse metselwerk zal een 2 mm verplaatsing ook meteen een 2 mm scheur opleveren. Vooral aan de binnenkant bij schoon pleisterwerk zal dat direct zichtbaar zijn. Paalfunderingen kunnen dit effect versterken.

Zware stijve balken in de fundering zullen voorkomen dat er verticale scheuren ontstaan. De verticale beweging van de aardbeving kan zetting van het gebouw veroorzaken. Bij een ongelijke of zwakke fundering 'op staal' betekent dat scheuren.

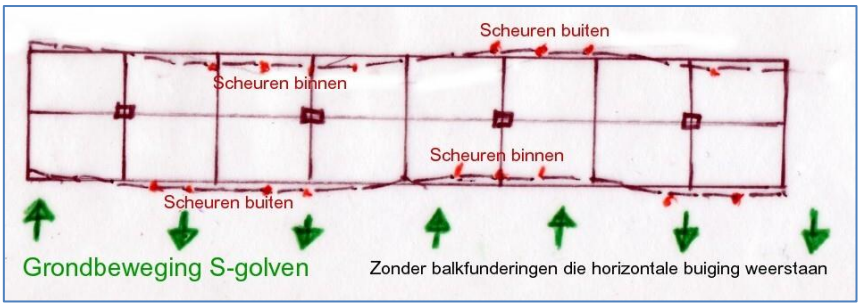
Figuren 2-3. Effecten van seismische golven.
Bij P-golven (druk) ontstaat bij het snel opdrukken van de fundering en bros metselwerk een V-vormig scheurpatroon via de openingen.
Bij daling een omgekeerd V patroon in de scheuren.



<u>Rechts</u>. Bij horizontale golven kan de trekbeweging scheuren in de fundering geven als er geen goede balkenstructuur is.



[133] De snelheid van de S-golven wordt in grote mate bepaald door de grondsoort. In de NPR is de bovenste 30 m van de bodem dan ook medebepalend voor de krachten die op een gebouw uitgeoefend worden.

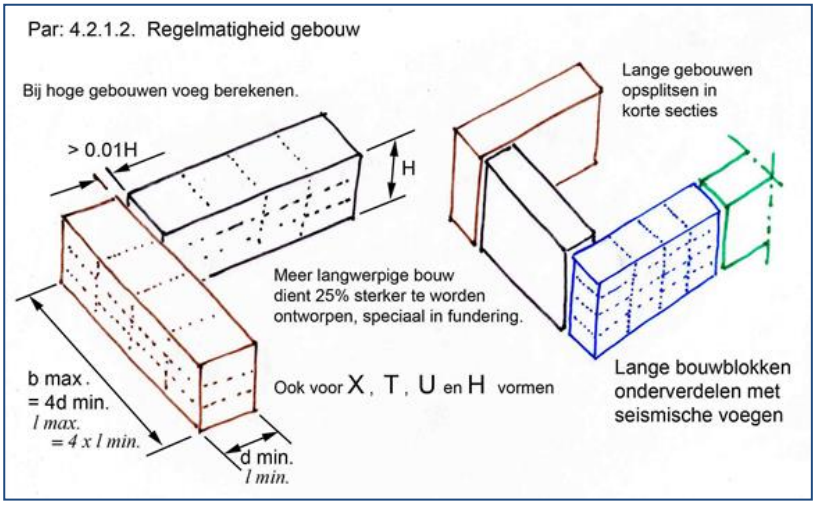


Figuur 2-4. Dwarsbelasting van Seismische golven. Bij S-golven en lange gebouwen zonder balken of funderingsplaat, kan het hele gebouw met de grond gaan zigzaggen, waardoor kleine binnen en buiten scheuren ontstaan.

Hoe langer het gebouw en hoe sterker de grondbeweging onder de fundering zijn, hoe groter de trek- en drukkrachten op die fundering zullen worden. Bij een bakstenen fundering zonder sterke doorgaande en dragende balkconstructie kan deze dan scheuren.[134] Hierbij wordt iets van de schok geabsorbeerd. Bij sterke balkfunderingen kan daarom boven in het gebouw meer schade ontstaan. In beide situaties kunnen scheuren tussen de openingen ontstaan.

2.2. Lange gebouwen dienen opgesplitst te worden

Om te zorgen dat de gebouwdelen niet tegen elkaar aan stoten en beschadigen, dient er een dilatatie te zijn van minimaal 1% van de totale hoogte.



Figuur 2-5. Ongelijkmatige plattegrond van gebouw. Eurocode 8, paragraaf 4.2.1.2 geeft aanbevelingen waaraan een gebouw bij voorkeur moet voldoen om op aardbevingen goed te doorstaan.

Als het gebouw afwijkt van deze aanbevelingen zijn er hoofdzakelijk twee opties.
(1). De verbindingen tussen de gebouwdelen verbreken en op die scheiding een dilatatie maken.
(2). Het gebouw plaatselijk versterken om de mogelijke seismische krachten te weerstaan.

Figuur 2-6. Seismische dilatatie. Bij een kop-romp boerderij (zonder middenstuk) kan het dilateren vereisen dat de schuur een nieuwe draagconstructie aan de kop-kant krijgt. De schuur heeft ook nog een verschillende flexibiliteit en fundering.

[134] Het kan voorkomen dat een nieuwe aanbouw met sterk metselwerk wel scheuren heeft, maar het oude gebouw met een zwakke fundering en kalmortel metselwerk geen boven het maaiveld zichtbare scheuren.

Figuren 2-7. Scheuren in rijtjeswoningen 'op staal'.
Hier kunnen via het ventilatierooster onder het raam scheuren ontstaan: <u>Midden</u>. <u>Rechts.</u> Scheur in de smalle metselwerkstrook tussen kozijn en muurplaat.

Figuren 2-8. Scheuren bij aanbouwen.
Bij deze woning is 20 jaar na de bouw een uitbouw gemaakt; andere soort baksteen.
Dit is een veel voorkomende bouwfout.
De scheurvorming ontstaat door 4 aspecten:
- *a) onregelmatige gebouwvorm,*
- *b) verschillende funderingen,*
- *c) gebrek aan verbindingswapening in metselwerk,*
- *d) aardbeving.*

Een flexibele dilatatie had de scheur voorkomen.

Figuren 2-9. Compacte gebouwvorm.
Woning met een kleine basis en sterke funderingsbalken.
Deze vormen hebben minder kans op bevingsschade.

Figuren 2-10. Ontwerpfouten bij seismische belasting.
In de binnenhoek werd de muur boven het raam losgetrokken. Bij de binnenhoek of inham rechts is er geen continuïteit in het vlak van het metselwerk en ontstaat een verticale scheur.

Figuur 2-11. Verschillende bouwmaterialen. Bij deze woning is een aanbouw van houtconstructie gemaakt, waardoor de aansluiting tussen de twee materialen met een dilatatie voeg is dichtgemaakt. Voor het plannen van een uitbreiding is dit een goede oplossing.

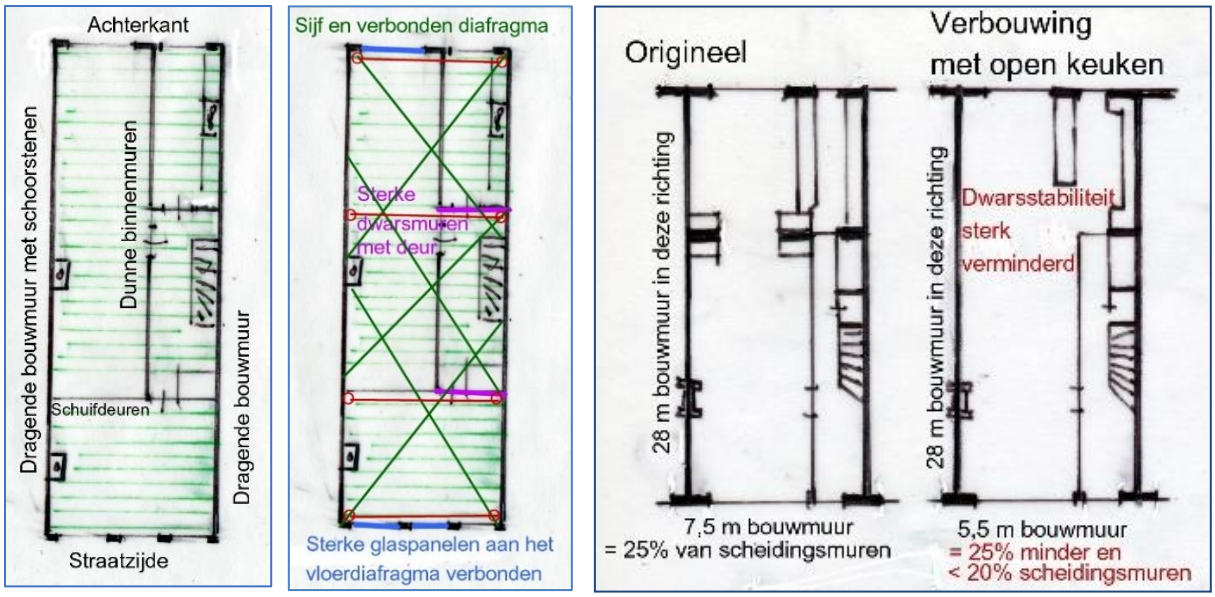
2.3. Grachtenpand of stadswoning

Rijtjes- en doorzonwoningen hebben gelijksoortige (seismische) problemen als stadswoningen die slechts aan de straat en de achterkant grote ramen hebben en waar tussen de gebouwen lange doorgaande muren staan waarin de vloeren zijn opgelegd. Die enkele of dubbele scheidingsmuren bieden een grote stijfheid in dat vlak (loodrecht op de straat), maar die gebouwen zijn niet sterk in de lengterichting van de straat. Dit is goed te zien als men alleen de vrijstaande woning bekijkt.

Figuren 2-12. De tussen- of bouwmuren zijn gesloten.
De tussengevels tussen de woningen zijn gesloten en voldoende sterk. De straatgevel heeft grote ramen en slechts smalle raampenanten die in de lengte van de straatgevel onvoldoende seismische sterkte geven.

In de twee foto's boven kunnen de gebouwen wel onahankelijk van elkaar bewegen vanwege de steeg tussen de gebouwen. Elk gebouw moet hier afzonderlijk voldoende seismische sterkte hebben. Het hebben van een dilatatie tussen niet-gelijksoortige gebouwdelen of gebouwen verminderd schaderisico door de verschillende trillingsperioden van elk gebouw.

Figuren 2-13. Aanleunende woningen.
<u>Links.</u> De jaren-1900 woning links is zwaarder dan de jaren-1800 woning en heeft de zijmuur van de oudere woning naar beneden getrokken en daardoor het deurkozijn vervormd werd.
<u>Rechts.</u> De woning is aan één kant ruim gedilateerd, maar aan de andere kant niet.



Figuren 2-14. Grachtenpanden met grote diepte.
Het grachtenpand heeft in de diepte wel sterkte tegen belastingen, maar niet in het vlak van de straatgevel.
<u>Midden.</u> Paars. Door sterke portalen in de etage te bouwen kan op elke etage de stabiliteit verbeterd worden. De naastliggende woningen moeten ook zo versterkt worden. Een stijf vloerdiafragma brengt de krachten over naar de portalen, die de krachten overbrengen naar de fundering.
<u>Rechts.</u> Bij het verwijderen van de klassieke kasten met schuifdeuren uit oude woningen kan de stabiliteit van de woning in gevaar komen. In een situatie van seismische belasting levert dat een groot risico op overeenkomstig met het risico van rijtjeswoningen die alleen op windbelasting zijn gebouwd.

Vanwege het gebrek aan sterkte in het vlak van de straat- of achtergevel moeten deze gebouwen ook seismisch versterkt worden door de toepassing van stijve vloerdiafragma's op elke etage die het doorbuigen (naar rechts of links in de schets) van de lange tussenmuren moeten voorkomen.
De seismische belastingen moeten daarna vanuit dat vloerdiafragma overgebracht worden op:

a. Sterke dwarsmuren (met deur, paars), of
b. Momentsterke portalen die over de breedte gaan (rood), of
c. Sterke constructieve glaspanelen (blauw).

Omdat er op de begane grond een deur zit, op de etage een balkon etc., of er een raam opengezet moet worden, zouden er minimaal twee van de kozijnen seismisch versterkt moeten worden. Deze optie met alle drie de ramen versterken is goed mogelijk wanneer de woning een balansventilatie systeem heeft met warmteterugwinning die voor voldoende ventilatie zorgt.

2.4. De problematiek van rijtjeswoningen en doorzonwoningen

Overeenkomstig de verschillende woningwetten en bouwverordeningen worden woningen in Nederland hoofdzakelijk gebouwd om de maximale windbelasting te weerstaan. Bij een gevel van 10m^2 komt dit overeen met een windbelasting van ongeveer 10 ton. Met een aardbevingsbelasting van PGAg 0,1 en een woningmassa van 100 t is dat 10% of 10 t. De windbelasting is in dit geval gelijk aan de seismische belasting.

Rijtjeswoningen hebben daarom slechts een sterkte-weerstand in de lengte van het gebouw die vergelijkbaar is met de weerstand van één vrijstaande woning (en wat wrijving langs de zijkant). Dat komt dan bij een kopgevel van 10 m^2 neer op een belasting van 10 ton. Echter de aardbevingsbelasting is 4 x 100 ton x PGAg 0,1 = 40 ton. Met een constructie sterkte van 10 ton is dat onvoldoende.

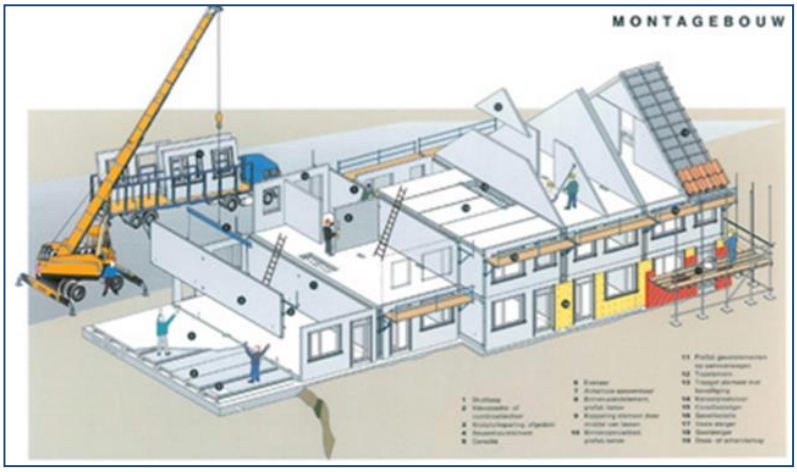
Figuur 2-15. Aardbevingsbelasting op rijtjeswoningen.
De windebelasting op de kop van een vier rijtjeswoning is gelijk aan die van een enkele woning.
De aardbevingsbelasting op de kop is viermaal zo groot als die van een enkele woning.

Bij een rijtje van zeven woningen is de aardbevingsbelasting op de kop <u>zeven keer zo groot als de ontwerp windbelasting</u>.

Bij rijtjeswoningen waar de etagevloeren van zware betonnen systeemvloeren zijn gemaakt, resulteert dit in een zware bevingsbelasting in de lengterichting van het hele gebouw. Bij een serie naast elkaar liggende doorzonwoningen en bij stapelbouw (montagebouw) is de horizontale weerstand in het vlak van de lange gevel tegen belastingen erg beperkt. Deze gebouwen hebben in de gevel geen penanten of inwendig geen dwarsmuren die de stabiliteit in een serie geschakelde gebouwen vormt.

Figuur 2-16. Afbeelding van montagebouw.

Bij montagebouw[135] *zijn de aangevoegde verbindingen tussen de verschillende elementen meestal niet of onvoldoende momentsterk om veel zwaardere dwarskrachten dan hoge windbelasting op te vangen.*

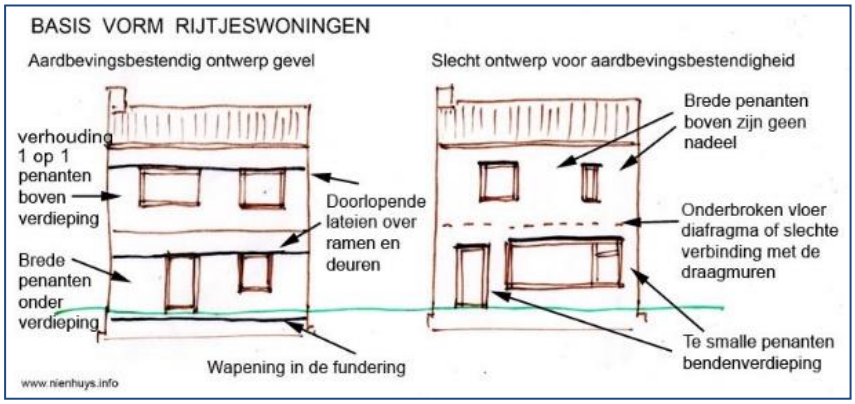


In Nederland en in de provincie Groningen voldoen doorzonwoningen en rijtjeswoningen zelden aan de NPR-aardbevingsregels omdat op de begane grond in één richting grote raampartijen zitten.

Figuren 2-17. Grote ramen maken zachte etage.
Rechts. Bij woningen die een pui over de gehele gevel hebben, zal die houten glas-pui niet de seismische belasting in het vlak van de gevel kunnen opnemen.

[135] Bron http://www.joostdevree.nl/bouwkunde2/jpgb/bouwmethode_3_montagebouw_www_hbobouwkunde_nl_www_thiememeulenhoff_nl.jpg

Figuur 2-18. Basisvorm van rijtjeswoningen.
<u>Rechts</u>. Op de begane grond, zijn de b/h verhoudingen van de penanten kleiner dan 1/3 (of b/h = 0,3).
Op de eerste etage zijn de penanten aanzienlijk breder. Het gebouw rechts heeft hierdoor een "zachte etage" op de begane grond.



Wanneer in de bovenstaande woningen op de begane grond een dwars-tussenmuur wordt verwijderd om een openkeuken met de woonkamer te maken, komt de stabiliteit van het hele blok in gevaar.

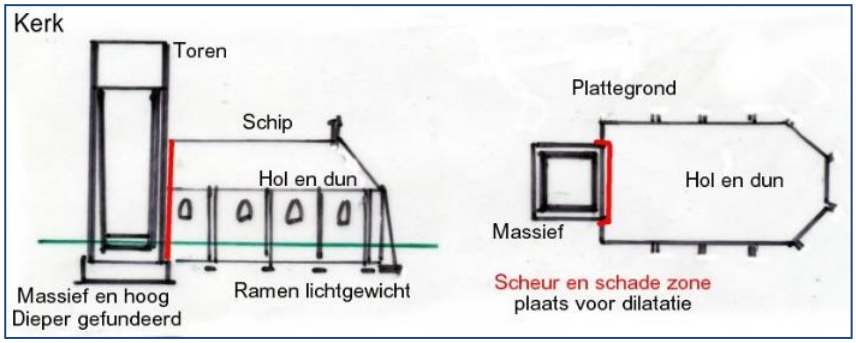
2.5. Gebouwen moeten bij voorkeur regelmatig van vorm en belasting zijn

Bij een niet-symmetrische of onregelmatige vorm vergroot de kans dat er asymmetrische krachten op de constructie komen en daarmee torsie. Een groot verschil in de massa van de verschillende gebouwdelen zal ook een asymmetrische belasting opleveren.

Een extreem voorbeeld van onregelmatige bouw is een kerktoren met het schip. De twee onderdelen hebben een verschillende hoogte en daardoor elk een eigen trilling-periode en gaan daardoor verschillend bewegen. Scheuring tussen schip en toren is bij een aardbeving onvermijdelijk. De toren is vaak ook dieper gefundeerd waardoor vanuit de fundering ook zettingsverschillen kunnen ontstaan.

Figuren 2-19. De toren is tweemaal zo hoog.
Hierdoor heeft deze de helft van de trillingsfrequentie van het schip, waardoor de kerkmuur los van de toren kan/zal scheuren.
Wanneer het houten dak flexibel is kan bij die aansluiting de scheurvorming minder zijn.
<u>Rechts:</u> Andere kerk met scheur tussen toren en schip.

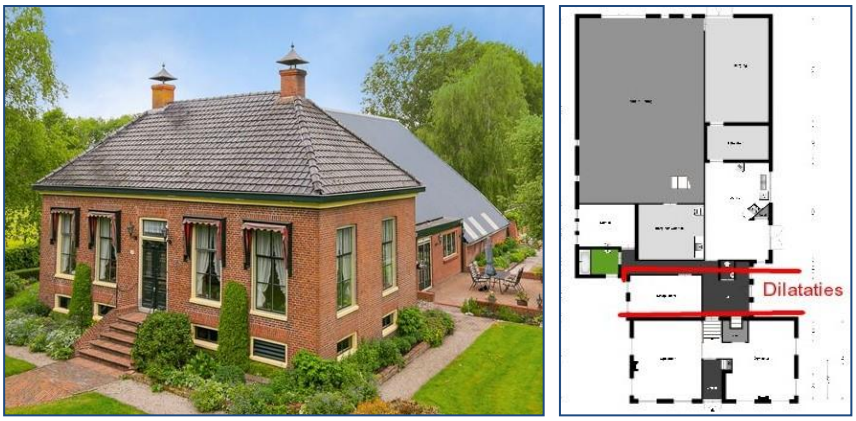
Figuur 2-20. Massa en fundering verschillend.
Zowel de massa, fundering als de hoogte bij een historische kerk zijn sterk verschillend.
Om het schip los te koppelen moet er langs de toren een andere draagconstructie voor het dak van het schip gemaakt worden.



Figuren 2-21. Onregelmatigheden woningen. Voorbeelden van kleinere versies van onregelmatigheden in een gebouw zijn het torentje, de hoge schoorsteen of een hoge uitbouw op een dak. Verschillen in stijfheid van gemetselde schoorstenen en houten dakconstructies zullen extra hoge belastingen op de stijve onderdelen veroorzaken.

Cultureel erfgoed in Nederland werd nooit gebouw met aardbevingen in gedachte en zijn daarom vaak erg kwetsbaar. De kop-hals-romp boerderij in de provincie Groningen is een veel voorkomend voorbeeld van een onregelmatig gebouw. Het in baksteen gemetselde (stijf) woonhuis (kop) heeft een verschillende massa en flexibiliteit dan die van de grote schuur met haar houten gebinten (flexibel).

Het tussenstuk (hals) is meestal één etage en heeft daardoor ook een kleinere massa en hoogte. De drie gebouwonderdelen zijn ook verschillende gefundeerd: Het woonhuis met een kelder, het tussenstuk ondiep en de grote schuur op losstaande fundamenten voor de gebinten.

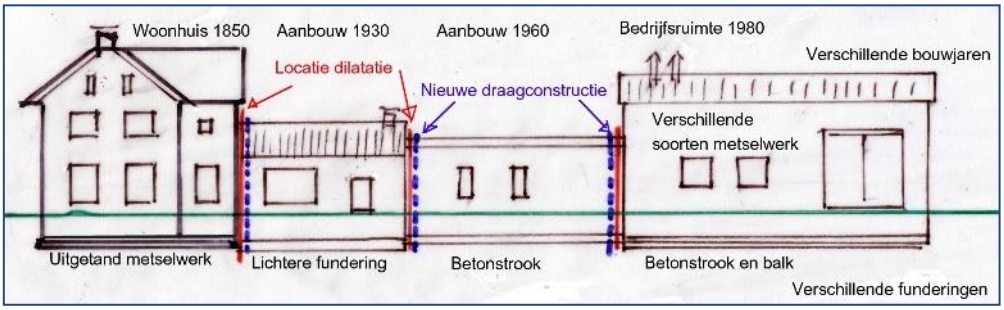


Figuren 2-22. Kop-hals-romp boerderij is kwetsbaar. Bij een aardbeving zullen aan twee kanten van het hals-tussenstuk scheuren ontstaan. Daar moet dus gedilateerd worden.

Geen stijve verbinding tussen kop en de schuur. De flexibele schuur mag niet stijf aan het kopgedeelte vast zitten. Er moet een extra draagconstructie voor de schuurkap worden gemaakt. De losse schuur moet apart versterkt worden.

De grote gebintenschuur heeft een geheel andere seismische karakteristiek dan de oude bakstenen woningen en is vaak slecht onderhouden. De baksteen zijmuren van de schuur hebben meestal geen dragende functie. Verschillende aspecten van de gebintenschuur worden behandeld in Hoofdstuk 9.

Figuur 2-23. Schuur is omgebouwd tot woonruimte.
De twee gebouwdelen hebben verschillende funderingen, terwijl het oranje-beige schuurgedeelte geen tweede etage heeft.
De dilatatie moet in dit geval om het oude linker gebouwgedeelte worden aangelegd. Daarna kan dat deel seismisch verstevigd worden.
Het is ook mogelijk om deze boerderij in drieën te delen want de vrijstaande gebintenschuur heeft nauwelijks of geen seismische versterking nodig.



Figuur 2-24. Verschillende funderingen. Elke aanbouw heeft een eigen soort fundering en metselwerk.

Deze boven afgebeelde situatie leidt altijd tot spanningen, zettingen en scheuren tussen de gebouwdelen. Elk deel moet structureel zelfstandig zijn, ook als het geen aardbevingsgebied is.

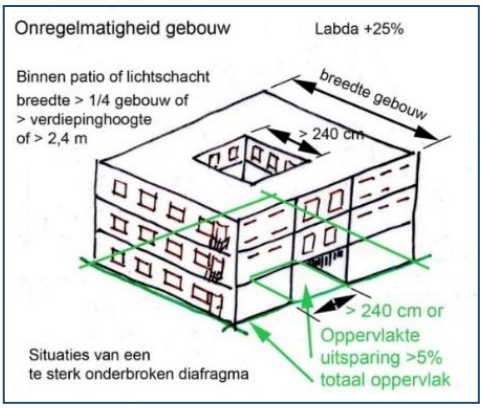
Grote gebouwen die niet voldoen aan het criteria van regelmatigheid en volgens de NPR binnen een risicogebied vallen, moeten worden doorgerekend op deze problemen en waar nodig dienen er dan extra versterkingen te worden aangebracht ter compensatie.

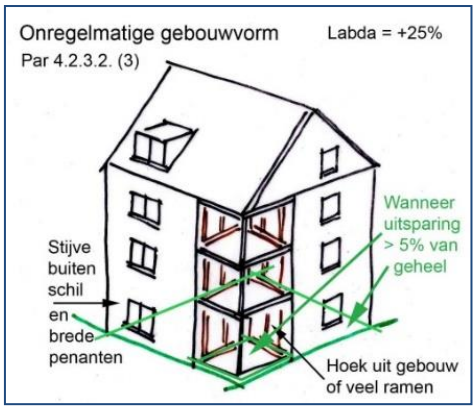
Figuur 2-25. Lang en met abrupte veranderingen. Dit gebouw in de stad Groningen heeft zowel een grote lengte als een massa/hoogte onregelmatigheid en grote abrupte veranderingen

2.6. Er mogen geen verticale abrupte veranderingen zijn

De veranderingen betreffen variaties in de weerstand, massa, hoogte of flexibiliteit van het gebouw. Dit betekent ook dat het vloerdiafragma geen grote inhammen of onderbrekingen mag hebben. Indien deze onderbrekingen wel bestaan is het mogelijk om aanvullende versterkingen rond die openingen aan te brengen zodat het vloerdiafragma dezelfde sterkte heeft als de integrale vloer zonder onderbrekingen.

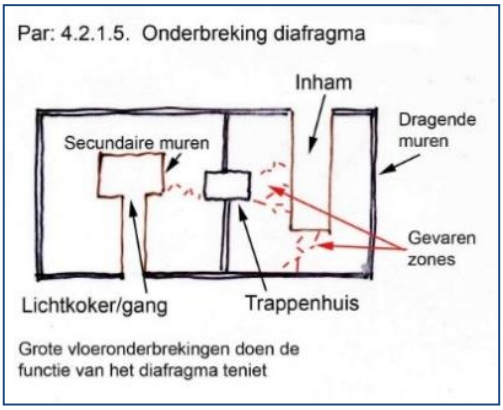
Als het mogelijk is om bij bestaande gebouwen seismische dilataties in te voegen, of de onregelmatigheid in structurele stijfheid te corrigeren en te compenseren, dan heeft dat de voorkeur boven het gebouw te versterken. Hierdoor worden namelijk ook de torsiekrachten verminderd.

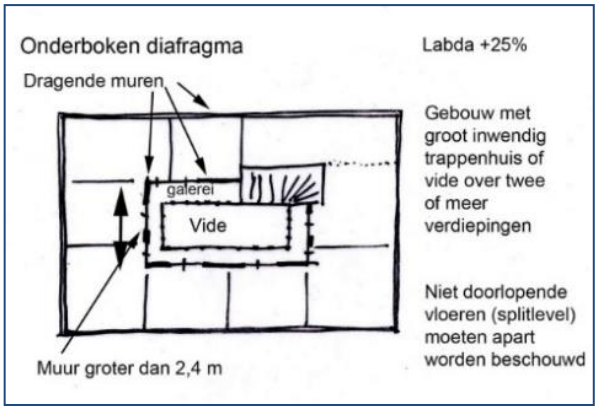




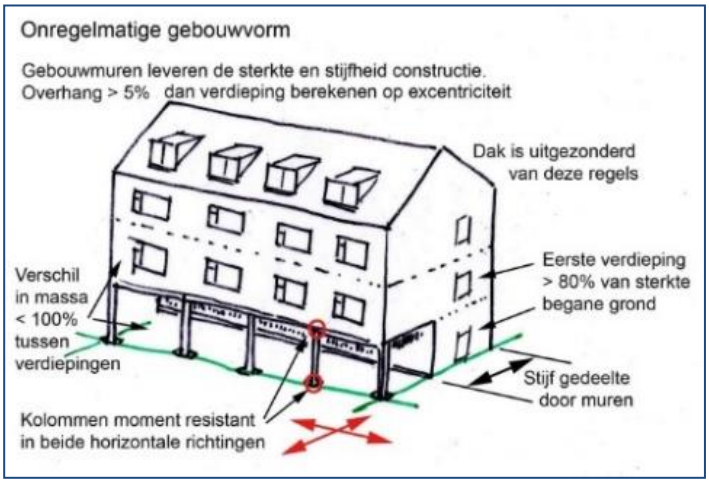
Figuren 2-26. Onregelmatigheden in een gebouw. Wanneer de grenswaarden van de NPR worden overschreden is een verhogingsfactor van de belasting nodig van 25%. De afgebeelde gebouwvormen zijn slecht te dilateren.

Om onregelmatige stijfheid en daarmee torsiekrachten te voorkomen stelt de NPR dat er maximale waarden zijn voor inhammen en onregelmatigheden. Deze zijn in de volgende figuren aangegeven.





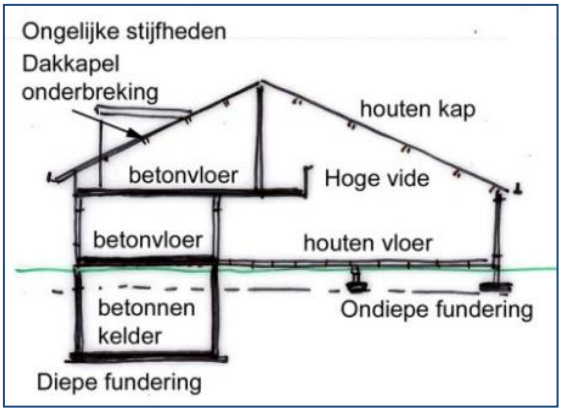
Figuren 2-27. Onderbroken diafragma. Inhammen in gebouwen zoals lichtkokers, trappenhuizen, vides of splitlevel ontwerpen, zijn onderbrekingen van het vloerdiafragma.
Bij nieuwbouw is dan een verhoging nodig van de berekeningswaarden van 25% nodig. Een zwakke etage moet minimaal 80% van de sterkte hebben van de volgende etage.



Figuren 2-28. Teruggezette entree.
Dit komt veel voor. Door deze kleine onregelmatig-heid ontstaan al veel scheuren.

Figuren 2-29. Woningen met een portiek. Deze scheuren ontstaan ook door het gebrek aan een doorlopende en sterke funderingsbalk onder de hele gevel.

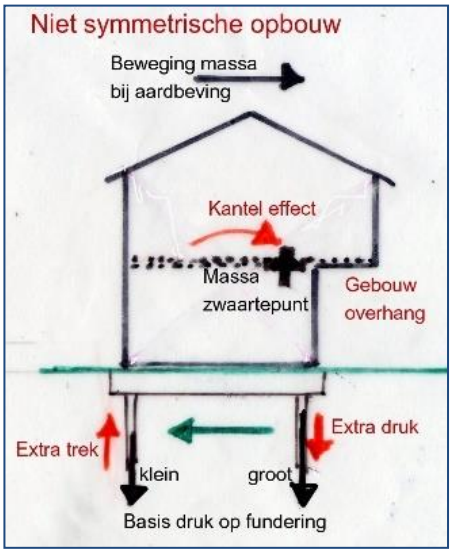
Onregelmatigheid kan ook binnen in een gebouw bestaan, door een groot vide over twee etages aan een kant van het gebouw, grote dakkapellen of ongelijke funderingsdiepte door een kelder.



Figuur 2-30. Ongelijke stijfheden in de hoogte. Andere vormen van gebouw onregelmatigheden die niet direct van buitenaf zichtbaar zijn, maar wel tot aardbevingsschade kunnen leiden.
a) Verschillende aanlegdieptes in de fundering van het gebouw.
b) Stijve betonnen en flexibele houten vloeren.
c) Inwendige vides.
d) Grote dak-onderbrekingen door ramen en dakkapellen.

2.7. Er mag geen grote verticale verandering van massa en symmetrie zijn

Deze voorwaarde geldt voor zowel de versmalling naar boven als een verbreding naar boven, waarbij een verbreding van het gebouw of grote gebouwonderdelen naar boven de meeste problemen oplevert, omdat hiermee het massazwaartepunt naar de zijkant van het gebouw verplaatst wordt.
Dit zal in het bijzonder het geval zijn wanneer er zware betonnen vloeren zijn toegepast en de bovenetage minder ramen heeft dan de begane grond.



Figuren 2-31. Overhangend gebouw. Dit veroorzaakt ongelijke spanningen in de fundering. De extra druk van P-golven kan ook extra zakking opleveren en kantelen van het gebouw.
<u>Rechts</u>. Foto TU Eindhoven

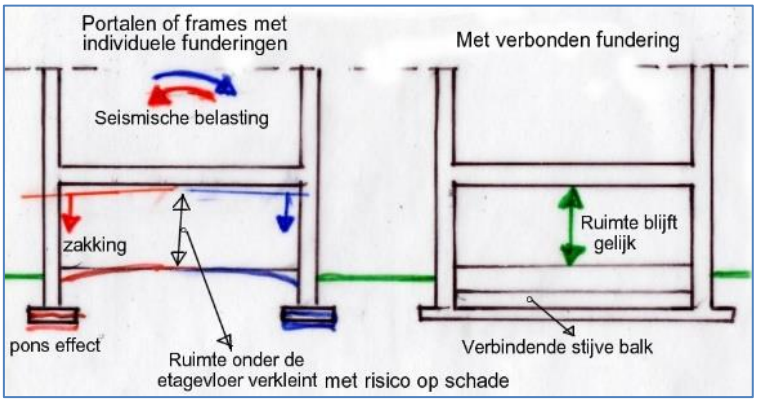
In *Figuur 2-1* staan in het vak B) en C) voorbeelden met abrupte verandering in sterkte of stijfheid. Deze veranderingen resulteren in een zogenaamde zachte etage. Bij een overschrijding van de maximale aardbeving waarop het gebouw berekend is, zal deze zachte etage als eerste bezwijken.

Aan de rechterkant van die tekening staan voorbeelden van gebouwen met regelmatige opbouw en plattegrond. Dezelfde principes gelden voor bakstenen gebouwen. Gebouwen of woningen die in een gedeelte veel open ruimte hebben en in een ander gedeelte meerdere dwarsmuren, vallen in deze categorie. Dit is vaak alleen op de plattegrond van het gebouw te zien.

Figuur 2-32. Verschil in stijfheid van etages.
De onderste etage en de bovenliggende bouwlagen hebben een verschillende stijfheid. Bij dit kantoorgebouw zitten aan de buitenkant stijve betonpanelen en binnenin tussenmuren. Wanneer er ook stijve invul binnenmuren op de begane grond etage zitten, kan dat problemen opleveren vanwege het stijfheidsverschil met de kolommen (capaciteitsmode). Aansluitingen met binnenmuren moeten hier op de begane grond flexibel of gedilateerd zijn.

Figuren 2-33. Verandering van stijfheid.
Bij gebouw aanpassing kan een verandering van stijfheid ontstaan.
De grote winkelpui, moet minstens 80% van de stijfheid hebben van de bovenliggende etage.

Bij kolommen, portalen en frames, in combinatie met een grotere seismische belasting van de zijkant van het gebouw dan de belastingen van nieuwbouw norm, zullen deze constructies extra belast worden.



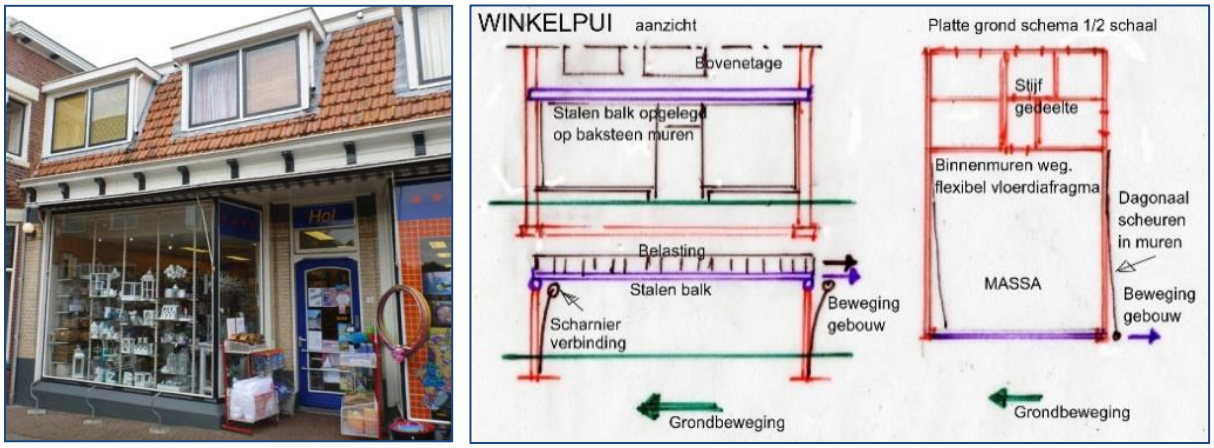
Figuur 2-34. Zetting aan de zijkanten.
Omdat zijdelingse seismische schokken in een zetting van de zi funderingen kan resulteren (ook met palen), kan zonder doorgaande balkverbinding het middengedeelte relatief hoger komen.

Bij oude gebouwen en een vergroting van de etalageruiten zonder fundering verbetering kan dit gebeuren.

Om te voorkomen dat de funderingen onder deze constructies gaan zetten t.o.v. het middenstuk, is het belangrijk dat de fundering een sterk raamwerk vormt, waarbij de twee zijkanten onderling verbonden zijn door een sterke balkconstructie die een negatieve belasting kan opnemen.

2.8. Verbouwingen kunnen leiden tot onregelmatige stijfheden in een gebouw

Winkelpanden hebben op de begane grond aan de straatkant meestal geen dragende muren maar grote etalageruiten. Kolommen onder de nieuwe stalen balk dragen de bovenetage. Deze (metselwerk) kolommen vormen met de stalen balk echter geen momentsterk/stijf portaal.



Figuren 2-35. Moment-vaste constructie.
Veel voorkomende situatie door verbouwing voor meer winkelruimte en een grote glazen pui aan de straatkant. Meestal is de oplegging van de balk op de zijmuren of kolommen zonder moment-vaste constructie.

Bij een aardbeving zullen er S-golven optreden die praktisch gesproken de grond in elke horizontale richting zal versnellen. De daardoor optredende belastingen worden door de stijfste elementen opgevangen, want slappe (flexibele) elementen geven mee.

Behalve een verschil in stijfheid zijn er verschillende samenhangende problemen aan deze winkel:

1) De nieuwe stalen balk is meestal op de zijmuren opgelegd, waardoor er scharnierverbindingen ontstaan[136]. Lange balken zijn niet altijd met een kleine toog gemaakt en zakken iets door.
2) Wanneer er ook stalen kolommen zijn gemaakt kan het zijn dat de fundering onder die kolommen niet is verbreed. Er is daar dan een extra hoge grondbelasting.
3) Er is geen horizontale sterkte capaciteit van de glasgevel. De ruit moet aan beide zijden ruimte in de sponning hebben (>10mm bij PGA*g* 0,1) om bij een beving parallel aan de gevel niet te breken. De optie bestaat wel om ‘Sterke glaspanelen’ toe te passen[137].
4) De houten vloer boven de winkel is flexibel en neemt dus geen horizontale krachten over.
5) Houten kapconstructie is eveneens flexibel, met ook nog dakkapel-gaten. De nummers 3 en 4 samen resulteren in het heen en weer zwiepen van de etagevloer en kap bij een beving.
6) De achterkant van het gebouw is stijver zijn vanwege binnenmuren en beweegt niet mee. Het gebouw zal daarom bij een beving een torsiebeweging willen maken.
7) Bij een beving parallel aan de gevel en het zijwaarts uitbuigen van de gevel ontstaan diagonale muurscheuren in de zijmuren, vanaf de kolomvoet naar het midden van de bovenetage.
8) Bij aansluitende belendende gebouwen zullen deze de belasting van de winkelbalk krijgen.

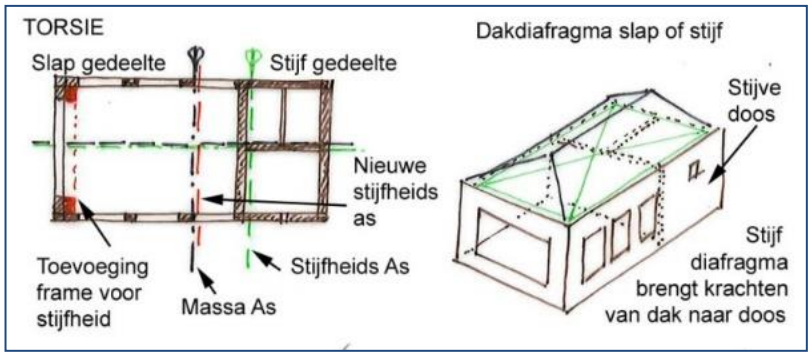
[136] Als er met de verbouwing al reeds stalen kolommen zijn toegepast (niet zichtbaar) kunnen deze van onderen scharnieren of doorbuigen, hetgeen hetzelfde effect heeft. Ook wanneer de stalen kolom aan beide zijden is ingeklemd en alleen op verticale belasting is berekend kan deze te veel doorbuigen; hetzelfde effect.
[137] De informatie over sterke ruiten wordt in het hoofdstuk 6 Muren Versterken gegeven.

Deze problemen kunnen verholpen worden door een momentsterk, stijf en sterk portaal in de gevel te maken, en een verstijving van het diafragma van de etage vloer. De krachten vanwege een aardbeving zijn op dit type gebouw groter dan bij symmetrische gebouwen vanwege de optredende torsie. De torsie treedt op vanwege de excentriciteit in stijfheid vanwege de open ruimte aan de voorzijde en de binnenmuren in de achterkant van het gebouw.

Een modern alternatief is om de winkelruit van een sterk glaspaneel te maken die de dwarskrachten op het gebouw kan opvangen. De fundering moet dan ook worden aangepast m die krachten naar die fundering en de grond te kunnen afvoeren.

2.9. De drie as-richtingen van het gebouw moeten symmetrisch zijn.

Dit betreft de twee horizontaal loodrecht op elkaar staande richtingen en de verticaal. Bij winkels met een grote etalageruit, of bij woningen die een open woongedeelte hebben (veel ramen), maar een meer gesloten achtergedeelte met binnenmuren (keuken, gang, toilet, berging) hebben hetzelfde effect van ongelijke symmetrie-sterkte. Bij zo een ontwerp moet een verhogingsfactor in de berekening worden toegepast, waardoor de sterkte en stijfheid van het open gedeelte toeneemt. Als dat niet het geval is zullen de onderliggende metselwerk muren barsten.

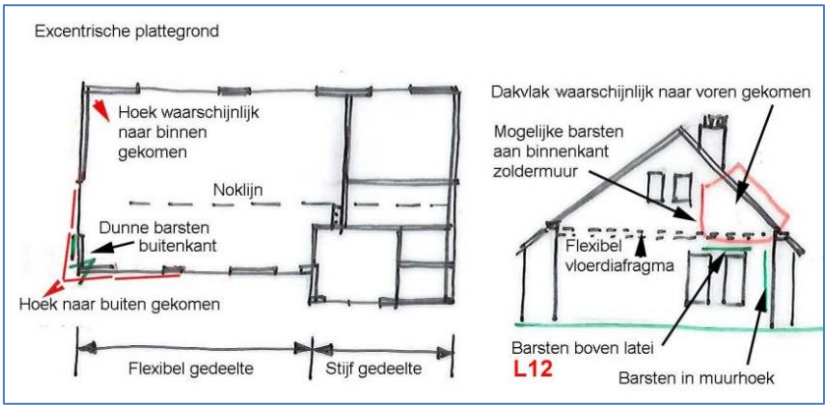


Figuur 2-36. De stijfheids-as en massa-as.
Wanneer deze niet in één richting samenvallen zal draaiing ontstaan. De draaiing veroorzaakt een torsiekracht in het gebouw. Een gedeelte van die krachten kan worden opgenomen door een stijve plafond-vloerconstructie die sterk aan alle muren verankerd is.

Bij bestaande woningen kunnen vijf verschillende soorten maatregelen genomen worden:

A. Het inbrengen van een sterk portaal dat de stijfheid van het flexibele gedeelte verhoogt.
B. Het plaatsen van een ‘sterk constructief glaspaneel (ruit)’ dat de belasting in het vlak van de gevel opvangt. Hierdoor worden de raampenanten feitelijk verbreed met het glaspaneel.
C. Het aanbrengen van een sterk-stijf plafond/vloer diafragma dat de krachten overbrengt naar het stijve gedeelte van de achterkant van het gebouw. Hierbij moeten de vloeren rondom sterk aan alle muren verbonden zijn.
D. Flexibilisering van de wandconstructie (bij houtbouw) en ruimte rondom de ruiten, waardoor er beweging van de muren mogelijk is, zonder schade te veroorzaken.
E. Het dilateren van het slappe gedeelte van het stijve gedeelte. Dit is bijvoorbeeld de situatie bij een kop-romp boerderij. Het stijve gemetselde kopgedeelte moet onafhankelijk zijn van het meer flexibele schuurgedeelte.

Bij een gebouwvorm die in stijfheid een excentrisch plan heeft, kan boven de openingen een verdraaiing van de muur plaatsvinden. Bij een stijve (inwendige) betonlatei kan/zal het metselwerk boven de latei scheuren. Het onderstaande voorbeeld is een woning met een grote open woonruimte en een houten etagevloer dat geen stijf diafragma vormt. In de achterzijde van het gebouw is een entree, waar verschillende dwarsmuren zitten en minder ramen. Daar is geen beschadiging zichtbaar.



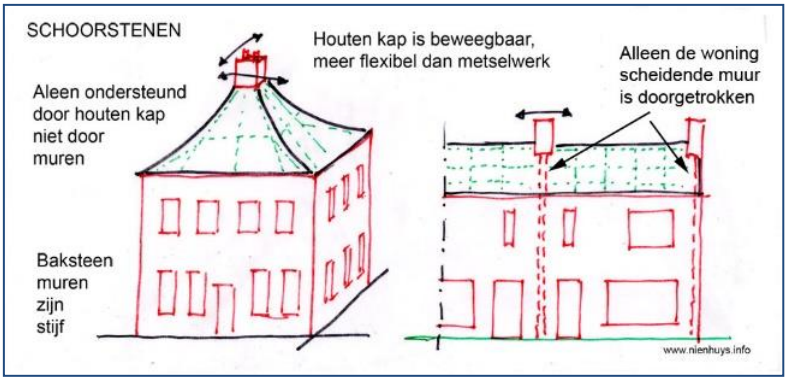
Figuren 2-37 Scheuren vanwege torsie.
<u>Rechts</u>. Detail van de latei boven het rechte raam, het tweede raam rechts naast de lantaarnpaal. Dit is een nieuwe woning met een harde cementvoeg.

Plattegrond met torsie.
De hoek van het gebouw is bij de beving naar buitens gekomen. De torsie ontstaat bij een aardbeving dwars op de noklijn. Dit is mogelijk door een flexibele verdieping vloer en eveneens het flexibel houten dakbeschot.

Ofschoon de woning op het eerste gezicht er redelijk compact uitziet, resulteert het verschil in het aantal en grootte van de ramen rondom het gebouw in verschillende stijfheden in de gevels. Hierdoor ontstond de torsie. Bij het beoordelen van een gebouw moeten dan ook alle gevels rondom geëvalueerd worden, waarbij grote verschillen tussen gevels verder onderzoek vereist. Wanneer de aardschok hoofdzakelijk in de links-rechts richting had plaatsgevonden (bij een grote afstand tot het epicentrum), dan was er wellicht geen schade geweest.

2.10. De sterkte en stijfheid tussen constructies mogen elkaar niet storen

De ‘capaciteitsmode’ betreft het verschil in stijfheid tussen onderdelen in hetzelfde vlak. Vooral het grote verschil tussen de stijfheid van metselwerk en houten constructies zoals bestaat tussen schoorstenen en houten daken is een probleem in de woningbouw. In industriële en agrarische bouw bestaat regelmatig het verschil tussen stalen spanten en invulmetselwerk.

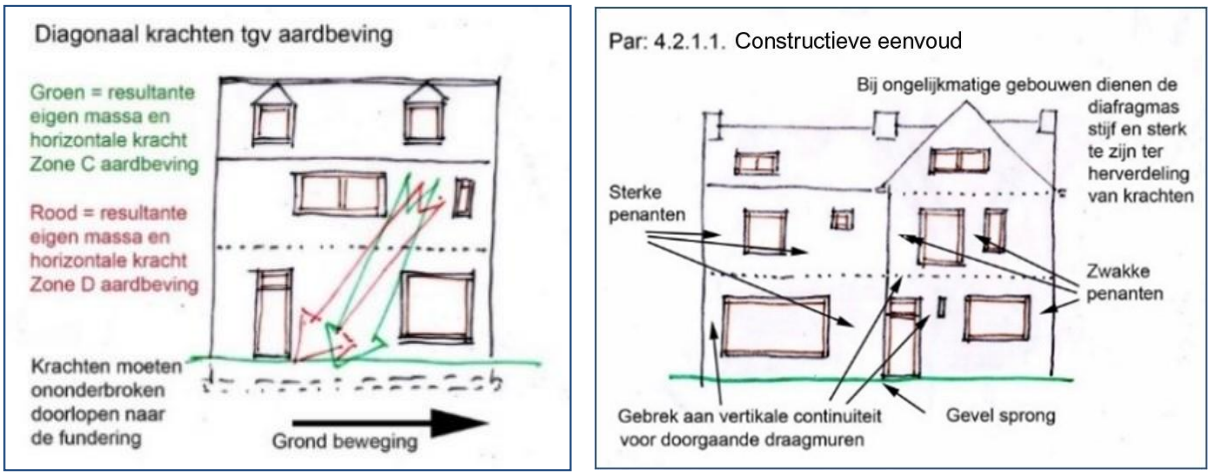


Figuur 2-38. Brosse schoorsteen en flexibele kap.
De schoorsteen loopt door de kap naar buiten en heeft extra massa in de top. Bij de extra belasting zal de flexibele bewegen en het schoorsteenkanaal eronder zal daarom barsten.

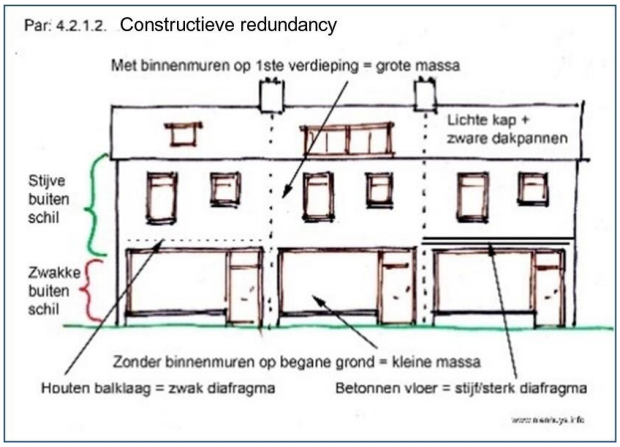
Figuren 2-39. Stalen spanten en golfplaten. Tussen de stalen kolommen is aan de onderkant een plint van stijf metselwerk dat met de kolommen meebeweegt en daarom barst. Ook bij een flinke en dynamische windbelasting zal dit scheuren.

2.11. Directe belastinglijnen van en naar de fundering

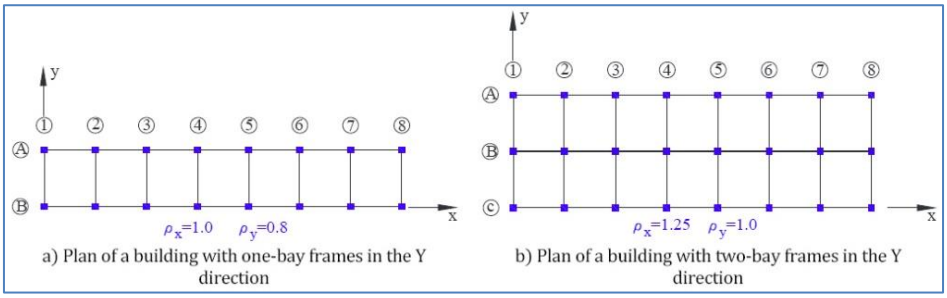
De aardbevingskrachten komen bij een gebouw uit de fundering en de reactiekrachten van de gebouwmassa moeten weer naar de fundering worden teruggevoerd. Directe belastinglijnen in het vlak van de dragende constructies, van en naar de fundering, zijn te verkiezen boven onderbroken druklijnen. Deze druklijnen kunnen enigszins schuin lopen, maar moeten wel aan alle kanten van een gebouw aanwezig zijn.



Figuren 2-40. Druklijnen moeten doorlopen.
<u>Boven</u>. In het vlak van de gevel moeten directe lijnen naar de fundering lopen. Bij een onregelmatige gevel of bij een aanbouw is dit moeilijk te realiseren.
<u>Rechtsboven</u>. Gebrek aan constructieve eenvoud of symmetrie.
<u>Rechts.</u> Gebouw met een zich herhalende structuur, maar waarin constructief onvoldoende redundancy bestaat. Doorzonwoningen hebben vaak een enkelvoudige constructieve opzet.



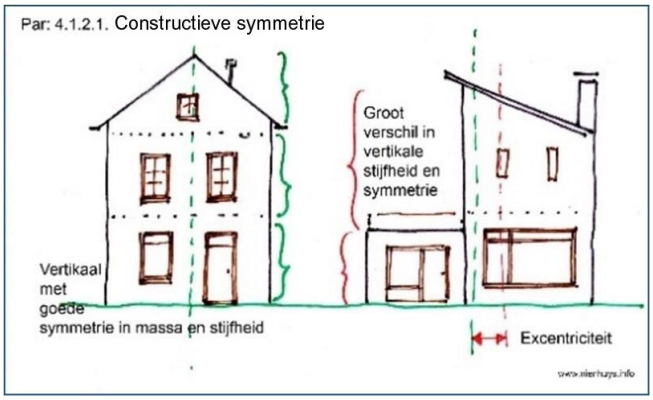
Redundancy is de repetitieve (zich herhalende) organisatie van constructieve gebouwonderdelen die elk voor zich voldoende sterk zijn. Wanneer één onderdeel kapotgaat, blijven de andere onderdelen overeind. Bij gebrek aan sterkte (zoals bij doorzonwoningen) zal bij het instorten van één onderdeel de hele serie instorten. Bij de meeste rijtjeswoningen bestaat de seismische sterkte slechts in de diepte van de woning. In die richting is de woningen voldoende sterk is tegen belasting in het vlak van die muur. In de lange gevel is wel herhaling van structuur, maar iedere woning is onvoldoende sterk. Bij het falen van één gevel kan dan de hele rij omvallen.



Figuur 2-41. Herhalende sterke structuur. Wanneer een onderdeel of sectie bezwijkt zal een gebouw met een zich herhalende sterkte structuur minder gauw instorten dan wanneer het slechts een enkele sterkte structuur heeft.

2.12. Constructieve symmetrie

Om verschillende sterktes en stijfheden (en daardoor spanningen bij belasting) in een gebouw te voorkomen, is het wenselijk dat het gebouw een constructieve symmetrie heeft. Het berekenen van de sterkte van een symmetrisch gebouw is eenvoudiger dan van een complexe constructie. De symmetrie houdt zowel de vormgeving als de stijfheid en de massa in.



Figuur 2-42. Ongelijke symmetrie. Dit linkse gebouw heeft aan de buitenkant wel een symmetrische of regelmatige opbouw. Het rechtse gebouw is verticaal niet in stijfheid symmetrisch. Ook van binnen kan het niet-symmetrisch zijn vanwege verschillende vloerdiafragma's, massaverschillen en interne aanpassingen zoals een open keuken, waardoor de dwarssterkte anders wordt.

Woningen van vóór 1930 met hoge ramen in de gevels en houten vloeren hebben erg weinig sterkte in het vlak van de gevels. Dit geldt ook voor veel stadswoningen.

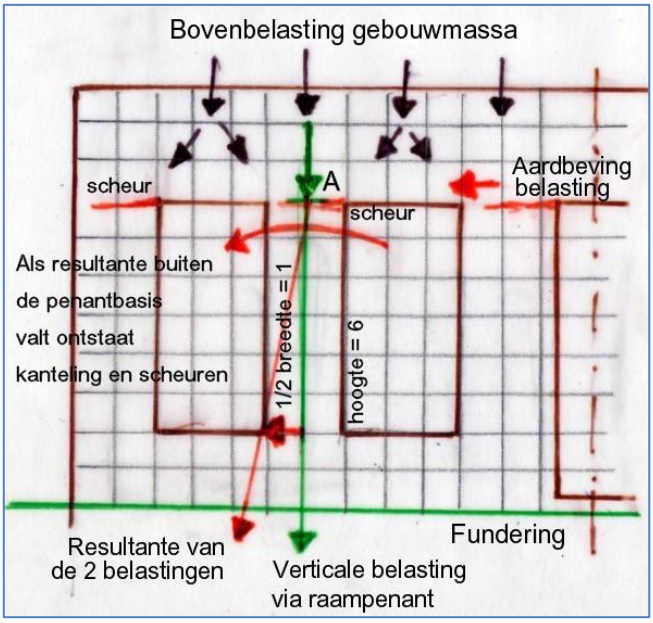
Figuren 2-43. Ongelijke stijfheden in twee richtingen. De in de diepte volledig gesloten zijmuren en zijn in die richting voldoende sterk. Echter, in het vlak van de gevel zijn deze woningen met de zeer smalle penanten erg zwak als er geen dragende binnen- en dwarsmuren of portalen zijn.

Op basis van de gevels van ongewapende bakstenen gebouwen, vooral de oudere van vóór 1980, kan op een snelle manier beoordeeld worden of een gebouw een structureel risico vormt tijdens een aardbeving. Hier wordt uitgegaan van de werkelijk maximale bevingen die PGAg < 0,2 zijn.

Het meten van de verhoudingen van de muurpenanten geeft een goede indicatie. De tweede indicatie is de verhouding tussen totale muurbreedte in de gevel en de gezamenlijke openingen. Deze verhoudingen kunnen eenvoudig met een RVS bepaald worden.

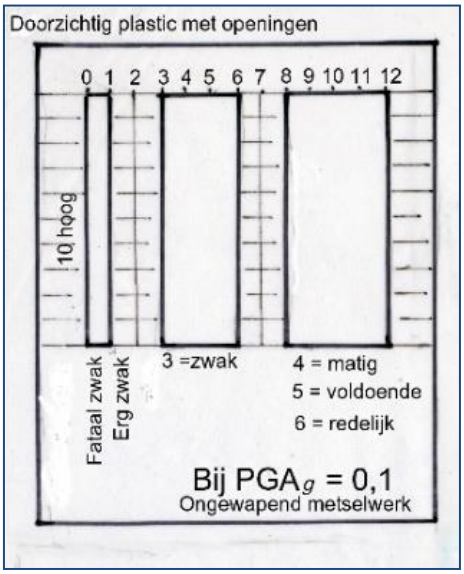
Figuur 2-44. Verhoudingen van openingen. De verhoudingen van de ongewapende metselwerk penanten zijn in deze gevel 1/2,6 = 0,38 (raam, zwak) en 1/3,7 = 0,27 (voordeur erg zwak).
De verhouding van de gezamenlijke openingen tot de hele gevel is (A+B+C+D+E)/Totaal = 4/10 = 0,25 en ook onvoldoende.
Deze parameters zijn indicatief voor de sterkte in het vlak van de gevel van dit gebouw.

Bij een kleine boven-belasting van smalle raampenaten, kan bij een grote horizontale belasting (aardbeving) de resultante van deze twee belastingen buiten de penantvoet vallen. Bij een korte heen-en-weer schok zullen er dan horizontale scheuren ontstaan in de boven- en onderkant van dat penant. Bij kalkmortel metselwerk zal er alleen in de bovenkant een scheur komen wanneer het penant een beetje kan vervormen. Dit kantelen hangt dus af van de slankheid van het penant én de zwaarte van de aardbeving.



Figuur 2-45. Boven-belasting is bepalend.
Bij een boven-belasting van 100 en een PGAg van 0,2 door het centrum van het penant is de horizontale belasting ongeveer 20. De resultante hoek is dan 1/5 en valt dan buiten de basis van het hier afgebeelde penant omdat deze een breedte heeft van 0,5 x 2/6.
Bij een aardbeving van PGAg 0,1 valt de resultante net binnen de basis van het penant.
Bij een lichte kapconstructie is de boven-belasting laag en zal er dus eerder een scheur optreden.

Door deze verhoudingen van de bakstenen penanten te schatten kan een beoordeling gegeven worden van de sterktekwaliteit van de gevels, waarbij de laagste score bepalend is of het gebouw verder moet worden onderzocht op de kwaliteit van de baksteen, onregelmatigheden, stijfheden, vloerdiafragma, aanwezigheid van scheuren en verzakkingen en interne dwarsmuren.



Figuur 2-46. Gebruik van sjabloon bij RVS.
Door een transparant (plastic) plaatje te maken met vierkantje, rasterlijnen en openingen, kan tijdens een RVS-opname van een afstand de b/h verhouding van een penant goed en snel ingeschat worden. Voor de hele gevel moet dan even gerekend worden.
Bij een verhouding van 3/10 wordt het penant bij een PGAg 0,1 al zwak.
Bij een verhouding van 3/10 is het penant bij PGAg 0,2 een goot risico.
RVS – Rapid Visual Screening.

Bij het beoordelen van gebouwen of deze al-dan-niet aardbevingsbestendig zijn, is een opname van de openingen in die gevels een eerste aanwijzing.[138] Gedurende een RVS-analyse, moeten alle gebouwen met ongewapende penanten die een verhouding hebben van kleiner dan 1/2 (horizontaal/verticaal) nader onderzocht worden of de interne constructie wel voldoende sterkte en stijfheid biedt tegen de aardbeving belastingen.

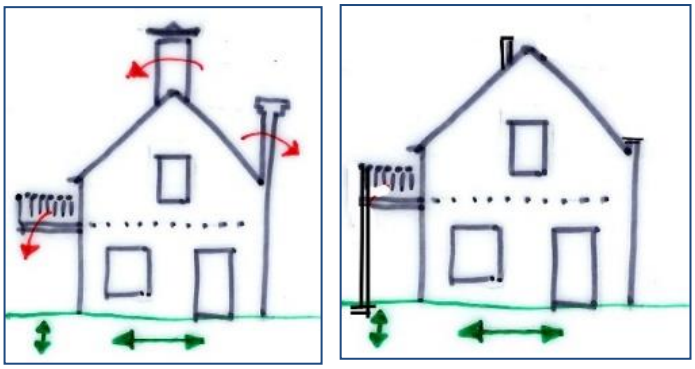
In hoofdstuk 6 worden de verschillende methoden besproken om de bovengenoemde zwakke gevels te versterken. De volgende opties komen aan bod:

a. Het inbrengen van verticale wapening in de penanten (binnen), van de fundering naar het dak. Dit kan door het aan de binnenzijde of buitenzijde in-frezen van wokkels en die verlijmen.
b. Het verminderen van de gevelbelasting door het versterken van de binnenmuurconstructies en het etage vloerdiafragma. Het vloerdiafragma brengt dan de krachten over naar de fundering. De fundering van die binnenmuren moet daar dan wel op berekend zijn.
c. Binnenzijde raampenanten beplakken met sterke glasvezel of carbonfiber wapening.
d. Het binnen aanbrengen van een houtskelet of metalen frame (portaal) constructies. Deze moeten vanuit de fundering verbonden zijn met het etage-vloerdiafragma.
e. Het maken van een sterk deurportaal (grijze gedeelte op foto vorige pagina) of rondom de ramen. Ook dit portaal moet tussen naar de fundering doorlopen.
f. Het plaatsen van ‘sterke constructieve glaspanelen’ in niet-samendrukbare kozijnen, waardoor deze ruiten de gevelbelasting in het vlak van de muur kunnen opnemen en samenwerken met de penanten. De muren moeten verbonden zijn met het diafragma.

2.13. Risicovolle gebouwonderdelen identificeren

Uitstekende gebouwonderdelen die slechts aan de onderkant of maar in één richting aan het gebouw zijn verbonden en een grote massa hebben, kunnen bij aardschokken losraken en vallen. Deze onderdelen zijn hoofdzakelijk berekend op de verticale krachten en niet op de extra horizontale krachten van de aardbeving. De schoorstenen van volgende afbeeldingen zijn hier een voorbeeld van.

[138] De RVS geschiedt vanaf de straat om de privacy van de woningeigenaar niet onnodig te belasten. Als het gebouw van de straat niet goed zichtbaar is zal toestemming aan de eigenaar gevraagd moeten worden om het terrein te betreden. Meestal is het meten van een of twee zijden van het gebouw voldoende om een indruk te krijgen. Bij woningen die aan de tuinzijde een grote open gevel of serre hebben, kan aan die kant een zwakke gevel zijn ontstaan, want draagbalken worden meestal niet als momentsterke portalen uitgevoerd.



Figuren 2-47. Drie risicovolle elementen.
De topgevel, schoorsteen en het balkon zijn de meest voorkomende gebouwonderdelen met massa die valrisico's kunnen opleveren:
a) Schoorstenen op topgevels en flexibele houten daken.
b) Topgevels die slechts aan de basis vastzitten (door loodslabbe onderbroken).
c) Eenzijdig ingeklemde balkons, luifels of afdaken, vooral van beton (zwaar).
Deze elementen kunnen worden vastgezet of ondersteund, verwijderd of vervangen door lichtgewicht constructies.

Van de schoorstenen zijn in de provincie de meeste voorbeelden te vinden, terwijl met de lichte aardbevingen vanaf PGAg 0,05 deze allemaal een risico vormen van afbreken en omvallen. Of deze schoorstenen al dan niet vervangen kunnen worden of vastgezet hangt af van verschillende factoren, zoals de monumentenstatus. Voor energiezuinige woningen zijn baksteen schoorstenen onnodig.

Figuren 2-48. Risicovolle schoorstenen.
V.l.n.r. Jaren-30 hoog, verweerde topgevel met schoorsteel op een 'stoel', hoge schoorsteen midden op het dak (is al een keer gerepareerd), hoge schoorsteen op topgevel naast een openbaar terrein van een school. Er zijn verschillende methodes om de schoorstenen veiliger te maken zoals vastzetten of vervangen door een lichtgewicht mode. De aanpassing van schoorstenen of geveltoppen wordt apart behandeld in Hoofdstuk 3.

Ongewapend metselwerk console-constructies van topgevels staan op een zeer smalle basis, terwijl baksteen voegwerk geen trekkrachten kan opnemen. Vanwege de hoge positie en grote massa krijgen ze extra aardbevingsbelasting (veel meer dan de windbelasting). Hetzelfde geldt voor bakstenen dakkapellen en uitbouwen wanneer deze niet naar beneden doorlopen opdraagmuren.

Figuren 2-49. Vrijstaande façade topgevels.
Links. Voorgevel van boerderij met niet ondersteunde hoeken.
Rechts. Hoge topgevel van winkelgebouw met niet ondersteunde hoeken.
Beiden zijn risicovol.

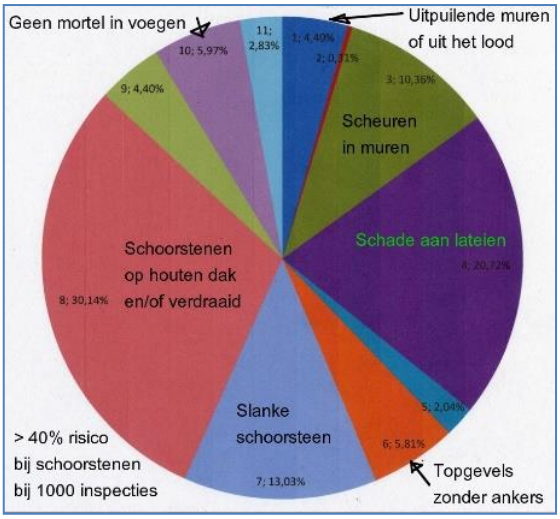
Figuren 2-50. Zware gemetselde dak-uitbouwen.
<u>Links.</u> De ondersteuning aan de binnenzijde is belangrijk om het risico te beoordelen.
<u>Rechts.</u> Hoge laaddeur. Het metselwerk moet aan de binnenkant doorlopen tot aan de fundering.

De seismische code bepaalt dat het gebouw niet mag instorten, maar dat geldt niet voor gebouw onderdelen zoals schoorstenen, topgevels en balkons. Dit zijn hoog-risico elementen en moeten apart aandacht krijgen zodat ze geen schade veroorzaken.

Wanneer een gebouwonderdeel op het trottoir kan vallen, zullen er meteen veiligheidsmaatregelen genomen moeten worden zoals terreinafzetting om te voorkomen dat er ongelukken gebeuren.

Figuren 2-51. Risicovolle geveltoppen.
<u>Links.</u> Topgevel met zwaar verweerde aansluiting. Deze laatste was onderwerp van onmiddellijke veiligheidsmaatregelen zoals het afzetten van het trottoir beneden.
<u>Rechtsboven</u>. Woning met erker op een steun en een uitgebouwde schoorsteen.

<u>Rechts</u>. Hoekraam met bovenliggende lage borstwering. In dit geval zou er op de hoek een kolom moete zitten, de witte strook kan ook alleen een gordijn zijn.



Figuur 2-52. Pie chart van risicovolle situaties.
*Van de ruim 1000 RVS die na de 16 augustus 2012 Huizinge aardbeving werden uitgevoerd, werd maar liefst **40 % aan risicovolle schoorstenen** geïdentificeerd. Dit, omdat de zware massa's hoog op flexibele houten daken staan en sommigen al reeds hoekverdraaiing vertoonden. De tweede oorzaak waren de scheuren rond de raamhoeken 20%.*
Het diagram geeft de resultaten van dat eerste onderzoek weer.

Ofschoon de risicovolle gebouwonderdelen een beeld gaven van waar de acute veiligheidsproblemen lagen, werd de problematiek van de grote ramen en smalle raampenanten bij de gebouwbeoordeling in 2013 eerst niet meegenomen (geen onderdelen), terwijl dat wel goed van buiten zichtbaar was, vooral bij doorzon- en rijtjeswoningen[139]. Deze openingen zijn een goede graadmeter voor de stabiliteit van de woningen en het risico bij zwaardere aardbevingen van PGAg > 0,1. Sinds 2014 werden de penanten wel beoordeeld, dat voorkwam dat er twee keer een beoordeling moest plaatsvinden.

2.14. Typologieën voor de risicovolle elementen is noodzakelijk

Om bestaande gebouwen te controleren op aardbevingsbestendigheid, kunnen aan de buitenzijde al de meeste van de risicovolle elementen worden geconstateerd. Aanwezigheid van de genoemde elementen kunnen bij meerdere bevingen een verhoogd schaderisico opleveren. In Groningen is er per gebeurtenis slechts een enkele schok. Bij een geconstateerde schade moet dan actie ondernomen worden, voordat de volgende beving plaatsvindt om zwaardere schade of een ongeval te voorkomen.

Op basis van de FEMA 310 standaard[140] is voor Groningen het RVS-systeem geadopteerd. Op deze basis werden in 2014 minstens 15.000 gebouwen geëvalueerd[141]. Deze evaluaties gaven aan dat heel veel woningen en andere gebouwen verschillende soorten risico's liepen. Met het woningtypologie principe kan er ook een typologieschema gemaakt worden van de hoog-risico elementen. Wanneer dat schema vrij beschikbaar komt, kunnen woningeigenaren dit bestuderen en hun situatie doorgeven voor nadere controle (met foto).
Dat heeft verschillende voordelen:

a. Het werkt dat als bewustwording naar de woningeigenaars.
b. Het is het vele malen goedkoper dan dure schade-inspecteurs die door de straten lopen en rapporten moeten gaan opmaken.
c. De woningeigenaar kan zonder privacy problemen op het eigen terrein rond de hele woning lopen en foto's maken.
d. De meest risicovolle situaties kunnen direct worden aangepakt, terwijl de minder grote risico's wijkmatig kunnen worden behandeld.

Wanneer de werkelijke Mmax lager wordt dan PGAg 0,05, dan komt deze aardbevingsbelasting voor het hele (vrijstaande) gebouw lager uit die van stormbelasting. De aardbevingstrillingen hebben echter een ander effect op de constructie dan de wind.

In dat geval hoeft er theoretisch (volgens de NPR) niets meer aan de bestaande woningbouw te gebeuren, want er gaan dan geen huizen 'net niet instorten'. [142] Er bestaat volgens deze stelling dan geen formeel veiligheidsrisico voor de bewoners. Dat wil echter niet zeggen dat de risicovolle elementen geen probleem kunnen opleveren. Het zekerstellen van die risicovolle elementen blijft dan een noodzakelijke maatregel.

---

[139] Deze eerste tekortkoming in de organisatie was waarschijnlijk ontstaan omdat het probleem van de grote raamopeningen niet door de FEMA aangegeven was, omdat het een typisch Nederlands probleem is.
[140] The American Society of Civil Engineers (ASCE) contracted with the Federal Emergency Management Agency (FEMA) to convert FEMA 178, *NEHRP Handbook for the Seismic Evaluation of Existing Buildings* into a pre-standard. The development of the pre-standard was the first step in turning FEMA 178 into an American National Standards Institute (ANSI) approved national consensus standard. The document was completed in January 1998 and is published as FEMA 310, *Handbook for the Seismic Evaluation of Buildings--A Pre-standard*.
[141] Deze beoordeling begon in het epicentrum gebied van de gemeente Loppersum en daarna in de randgebieden. Het is nuttig wanneer de eigenaren van deze woningen een kopie van die RVS krijgen.
[142] Bestaande reparatie acties kunnen nog worden uitgevoerd, maar verder is niets noodzakelijk.

2.15. Versterken en dan verder klimaat-technisch verduurzamen

Waar het om draait is of men de bestaande gescheurde woningen nu wel of niet gaat herstellen, dus niet de vraag of dat seismisch versterken gesproken nog noodzakelijk is. Als men gaat repareren, herstellen, versterken en eventueel verduurzamen, dan is rekenen naar aardbevingsbelastingen niet zo zinvol, maar wel het begrip over het ontstaan van de scheuren en de verergering van de scheuren vanwege verleden en toekomstige kleinere schokken[143].

De burger wil helemaal geen scheuren meer. Bij seismisch versterken en het krijgen van de hoge Mmax beving zal het gebouw zoveel scheuren krijgen dat het in het ergste geval *total loss* is.

De Groningse (Nederlandse) woningbouw is slechts op stormwind ontworpen en niet op aardbevingen. Met de 1991 verhoging van de windbelasting norm is dan de meeste nieuwbouw voldoende sterk, met uitzondering van doorzon-, rijtjeswoningen en andere gebouwen met smalle raampenanten zoals de stadswoningen.

Figuur 2-53. Grafiek windbelastingen.
De provincie Groningen valt in windgebied 2, terwijl de kust een verhoogde norm heeft. De maximale rekenwaarde voor windbelastingen zijn vastgelegd in de Bouwnorm en in de NEN-EN 1991-1-4(NB).
Vanwege de klimaatverandering neemt de storm sterkte toe. Het niet ondenkbaar dat voor de toekomst de windbelasting normen verder worden aangescherpt.

Voor het milieu en het beperkt houden van de verbouwingskosten is het verstandig om tegelijkertijd verduurzamingsmaatregelen te nemen zoals het optimaal isoleren van de gebouwschil. Die verduurzaming zal met het oog op het milieu toch op de duur moeten. Wanneer een gebouw in de steigers moet voor de ene maatregel is het economischer om tegelijkertijd ook de andere maatregel mee te nemen. Het realiseren van de maatregelen apart kost tenminste 50% extra, behalve de overlast.

De mate van versterking hangt af van de typologie. Deze woningen zijn per typologie allen gebouwd volgens dezelfde technieken en hebben dezelfde gebreken. Er kan eerst een onderscheid gemaakt worden in de volgende ABC en EFG-categorieën.

Woningen in de provincie* per categorie met risico van enige of verdere schade bij PGAg <0,1

Tabel	#	Type	Totaal	%	Constructies	Structurele aspecten
Parti-culier	A	Vrijstaand	28.238	28	Weinig risicovol	Draagmuren in twee richtingen en meestal niet meer dan 2,5 etages.
	B	2 onder 1 kap	12.545	13	Matig risicovol	Symmetrisch met grote ramen in voor- en achtergevels; aanbouw.
	C	Rijtje + doorzon	32.757	32	Middel risicovol	Dwarsstabiliteit blok gering door grote voor- en achtergevel ramen
	D	Als C + leem + Appartement	2.312	2	Hoog risicovol	Stapelbouw met erg weinig dwarsstabiliteit door volledige raampuien. Appartementen gebouwen met meer dan 4 etages en stapelbouw.
Woning-corpo-ratie	E	Vrijstaand	1.656	2	Weinig risicovol	Draagmuren in twee richtingen en meestal niet meer dan 2,5 etages.
	F	2 onder 1 kap	3.094	3	Matig risicovol	Symmetrisch met grote ramen in voor- en achtergevels; aanbouw.
	G	Rijtje + doorzon	16.100	16	Middel risicovol	Dwarsstabiliteit blok gering door grote voor- en achtergevel ramen
	H	Als G + leem + Appartement	4.140	4	Hoog risicovol	Stapelbouw met erg weinig dwarsstabiliteit door volledige raampuien. Appartementen gebouwen met meer dan 4 etages en stapelbouw.
		Totaal	100.842	100		

* De stad Groningen valt grotendeels buiten deze telling van 2013; andere soorten gebouwen zoals utiliteit en agrarische gebouwen ook. In de hele provincie Groningen inclusief de stad Groningen zijn > 250.000 woningen. In het hele aardbevingsgebied zijn er ongeveer 350.000 gebouwen.

[143] Dit is een van de basis reden waarom dit boek geschreven is.

De woningentelling van de tabel laat twee zaken zien:

- Het aantal woningen in de provincie Groningen, geteld vanaf het epicentrum, en in de zone daarbuiten. In het epicentrum gebied staan hoofdzakelijk ABC en EFG-type woningen.
- Een eerste onderverdeling in de het risiconiveau van de gebouwen typologie voor de maximale PGAg 0,1 waarde (type 16 augustus 2012, Huizinge en 8 januari 2018 Zeerijp). Steeds verder buiten het epicentrum is de maximale aardbeving steeds zwakker.

Uit de tabel blijkt dat de rijtjes- en doorzonwoningen de grootste groep is, en ook de zwakste. Deze analyse is gebaseerd op depositie en grootte van de ramen, gecombineerd met het aantal dragende binnenmuren. Het hebben van een goede combinatie tussen versterken en verduurzamen is hier het meest relevant. Dezelfde technische maatregels kunnen dienen voor 2-onder-1-kap woningen die veelal dezelfde constructie eigenschappen hebben (bij dezelfde bouwperioden).

De categorie vrijstaande woningen kent een grote variëteit en ook veel oude woningen. Wanneer voor deze woningen al een RVS bestaat kan dat als eerste stap gebruikt worden om een verduurzamingsplan te maken. Wanneer deze nog niet bestaat, dan kan dit met een RVS-analyse en eventueel een aanvullend individueel EVS (*Extended Visual Screening*) onderzoek worden uitgebreid.

De vrijstaande woningen hebben over het algemeen niet meer dan twee volle etages en hebben de ramen en deuren verspreid in de vier gevels van het gebouw. Binnen het gebouw bevinden zich meestal dragende muren in twee richtingen, waardoor ze redelijk bestand zijn tegen aardbevingen. Soms zijn deze binnenmuren slechts halfsteens, waardoor ze zonder versterking niet meetellen als seismische *shear walls*. Binnen deze categorie zijn echter grote verschillen aanwezig, gerelateerd aan hun ouderdom en muurdikte.

Figuren 2-54. Soorten lage woningen.
Links. Oude woningen van vóór 1920 hebben meestal steens buitenmuren. Woningen van ná 1930 hebben spouwmuren.
Rechtsboven. Sommige oude woningen hebben veel aanbouwen naar achteren en vallen in de categorie onregelmatige gebouwen.
Rechts. Op basis van de noemer 'vrijstaand' kan niet onmiddellijk het risiconiveau van een woning worden bepaald. Dit wordt beter bepaald door de verhoudingen tussen de openingen en de gesloten gevels.

De twee-onder-een-kap woningen zijn als categorie apart vermeld omdat deze twee woningen tezamen moeten worden aangepakt, vooral als er een geïsoleerde buitenschil op moet. De woningen zijn altijd symmetrisch gebouwd en hebben daarom gespiegelde oplossingen. In veel gevallen zijn veel van dezelfde 2-onder-1-kap in dezelfde straat gebouwd en/of zijn ze verhuurd als eigendom van woningcorporaties (25%). Deze woningen zijn meestal van ná 1960, maar velen hebben een verhoogd risiconiveau omdat ze grote ramen in de voor- en achtergevel hebben.

Figuren 2-55. Twee-onder-een-kap-woningen.
Verschillende modellen uit verschillende periodes met weinig of helemaal geen penanten of dwarsmuren

De rijtjes- en doorzonwoningen vormen vaak een groter huizenblok van vier tot zeven wooneenheden. Deze moeten constructief en economisch ook als één gebouw tegelijkertijd worden aangepakt. De meest efficiënte manier van werken is wanneer de bewoners tijdelijk ergens anders worden ondergebracht. Bij een grootschalige aanpak moet er dan een groot aantal wisselwoningen zijn.

Deze woningen zijn gelijksoortig, en hebben weinig dwarsmuren/penanten in de gevel, waardoor de stabiliteit in de lengterichting van het gehele gebouw is erg beperkt is, en ze daardoor een hoger schaderisico hebben. Omdat ze vaak in stapelbouw gerealiseerd zijn, liggen de muren los op de muren waardoor de muur-vloer verbindingen niet moment-vast zijn.

Figuren 2-56. Verschillende soorten rijtjeswoningen.
Vanaf de buitenkant kan slechts een schatting gemaakt worden van de afmetingen van de dragende penanten, terwijl sommige gebouwen herkenbaar zijn als stapelbouw (rechtsboven). Plattegronden helpen bij het bepalen van de aanwezige dwarsmuren. Als er intern open keukens zijn gemaakt, verhoogt dit de problematiek.
Woningcorporaties hebben meestal de bouwtekeningen.

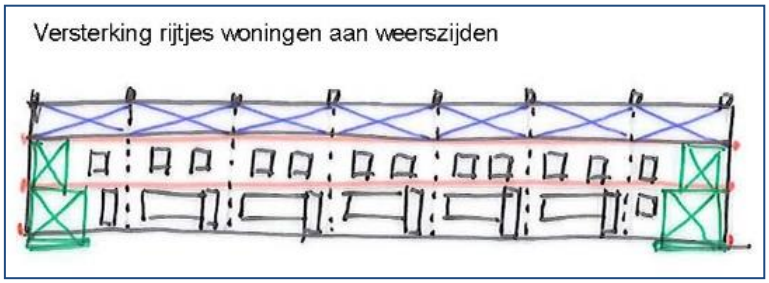
Appartementen en flatgebouwen zijn vaak één enkel gebouw in stapelbouw, dat in haar geheel moet worden behandeld wanneer er seismische versterking of verduurzaming nodig zou zijn. Voor enkele flatgebouwen in Delfzijl werd uitgerekend dat ze flinke aardschokken konden doorstaan vanwege de flexibiliteit in de verbindingen tussen de stijve elementen, maar er werd toch besloten om tot sloop over te gaan, omdat het renoveren én verduurzamen geen economische aangelegenheid zou zijn.

Figuren 2-57. Flatgebouwen en portiekwoningen.
De flatgebouwen behoren vanwege de Nederlandse stapelbouw methode tot de constructies die het meest kwetsbaar zijn tijdens aardbevingen.

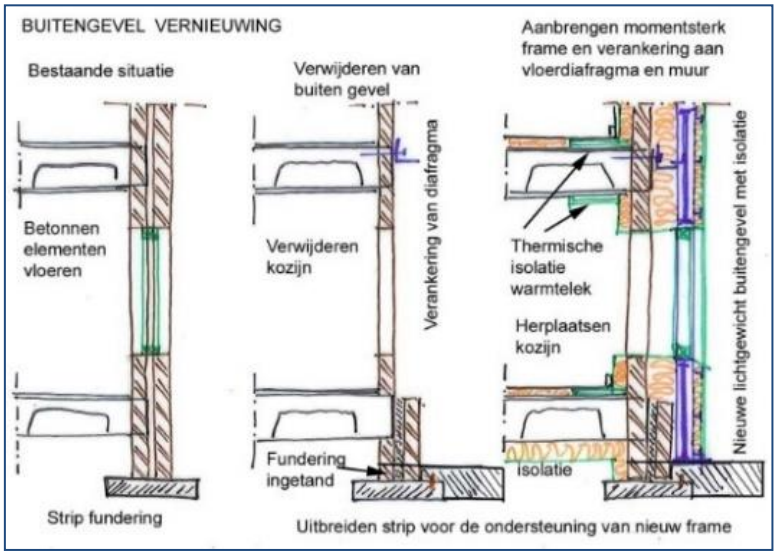
In de tabel is een onderscheid gemaakt tussen particulier (75%) en woningcorporatie (25%) bezit. Bij een woningcorporatie kan per huizenblok of zelfs per straat gewerkt worden. Bij woningen die aan de binnenzijde geïsoleerd en eventueel versterkt gaan worden zal ruimteverlies optreden voor deze aanpassingen, die vooral ter plaatse van keukens en badkamers grote interieurconsequenties zullen hebben[144].

Van veel rijtjes- en doorzonwoningen zal bij het aanbrengen van 15 cm dikke versterking en thermische isolatie aan de binnenzijde bij kleine slaapkamers een te korte ruimte overblijven om een 200 cm lang bed te plaatsen. Trappenhuizen en toiletten die tegen de buitenmuur aanzitten kunnen niet smaller gemaakt worden, tenzij de hele woningindeling wordt veranderd (heel kostbaar).

Dit zijn naast technische en kostenargumenten de redenen waarom het buitenzijdig versterken en isoleren bijna altijd de voorkeur heeft boven binnenzijdig, speciaal voor seriebouw en rijtjeswoningen. De bewoners kunnen in het gebouw blijven wonen wanneer het buitenspouwblad wordt verwijderd en er een sterke, lichtgewicht en geïsoleerde buitenkant wordt teruggeplaatst.



Figuur 2-58. Buitenste hoeken versterken.
Dit kan gebeuren door aan weerszijden van het bouwblok een woning extra versterkt wordt en de etage vloeren als doorgaand diafragma kunnen worden versterkt. De buitenste woningen kunnen een raam in de kopgevel krijgen.

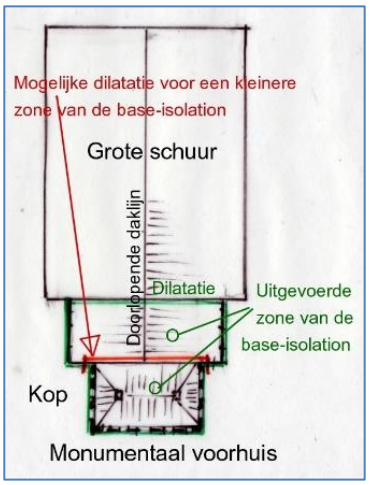


Figuur 2-59. Verwijderen van de oude gevel.
Na het verwijderen van het buitenspouwblad kan een nieuwe en sterkere gevel geplaatst, inclusief geïsoleerde kozijnen of puien met triple glas[13]. Hierdoor blijft de massa van de constructie gelijk en hoeft er minder aan de fundering veranderd te worden.

Voor cultureel erfgoed gebouwen of monumenten waar niets aan de buitenkant gewijzigd mag worden is binnenzijdig isoleren en versterken vaak de enige oplossing. Dunne isolatieopties met hoogwaardig isolatiemateriaal zijn wel mogelijk, maar kosten meestal meer dan de dikkere en goedkopere of bio-based isolatiematerialen[145].

Wanneer binnenzijdig versterken of isoleren ook niet kan/mag, blijft nog de oplossing van *Base-isolation* over, waarbij het hele gebouw opgetild moet worden om er een dubbele fundering onder aan te brengen. Dit is meestal een erg dure operatie in vergelijking tot de waarde van het gebouw.

[144] Meer informatie over de verschillen tussen binnenzijdig en buitenzijdig isoleren zie www.nienhuys.info
[145] Meer informatie over triple glas en DUNNE binnenzijdige isolatie zie 1ste pag. website www.nienhuys.info



Figuren 2-60. Historische boerderij op Base-isolation*. Hier werd het kop-huis en het achterliggende woonhuis losgekoppeld van de achterliggende grote schuur. Het voorgedeelte werd toen opgetild en in 2021 op* Base-isolation *gezet.*

Figuur 2-61.Twee funderingen onder gebouw. Het kan goedkoper geweest zijn wanneer alleen het kop-huis op Base-isolation *gezet werd In dat geval zou er een dilatatie langs het kop-huis gemaakt moeten worden. Een probleem daarbij kan zijn dat er dan een hoogteverschil ontstaan tussen het kop-huis en de rest van het woongedeelte.*
De dubbele fundering onder het hele gebouw maakt het een hele dure operatie.

Het aanbrengen van de dilatatie tussen het monumentale kopgebouw en de rest kan op twee manieren (aangegeven in rood en groen). De besluitvorming over de plaats en de omvang van de *Base-isolation* hangt af van de complexiteit om de dilatatie te maken, een onderliggende kelder, de totale kosten en de financieringsbron van deze zeer uitgebreide operatie.

2.16. Kleine onregelmatige woning

Wanneer een woning meerdere seismische onregelmatigheden heeft zullen de kosten van het aanpassen oplopen. Dat zijn vaak originele ontwerpen en kunnen niet als ‘eigen gebrek’ worden aangemerkt. Voorbeelden zijn:

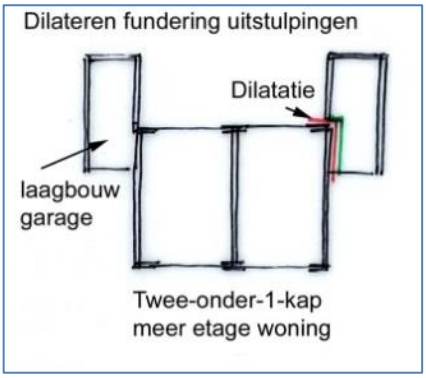
- Een niet recht doorlopende gevel met inhammen zoals portieken.
- Een niet recht doorlopende gevel waarbij een gedeelte is teruggezet of smaller is. Hierdoor vormt de fundering of het etagevloer diafragma geen recht doorlopende continuïteit.
- Een niet naar alle buitenmuren doorlopende vloerconstructie om een diafragma te vormen.
- Extra aanbouwen waarbij geen dilataties zijn gemaakt in de fundering of in de opbouw.
- Een gedeelte van de woning dat een ander aantal etages heeft.
- Een gedeelte van de woning dat onder-keldert is en de rest van de woning niet. Hierdoor is de draagkracht van de fundering vaak verschillend en zal het gedeelte naast de kelder makkelijker verzakken dan het onder-kelderde gedeelte.

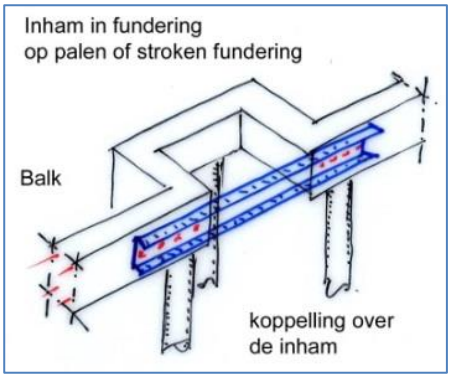
Het maken van bouwkundige aanpassingen zal in deze situaties relatief veel kosten in verhouding met de waarde van het gebouw. Bij een RVS of EVS moeten deze aspecten worden meegenomen. Het bestuderen van de bouw-/verbouw-tekeningen, of een putje graven naast de fundering zijn dan opties.

Figuren 2-62. Sprongen in de fundering.
<u>Links.</u> Verschillende uitbouwen en aanbouwen veroorzaken sprongen in de fundering en extra scheuren. <u>Midden en rechts</u>. De zoldervloer loopt niet door tot aan de buitenmuren, waardoor er geen sterke verbinding is.

Bij kleine gebouwen die onregelmatigheden in de fundering hebben in de vorm van inhammen of uitbouwen, kunnen deze uitbouwen van het hoofdgebouw gedilateerd worden en de inhammen doorgetrokken of funderingsbalken doorverbonden.

Figuren 2-63. Dilateren of doorverbinden.
<u>Links:</u> Bij lage aanbouwen aan een hoger gebouwblok moet de dilatatie doorlopen tot in de fundering.
<u>Rechts:</u> Kleine inhammen moeten bij voorkeur overbrugd worden tot een geheel.

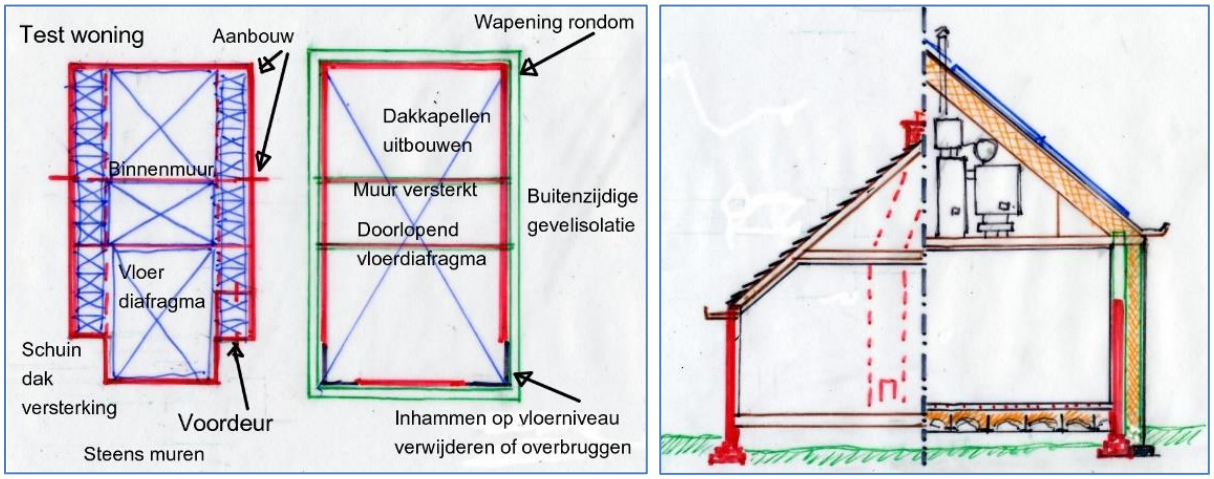




Om een kelder onder een woning onder het hele gebouw door te trekken levert meer ruimte op, maar zit niet in de begroting van seismisch versterken. Bovendien zal het waterdicht maken van een kelder problematisch zijn met een hoge grondwaterstand.

Bij de middelste woning van *Figuren 2-62,* zal het doortrekken van de etagevloer een stukje plat dak opleveren. Als alternatief kan de hele kapconstructie opgetild worden waardoor er meer ruimte op zolder ontstaat. Dit creëert meerwaarde van de woning. Zonder een optil-maatregel van het dak is het seismisch versterken van deze kleine woningen nauwelijks rendabel.

Figuren 2-64. Weinig woonruimte in lage zolder.
<u>Links</u>. De etagevloer kan wel verstijfd worden, maar de verbinding van het diafragma aan de buitenmuren is vaak een complexe constructie.
Rechts.



Figuren 2-65. Seismisch versterken bij laag dak.
<u>Links.</u> Naast het vloer diafragma moet er een verbinding gemaakt worden tussen het diafragma en de muren.
<u>Rechts</u>. Door het dak op te tillen en de hoek erbij te trekken, wordt het vloerdiafragma direct met de (versterkte opbouw) buitenmuren verbonden. De extra ruimte is een compensatie voor de binnenzijdige muurisolatie en creëert ruimte voor technische installaties zoals een warmtepomp.

Door meer ruimte op de begane grond te maken (en de hoek erbij te trekken) en een goed bruikbare eerste etage te creëren kan het hele gebouw seismisch versterkt worden. Een lichte constructie methode zoals HSB (Hout Skelet Bouw) voorkomt dat de fundering verbreedt moet worden. Duurzame gebouwen hebben vaan ook nieuwe technische installaties nodig voor de energievoorziening, waarvoor in een kleine woning vaak onvoldoende plaats is.

Voor de bovengenoemde maatregelen inclusief het technisch en energiematig verduurzamen moeten voor de woningeigenaar toegankelijke financieringsmethoden beschikbaar zijn.

2.17. Gebouwinspectie met snel onderzoek risicovolle gebouwen, RVS

Na de registratie van het gebouw met locatie en oriëntatie kunnen de relevante opties op een standaardformulier worden omcirkeld. In de onderstaande lijst zijn de eerste criteria het belangrijkste, vooral de nummers 4, 5 en 6. Wanneer er één of meerdere observaties “Hoog risico” of “Erg hoog risico” hebben zal snel een aanvullend onderzoek gedaan moeten worden UVS, en eventueel de situatie rondom het gebouw veiliggesteld[146].

Figuur 2-66. Bungalow in de steigers. Deze woning/bungalow werd eerst van binnen en van buiten gestut en met een hekwerk afgeschermd en later alsnog gesloopt. Bij verdere analyse bleken er namelijk aanzienlijke bouwfouten te zijn gemaakt die met de aardbeving aan het licht kwamen. Zie Hoofdstuk 11.

[146] In principe is dit al gedurende 2013 - 2015 bij de meeste gebouwen in de provincie Groningen gebeurt (15.000), echter bij de eerste analyses werd onvoldoende de criteria 4, 5 en 6 beoordeeld.

Risiconiveau voor een maximale aardbeving PGAg ≈ 0,1.

#	Omschrijving	Erg hoog risico	Hoog risico	Middel risico	Matig risico	Weinig risico
1	Bouwjaar	Vóór 1850	1850-1920	1920-1940	1945-1970	Na 1980
2	Metselwerk	Leem stenen	Kalk voegen		spouwmuur	spouwmuur
3	Kwaliteit voegwerk		Grote scheuren	Kleine scheuren	Verweerd	
4	Raampenanten b/h Zwakste gevel(s)	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
5	Andere gevel	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
6	Muurdoorsnede T/b Zwakste gevel(s)	0,5	1,0	2,0	2,5	3
7	Andere gevel	0,5	1,0	2,0	2,5	3
8	Ongewapende gemetselde baksteen schoorstenen	Fabriek schoorsteen > 10 m hoog	Jaren-30 woning > 3 m vrije lengte	Op houten kap met buiten spouwmuur	> een meter hoog op stoel en houten kap	< een meter op houten kap.
9	Ongewapende kuif of gemetselde topgevel, ornamenten, borstwering	Steens > een meter boven de basis	Steens < een m boven basis	Zonder verankering aan de kap	Met verankering aan de kap	Kleine schoorsteen, lage massa
10	Gemetselde dak uitbouw op houten dakconstructie			In houten kap zonder onder-muren	In houten kap met onder-muren	Stijve-sterke kapconstructie
11	Gebouw overhang of uitbouw aan gevel	Slechte draagconstructie	< 120 > 90 cm uitbouw	< 90 > 60 cm uitbouw	< 60 > 30 cm uitbouw	< 30 cm uitbouw
12	Fundering	Op staal met gedeeltelijk kelder	Op staal	Doorgaande plaat	Doorgaande balk	Doorgaande balk en plaatfundering
13	Verzakkingen	> 10 cm	< 10 cm	5 cm	3 cm	1 cm
14	Betonnen balkon	Betonrot	Dik > 100 cm	Dik 90 cm	Dun < 90 cm	Dun < 60 cm
15	Gebouw onregelmatig Lengte/breedte	< 6	6	5	4	3
16	Anders, op basis van observatie gebouw					

De vraag rijst wat je moet doen bij 100.000 of 50.000 woningen die respectievelijk lichte of zwaardere schade hebben. Bij een verhoogd risico op aardbevingsschade zijn de opties:

a) Alleen de muren herstellen of scheuren gaat wegwerken[147].

b) Matig versterken zodat er niet direct geen nieuwe scheuren komen, of in ieder geval geen grotere scheuren, d.w.z. licht versterken.[148]

c) In beide voorgaande situaties al-dan-niet klimatologisch verduurzamen, inclusief goede thermische isolatie. Het betreft hier woningen die een erg klein risico op nieuwe scheuren hebben of verergering van scheuren[149].

d) Levensloopbestendig maken met aanpassing van de trappen, het sanitair een eventueel een aanbouw voor een gelijkvloerse slaapkamer. [150]

[147] Scheuren wegwerken is alleen cosmetisch herstel, waar bij de volgende beving opnieuw een scheur zichtbaar wordt. Het is verstandiger om meteen enige versterking aan te brengen omdat dit dan minder kost dan bij een volgende aardbeving terugkomen en opnieuw de scheuren dicht te smeren.

[148] In veel gevallen zullen de eerste scheuren ontstaan omdat er al spanningen in het metselwerk zaten. Met de scheurvorming zijn die spanningen weg en is de kans dat de scheuren groter worden gering.

[149] De thermische isolatie en de afwerking daarvan moet zo worden aangebracht dat er enige flexibiliteit in zit zodat bij kleine bewegingen en niet opnieuw scheuren ontstaan.

[150] Trappenhuizen zijn vaak erg smal met korte kwarten en lage doorgangen. 50% van de ongevallen in de woning gebeuren vanwege slechte trappenhuizen. Om woningen voor senioren beter levensloopbestendig te maken zal vaak een slaapkamer op de begane grond nodig zijn. Alles zonder drempels.

De woningbouw in de provincie is voor het overgrote gedeelte wel opgewassen tegen bevingen van omstreeks PGAg 0,05 maar het bakstenen metselwerk is ook bros. Dat laatste betekent dat het wel makkelijk kan scheuren. Bestaande scheuren kunnen worden groter. Bovendien kunnen veelvuldige P-golven ook nog steeds verdere verzakkingen veroorzaken bij zwakke funderingen. Een partiële verzakking van 2 mm geeft een scheur van 2 mm.

Figuur 2-67. Zijmuren zonder goede funderingen.
Oude landbouw- en veeteeltschuren hebben veel verzakkingen vanwege erg smalle funderingen en gebrek aan onderhoud. Normaliter moeten die muren elke 50 jaar of elke generatie flink onderhouden worden, maar vanwege de veranderde landbouw en veeteelt en de krimpregio, gebeurde dat niet meer in de provincie Groningen. Het resultaat is zwakke muren die een extra belasting van lichte aardbevingen niet kunnen doorstaan.

Een beetje versterken kost ongeveer hetzelfde als een beetje méér versterken. Berekeningen hebben aangetoond dat voor de nieuwbouw het kostenverschil < 5% bedraagt. In beide gevallen moet de aannemer zich mobiliseren, materialen en personeel inzetten, slopen en versterkingen aanbrengen en afwerken, decoreren en opleveren. Of een wapeningsstaafje Ø 8mm of Ø 10mm is, of dat het 2 m of 3 m lang is, heeft heel weinig invloed op de totaalkosten van een verbouwactiviteit, of het nu gaat over versterken of verduurzamen.

Figuren 2-68. Aardbevingsschade tektonisch.
Deze gebouwen in Italië en Nieuw-Zeeland zijn net-niet-ingestort. Als de aardbeving de maximum PGA had, dan waren ze ***volgens de geldende code aardbevingsbestendig.***
Seismisch versterkte woningen zouden met de maximale PGA van de NPR dus wel flink scheuren.

De bouwverordening stelt dat als er aanpassingen aan de draagstructuur van het gebouw worden gedaan (i.v.m. versterken) dan is er vaak een bouwvergunning nodig. Dat heeft de consequentie dat het gerepareerde gebouw soms ook aan de laatste bouwverordening moet voldoen wat betreft thermische isolatie (soms afhankelijk van de betreffende BoWoT0 ambtenaar). Bij een ingrijpende verbouwing moet sinds 2021 de duurzaamheid van het gebouw meegenomen worden. Dat houdt de gewenste thermische isolatie in en opwekking energie met b.v. PV-panelen of warmtepomp.

Als je gaat versterken en daarmee technisch-constructief verduurzamen, neem dan ook het thermisch isoleren mee, of, als je gaat isoleren als verduurzaming, neem dan ook het voorkomen van scheuren en licht versterken mee.

Figuren 2-69. Gemetselde funderingen 'op staal'.
Deze funderingen kunnen makkelijk scheuren met extra trillingen (verkeer, aardbeving). Over het algemeen hebben bijna alle in baksteen gebouwde oudere woningen zettingsscheuren.

Het is van de NPR niet erg duidelijk welke rekenmethoden je moet versterken en helemaal niet aangegeven tot welk niveau je moet versterken wanneer je geen scheuren wilt. Wanneer je het gebouw volgens een van de vier methoden van de NPR[151] wilt uitrekenen van eenvoudig (statisch) tot heel duur (NLTHA, complex) komen alle berekeningen bij laagbouw op bijna dezelfde waarden uit.
Door één woning van bepaald woningtype door te rekenen kan worden aangenomen dat voor alle woningen van datzelfde type ook ongeveer dezelfde versterkingen nodig zijn.

Figuur 2-70. Wegwerken van scheuren.
In de beginfase (2013-2014) van het aardbevingsschade herstelprogramma werden er veel woningen "gerepareerd" door de scheuren weg te werken, echter met geen enkele relevantie tot de geprojecteerde Mmax.

In deze woning werd dwars over de bestaande scheuren een korte wapeningsstaaf ingebracht, maar bij eenzelfde beving zal de muur tussen die versterkingen opnieuw gaan scheuren.

Scheuren wegwerken zonder constructief te verduurzamen is half werk voor ¾ van de kosten. Scheuren alleen dichtsmeren heeft geleid tot het herhaaldelijk terugkomen van de aannemers om eenzelfde scheur opnieuw te behandelen en de decoratie te herstellen (80.000 keer tot 2021). Wanneer er geen seismisch versterken meer nodig is, dan blijft alleen klimatologisch verduurzamen over om gedurende de volgende 10 jaar te realiseren. De hoofddraagconstructie van het gebouw moet na versterking nog tenminste 100-200 jaar mee kunnen gaan. Nederland kent veel goede woningen uit 1800 die steeds opnieuw kunnen ingericht.

[151] Er zijn in hoofdzaak drie methoden: 1. *Lateral force method of analysis* (§ 4.3.3.2), oftewel de Push-over analyse. 2. *Modal response spectrum analysis* (§ 4.3.3.3) , en 3. *Non-linear methods* (§ 4.3.3.4). De *Lateral force method of analysis* (LFM) de meest eenvoudige methode. De methode 3 is weliswaar de meest gedetailleerde maar voor een klein gebouwtje kan dat al Euro 10.000 aan berekeningskosten opleveren. Bij een globale berekening volgens elke typologie is maar een berekening nodig voor ál diezelfde gebouwen. Dat kan echter niet in het commerciële belang zijn van de ingenieursbureaus die graag rekenen.

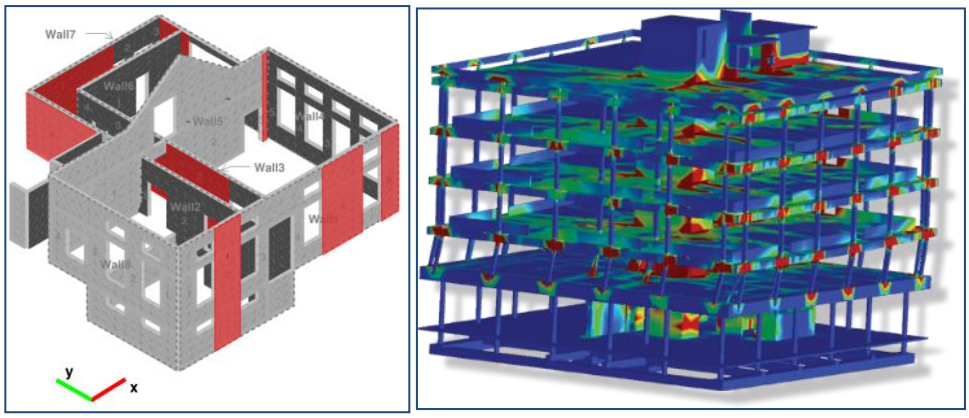
De opties en resultaten worden in het volgende schema weergegeven.

#	Scheuren	Aktie	Resultaten muurherstel	Versterking diafragma of fundering	Isoleren gebouw
A	Erkende aardbevingsschade type A en B	Vergoeding van de kosten door NAM, CVW, NCG of Overheid	1. Schade cosmetisch weggewerkt en komt vaak terug bij soortgelijke bevingen.	Niet	Niet
			2. Muur plaatselijk "versterkt" en decoratie hersteld, maar nieuwe scheur komt soms op een andere plaats terug.	Niet	Niet, maar kon wel makkelijk voor de betreffende muren.
			3. Seismisch versterkt. Tot aan 2020 overmatig zwaar versterkt, daarom geen nieuwe schade.	Wel. Kostbaar en bij demonstratie woningen.	Wel, vooral bij de test of demonstratie woningen.
B	Twijfelgevallen, voorkeur van de twijfel prevaleert		4. Seismisch versterkt door het hele gebouw op *Base-isolation* te plaatsen. Hoofdzakelijk monumenten. Geen nieuwe schade.	Wel. Bij monumenten en erg kostbaar.	Niet.
C	Niet erkende aardbevingsschade	Arbitrage?	Al dan niet stutten. Geen herstel, wel veel arbitrage kosten voor de NAM.	Niet	Niet
D	Na arbitrage erkende schade	Kosten NAM	Seismisch versterkt volgens de geldende NPR. Na 2020 uitgerekend is licht werk	Mogelijk niet	Alleen muren
E	Geen aardbevingsschade		Tegemoetkoming Euro 4.000 voor PV-panelen en tegemoetkoming waardedaling.	Niet	Eigen initiatief
F	Nieuwbouw Ook na slopen.		Geen aardbevingsschade, goed geïsoleerd In 2021 volgens de BENG normgeving. Eigen energieopwekking .indien mogelijk.	Wordt volgens NPR goed uitgevoerd	Volgens bouwnorm

Het komt erop neer dat alleen bij de hele dure seismische versterkingen ook thermische isolatie van de buitenschil meegenomen moet worden. Als dat niet gebeurt moet voor milieu-verduurzamen de aannemer opnieuw het gebouw in om te isoleren en eventueel andere maatregelen te nemen.

2.18. Voorbeeldwoningen per typologie

Voor het gedetailleerd doorrekenen van een individuele woning worden alle constructieve componenten op de verschillende belastingen geanalyseerd, almede de verbindingen met de aansluitende componenten. Dit kan op verschillende manieren gebeuren van een eenvoudige laterale druk methode (*push-over*), tot een methode waarbij het hele gebouw met een laser digitaal wordt gescand en in kleine elementen wordt opgedeeld (NLTHA). Elke verbinding tussen al die duizenden elementen wordt ingevoerd, waarna de berekeningen kunnen worden uitgevoerd. De tweede methode kost weken de tijd en daardoor veel geld.

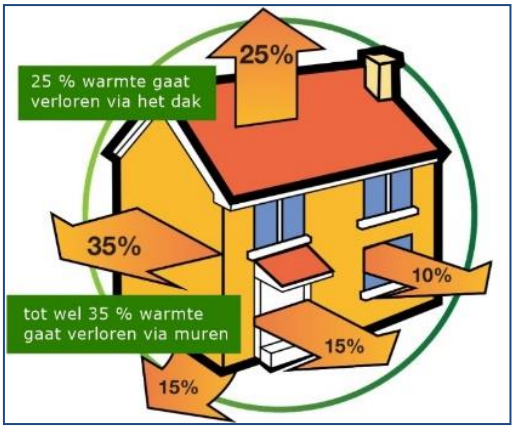


Figuren 2-71. Verschillende rekenmethoden. Links. Statische methode. De muren worden berekend. Rechts de NLTHA-methode laat zien waar de grootste krachten gaan optreden en de constructie bezwijkt. Bron: Arup.

Wanneer per gebouwtypologie de meest effectieve bouwkundige maatregelen worden aangegeven, dan kunnen alle gebouwen van datzelfde woningtype ongeveer op dezelfde manier worden versterkt. Per woningtype kan een serie tekeningen en begrotingen worden gemaakt en beschikbaar gesteld, per woning de meest effectieve maatregelen genomen kunnen worden.

Deze details moeten geïntegreerd zijn met de noodzakelijke thermische maatregelen om aan de BENG milieueisen te voldoen.[152]

De bestaande analyse van de woningbouw in Nederland geeft aan dat voor oudere en niet geïsoleerde woningen er behoorlijke warmteverliezen bestaan via de muren (35%). Het zijn ook de muren in de buitenschil die versterking behoeven om schaderisico te verminderen.



Figuur 2-72. Warmteverliezen bij een woning.
Bij 2-onder-1-kap woningen zal het % warmteverlies door de ramen groter zijn en bij rijtjeswoningen nog groter. Met het thermisch isoleren van het dak door stijve sandwichpanelen en in combinatie met multiplex platen worden er twee belangrijke verduurzamingsmaatregelen tegelijkertijd genomen [153].

2.19. Lange termijnplanning

Bij het maken van een planning voor de realisatie van een gebouw verduurzaming komen de volgende punten naar voren:

A. Heeft het gebouw **aardbevingsschade**; is daar een rapport van gemaakt en is er een schadevergoeding voor gegeven of toegezegd?
B. Is de gebouwschade mede de oorzaak van een gedeeltelijk verzakkende of een ongelijke **fundering**? Zie hoofdstuk 4 voor oorzaken en opties voor herstel.
C. Zijn de funderingsproblemen op te heffen tegen beperkte kosten? Als dat zo is, neemt dan de **constructieve duurzaamheid** van het gebouw en de gebouwwaarde overeenkomstig toe? Als dat niet zo is, dan is het beter isoleren voor de tijd dat het gebouw nog behouden blijft waarschijnlijk de beste optie, waarna vervanging door nieuwbouw.[154]
D. Is de gebouwschade te wijten aan een **gebouwonregelmatigheid** zoals kleine en grote gebouwdelen, inspringende delen, uitstekende delen of aanbouwen. Als dat zo is dan zullen er in eerste instantie één of meer dilataties gemaakt moeten worden, vervolgens kan elk gebouwdeel apart bekeken worden voor welke schade of herstelmogelijkheden er zijn.
E. Wat voor **energie-label** heeft het gebouw (bij benadering) en wat zijn ongeveer de investeringen die nodig zijn om het gebouw **goed te isoleren en energiezuiniger** te maken en zelf duurzame energie op te wekken. Hoeveel subsidie kan daarvoor gekregen worden?
F. Hoelang wil men nog in de woning **blijven wonen**? Kan het levensloopbestendig gemaakt?
G. Heeft u, voordat u gaat verbouwen, wel een vrijblijvend **energie-advies** aangevraagd om de mening van andere deskundigen op dat terrein te horen?[155]
H. Met de verminderde aardbevingssterkte en risico, ligt het in de verwachting dat de scheuren erger worden of dat alleen muurherstel zonder versterking mogelijk zal zijn?[156]

[152] Eind 2020 blijkt dat TNO doende is om per typologie (60) versterkingsadviezen te maken.
[153] *Bron: https://pico.geodan.nl/pico/data/isolatie.html Percentages zijn gemiddelden.*
[154] Bij een sterke verhoging van de energiekosten zijn bij een slecht geïsoleerde woning isolatiemaatregelen binnen een periode van 10 tot 15 jaar meestal terugverdiend.
[155] Uit de praktijk blijkt dat veel woningeigenaren eerst gaan isoleren of andere maatregelen nemen en dan pas advies gaan aanvragen. Daar blijkt soms uit dat het niet de meest nuttige maatregelen waren.
[156] Misschien gaat een ander kabinet toch besluiten om langzaam de rest van het gas toch te gebruiken, waardoor er over een lange periode zich steeds kleine bevinkjes kunnen voordoen?

I. Zijn er plannen om het gebouw meer **levensloopbestendig** te maken. Dat wil zeggen aanpassing van smalle trappen, keuken of sanitair, of gelijkvloers maken met een slaapkamer en badkamer, zodat de woning ook voor oudere senioren bewoond kan blijven. Budget?
J. Wanneer de fundering niet aangepast hoeft te worden, moeten dan de **buitenmuren hersteld** worden, vooral de lateien boven de ramen? Zie hoofdstukken 6 en 7 voor de details.
K. Wanneer de buitenmuren niet goed versterkt kunnen worden, in hoeverre kunnen dan de **binnenmuren versterkt** worden, en hebben die dan fundering verbreding nodig wanneer er een **sterk-stijf diafragma** wordt aangelegd op de etage? Zie hoofdstuk 8 voor details.
L. Als de buitenmuren met de grote ramen niet goed versterkt kunnen worden bestaat er dan de optie om sterke kozijnen met **'sterke glaspanelen'** toe te passen?
M. Is het gebouw een **monument of beschermd dorpsgezicht** en is er subsidie voor aanpassing?
N. Als de binnenmuren en diens funderingen versterkt moeten worden, is het dan praktisch om gelijk de hele **begane grondvloer te vervangen** voor een goed geïsoleerde vloer met LTV?[157]
O. Is er **ruimte binnen** in de woning om 15 cm isolatie (en constructies) aan de binnenzijde van de buitenmuren toe te passen, of is alleen dunne isolatie mogelijk?
P. In hoeverre kunnen verschillende zaken over een **langere termijn uitgevoerd**, en in hoeverre kunnen (of moeten) zaken tegelijkertijd uitgevoerd worden.
Q. Kunnen bepaalde dingen **zelf** worden uitgevoerd of samen met **de buren** (bij geschakelde woningen) om de kosten te drukken.[158]
R. Welke **financieringsopties** zijn er beschikbaar, of kan de financiering in aparte fasen worden opgedeeld?
S. Kan er wel een aannemer gevonden worden die de maatregelen uitvoert. Bij grotere projecten zoals gezamenlijk maatregelen treffen zijn de aannemers meer geïnteresseerd dan bij kleine opdrachten, bovendien zijn dan de kosten meestal lager.

2.20. Beheer en uitvoeringsstructuur

Uiteraard zal direct de vraag gesteld worden of de bewoner wel de extra kosten van het thermisch verduurzamen kan financieren, ook al is er wat subsidie. Verschillende modellen denkbaar.

Figuur 2-73.Verplichting tot beter isoleren.
In Nederland gaat > 30% van de woonenergie naar ruimteverwarming. Om de CO_2-uitstoot te verminderen moeten alle slecht geïsoleerde woningen goed geïsoleerd worden. Niet alleen op basis van een korte terugverdientijd, maar op basis van de BENG norm en bovendien hernieuwbare energie gebruiken. [159]

In de provincie Groningen of regio zouden meerdere 'Bouw en Beheer Woningcorporatie' (BBW's) kunnen bestaan en/of de huidige functie van woningcorporaties uitgebreid. Deze BBW's kunnen lange termijn geld lenen van een bouwfonds dat een lage rente of renteloze lening/financiering van pensionfondsen of de overheid ontvangen.[160]

[157] LTV is Lage Temperatuur Verwarming. Vaak relevant bij een warmtepomp. Verschillende opties voor vloeren vervangen zijn aangegeven in het document vloerisolatie op www.nienhuys.info
[158] Bij verschillende gemeentes zijn hogere subsidiemogelijkheden beschikbaar bij groepsaanpak.
[159] *Bron: https://duurzaamheidsvergelijker.nl/duurzaam-wonen/nederland-isolatie-woningen-verplichten*
[160] De overheid heeft een paar honderd miljard euro verdiend aan de gasexploitatie en verkoop.

De volgende structuur is denkbaar.

A. De waarde van de woning wordt bepaald, die deze zou hebben nadat de constructieve verduurzaming of seismische versterking zou hebben plaatsgevonden.
B. Er wordt bekeken of het mogelijk is om meerdere woningen tegelijkertijd aan te pakken om de kosten te drukken. Het vormen van een soort VVE's is een optie. [161]
C. De kosten voor de constructieve verduurzaming worden opgedeeld in funderingskosten en andere kosten. Wanneer funderingen zwak zijn is het belangrijk om deze eerst te verbeteren, voordat andere verduurzamingen worden gerealiseerd.
D. De niet-gesubsidieerde meerkosten voor de milieuverduurzaming (isolatie, warmtepomp[162], balansventilatie, etc.) worden door de BBW gedragen voor zover de gebouweigenaar dit niet kan opbrengen en er geen hypotheek genomen kan worden.
E. Hetzelfde geldt voor de meerkosten van het levensloopbestendig maken.
F. De via de BBW gefinancierde verduurzaming bedraagt een percentage van A.
G. De woningeigenaar moet periodiek 50% van het verschil tussen de vroegere energiekosten en de nieuwe (lagere) energiekosten in het fonds van de BBW storten om de lening af te lossen.
H. De BBW beheert de woning zoals een woningcorporatie (alleen onderhoud buitenzijde) en blijft eigenaar van het percentuele aandeel van de extra verduurzamingskosten, die niet via de BBW of de woningeigenaar werden betaald.
I. De woning mag voor de eigenaar niet overdraagbaar zijn, anders dan aan de BBW.
J. Bij verhuizing of overlijden van de woningeigenaar vervalt de woning aan de BBW en wordt verkocht. Daarbij wordt het percentage van wat de woning waard was vóór de verbouwing aan de erven van de woningeigenaar overgemaakt of aan de hypotheekbank.
K. De BBW kan natuurlijk ook de woning zelf kopen en daarna exploiteren als huurwoning, woningwetwoning of op de vrije markt verkopen en anders.
L. De opbrengst voor de BBW wordt teruggestort in het algemene bouwfonds.
M. In een periode van 50 jaar kan het hele bouwfonds worden opgeheven en daarvoor de lening terugbetaald aan de overheid.

De BBW kan haar kapitaal uit een algemeen bouwfonds halen dat weer gefinancierd wordt door pensioenfondsen voor deze lange termijn investeringen[163].

Bij een betere en gezonde decentralisatiepolitiek in Nederland zullen de woningen in de provincie Groningen alleen in waarde toenemen.

********** Terug naar begin van dit Hoofdstuk 2**********

********** Terug naar inhoudsopgave figuren **********

[161] Veel van de rijtjeswoningen zijn al van woningcorporaties, die een lange termijnplanning moeten hebben om hun gehele bestand binnen een aantal jaren te verduurzamen.
[162] Bij groepen woningen bestaat de mogelijkheid om een gemeenschappelijk warmtenet aan te leggen.
[163] Het gezamenlijk door Nederlanders belegd kapitaal van de pensioenfondsen is meer dan 1.400 miljard Euro. Daar kan een paar miljard Euro van in de Groningse woningbouw duurzaam worden belegd en tegelijkertijd werkgelegenheid gecreëerd. Dat is dan gelijk het einde van de krimpregio.

Duurzaam Herstel en Versterking van Woningen in Groningen

Hoofdstuk 3 SCHOORSTENEN en GEVELTOPPEN

De aardbevingsproblematiek van hoge bakstenen elementen

Abstract: Schoorstenen en geveltoppen zijn vanwege hun hoge positie de **meest risicovolle elementen** aan oude gebouwen in het geval van een aardbeving. Zij zullen als eersten van het gebouw afvallen. Het onderkennen van dit probleem en het wegnemen van die risico's is het thema van dit document.

Kernwoorden o.a.: Aardbeving, dak, diafragma, flexibel, geveltop, Groningen, isoleren, lichtgewicht, PGA, schoorsteen, verankering, verduurzamen, versterken, vervangen, woningen.

Door: Sjoerd Nienhuys
Bouwkundig, seismisch ingenieur
Juli 2023

3.0. Inleiding

De Nederlandse bakstenen schoorstenen en decoratieve topgevels zijn de **twee meest kwetsbare gebouwelementen tijdens aardbevingen**. Dat komt omdat ze:

a. Een grote massa hebben, hoe zwaarder, hoe groter de bevingskrachten.
b. Van bros metselwerk zijn gemaakt, dus niet flexibel. Ook de kanalen onder de kap.
c. Boven aan het gebouw zitten dus een verhoogde horizontale beweging ondergaan.
d. Versleepte gemetselde kanalen in de kap hebben die vaak slechts aan de flexibele houten constructie zijn verbonden.
e. Alleen aan de basis op loodslabben zijn geplaatst, waardoor ze bijna los staan.
f. Een erg smalle basis hebben, waarbij hoe slechter de verhouding tussen de basis en de hoogte is, hoe groter het omvalrisico is.
g. Wanneer ze door het dak vallen, kunnen ze dwars door alle houten vloeren vallen.
h. Een basis hebben die bij topgevels vaak onderbroken wordt door raamopeningen.
i. Vaak een slechte verankering aan de achterliggende kapconstructie hebben.
j. Aan of op een flexibele houten kap zitten en waarbij dat flexibele dak extra belasting op de stijve topgevels of schoorstenen uitoefent.
k. Vaak oud en verweerd metselwerk hebben met zelfs bijna losse bakstenen.
l. Aan de straatkant staan en dan op de openbare weg kunnen vallen.
m. Als ze langs de openbare ruimte zitten, en bij een aardbeving vallen, dan zullen ze vaak **dodelijke slachtoffers veroorzaken.**[164]

Daarom is er hier als eerste thema een apart hoofdstuk aan gewijd.

Figuur 3-1. Na heen en weer schudden: Net niet ingestort. Ook niet echt seismisch bestendig.

[164] Ongeveer 50% van de dodelijke slachtoffers van de aardbeving in 2011 in Nieuw-Zeeland was door het neerstorten van topgevels in een winkelstraat.

3.1. Relatieve gebouwversterking

Een gebouw kan schade oplopen door een aardbeving. Die schade is het gevolg van de **massa** van dat gebouw, de hoogte, de flexibiliteit en de sterkte van de constructie.

a. Hoe groter de **massa** is, hoe groter de bevingskracht. Metselwerk is zwaar.
b. Hoe hoger in het gebouw hoe groter de zijwaartse beweging. Schoorstenen zitten hoog.
c. Hoe brosser de constructie hoe eerder deze breekt. Metselwerk is erg bros.
d. Hoe zwakker de verbinding, hoe eerder deze valt. Loodslabbe onderbreking aan de basis.
e. Hoe slapper de kapconstructie, hoe groter de belasting op de schoorsteen.

Op basis van deze vijf eenvoudige regels kan geconcludeerd worden dat gemetselde schoorstenen op flexibele houten daken een verhoogd aardbevingsrisico hebben. Hetzelfde geldt voor topgevels.

In Groningen was een van de eerste veiligheidsacties dan ook om deze hoge risico's te identificeren en meteen veilig te stellen, zodat er bij een herhaalde beving, en een vermeerdering of verhoging van de bevingen er geen gebouw onderdelen zouden vallen. In 2014 werden er in het epicentrumgebied van de provincie Groningen (gemeente Loppersum) ongeveer 3000 schoorstenen, topgevels, balkons en dergelijke geïdentificeerd en versterkt of vervangen of verwijderd. Dat was een seismische versterking, maar ook een relatieve versterking, omdat het gebouw relatief bestendiger is tegen de beving zonder de schoorsteen.[165]

> De schoorsteen verwijderen om de woning te beschermen kan vergeleken worden met een zeilboot die met sterke wind kan omwaaien. Het is niet mogelijk om de wind te verminderen (minder aardbevingen), maar het is wel mogelijk om het zeil kleiner te maken (minder belasting). De zeilboot wordt dan beschermd tegen omwaaien. Daarvoor hoeft de romp van de boot niet aangepast te worden.

Figuur 3-2. Monumenten zijn vaak beschermd. In 2016 wordt het versterken van 1200 schoorstenen (in Appingedam) opgeschort, omdat Monumentenzorg het vervangen van zware schoorstenen bij karakteristieke panden blokkeerde, omdat ze eerst een onderzoek wilden doen. Deze mochten niet zomaar door een identiek lichtgewicht model vervangen worden.[166] (Foto CVW).

Wanneer er een aardbeving is, is het niet altijd verstandig om tijdens een aardbeving naar buiten proberen te rennen. Een ander aspect is dat de geïnduceerde aardbevingen in Groningen zo kort zijn, dat het niet mogelijk is om binnen een seconde te realiseren wat er aan de hand is en dan ook nog naar buiten te rennen.

[165] Toen er in 2014 besloten werd dat de schoorstenen niet meetelden als versterking, gaat het niet over de seismische versterking maar over structurele versterking van het gebouw; dat is wat anders.
[166] Hier lopen twee zaken door elkaar. Het ene is dat het zware versterken van monumentale schoorstenen tegen een hele hoge Mmax niet meer nodig was, en er dus geen onmiddellijk risico meer bestond. Het andere is dat monumentenzorg onvoldoende kennis van zaken had over de mogelijkheid om de lichtgewicht schoorsteen er identiek uit te laten zien als de oude schoorsteen.

3.2. Cultureel erfgoed

In Hoofdstuk 2 Gebouwvorm, werd aangehaald dat er in het Groningse epicentrum (gemeente Loppersum) begin 2013 een straatonderzoek van meer dan 1000 woningen werd uitgevoerd[167], waaruit bleek dat bij maar liefst 40 % van de gebouwen de gemetselde schoorstenen en geveltoppen een veiligheidsrisico vormden bij de in 2012 voorkomende aardbevingen (PGAg < 0,1).

Figuur 3-3. Schoorsteen heeft grote massa.
De massa van de met een spouwmuur gemetselde schoorsteen, die minstens een meter boven de pannenlijn uitsteekt is al meer dan 1 ton.
Omdat de schoorsteen of geveltop hoog in het gebouw zit krijgt deze een extra horizontale belasting en verplaatsing gedurende een aardbeving.
Omdat de schoorsteen op een flexibele houten kap zit en het lood rondom in de lintvoeg zit, kan de aansluiting met het onderliggende gemetselde makkelijk scheuren. Wanneer de schoorsteen valt kan deze dodelijke ongelukken veroorzaken.
Schoorstenen of geveltoppen langs de openbare ruimte worden daarom extra kritisch bekeken en zo nodig verwijderd of vervangen.

De Groningse architectuur van meer dan een eeuw geleden heeft veel karakteristieke gebouwen, waarbij de hoge gemetselde schoorstenen een belangrijk onderdeel zijn van de architectuur. Ofschoon de houtkachel zijn belangrijkste functie als warmtebron heeft verloren, kan de schoorsteen nog wel gebruikt worden als ventilatiekanaal. Wanneer de schoorsteen beeldbepalend is of onderdeel van een monument zal de wens bestaan dat deze behouden blijft, of vervangen wordt door een lichtgewicht model, dat er van de straat uit precies hetzelfde uitziet.

Figuren 3-4. Verschillende modellen schoorstenen.
<u>Links</u>: Hier is de schoorsteen het hoofdbepalende deel van het gebouw.
<u>Midden:</u> Hier past de schoorsteel in het geheel van de architectuur. Meestal zijn het er twee.
<u>Rechts</u>: Bij dit historische gebouw Ekenstein zijn de schoorstenen niet beeldbepalend, noch belangrijk en geeft het architectonisch niet als ze allebei verwijderd worden.
Omdat schoorstenen meestal op een afstand van meer dan 30 m te zien zijn, kan het niet worden waargenomen of het een lichtgewicht imitatie exemplaar is, of een ton weegt.

[167] Dit is na de aardbeving in Huizinge van 16 augustus 2012 (PGAg 0,085 en Richter 3,6). Allereerst werd de ASCE 41-13, onderzoeksmethode van de ATC-20 (*Rapid Evaluation Safety Assessment Form*) geadopteerd, op basis waarvan er een *Rapid Visual Screening (RVS)* werd uitgevoerd. De eerste de resultaten staan in de grafiek van Hoofdstuk 2. Deze methode identificeerde 13 *High Risk Building Elements (HRBE)*, waarvan schoorstenen en geveltoppen het meest voorkwamen met 40%.

Omdat het verwijderen van een schoorsteen (ook binnen in het dak) veel goedkoper is dan het vervangen door een lichtgewicht model, zal per gebouw bekeken moeten worden wat de historische waarde is of wat de beeldbepalende waarde. De gemeente of de woningeigenaar kan ook een mening hebben over het behoud van het aanzicht, maar bij veel woningen is dat nauwelijks een punt.

Het restaureren of vervangen van een risicovolle maar niet architectonisch relevante schoorsteen is niet logisch. In dergelijke situaties zou de woningeigenaar met de schadeveroorzaker kunnen onderhandelen om het kostenverschil tussen vervangen door een lichtgewicht en verwijderen uit te keren, zodat die woningeigenaar met het verschil bijvoorbeeld zijn dak kan isoleren.

Bij geveltoppen zijn deze vaker onderdeel van de architectuur en komen dan vaker voor versteviging in aanmerking in plaats van slopen. Echter, zoals verderop in dit hoofdstuk wordt vermeld is het voor gewone bouw vaak verstandiger om het brosse metselwerk te vervangen voor een goede lichtgewicht versie die ook iets meer flexibel is dan de oude topgevel.

Figuren 3-5. Verschillende soorten geveltoppen.
Deze geveltoppen hebben verschillende scheuren en zijn architectonisch beeldbepalen of historisch erfgoed. Aan de achterzijde kunnen deze op verschillende manieren versterkt worden. (Foto's M. Eekhout)

Het veiligheidsrisico bestaat eruit, dat als er zich meerdere aardbevingen zouden voordoen met een PGAg ≈ 0,1 dan bestond er de mogelijkheid dat verschillende schoorstenen of geveltoppen zouden (los)breken en eventueel konden vallen.

De mogelijkheid van versterken is afhankelijk van de volgende parameters:

a. De veronderstelde zwaarte van de nog komende aardbevingen. Hoe hoger de sterkte boven de PGAg 0,1 zou uitkomen, hoe groter het risico zou zijn.
b. Massief metselwerk (of spouwmuur), is zijdelings of aan de basis gesteund door een flexibele houten kapconstructie.
c. De hoogte van het gebouw en de flexibele houten kapconstructie; hoe hoger, hoe meer risico.
d. Langs de dakpannenlijn is het metselwerk onderbroken door loodslabben die er de oorzaak van zijn dat er verticaal geen trekweerstand bestaat met de onderliggende constructie. In principe wordt metselwerk ook niet op trekbelasting berekend.
e. Hoe hoger de schoorstenen of geveltoppen boven de pannenlijn uitsteken, hoe kleiner de verhouding basis/hoogte is, waardoor de instabiliteit van de schoorsteen toeneemt. Geveltoppen hebben meestal een erg smalle basis en zijn daarom extra risicovol.
f. De mate van verwering van het metselwerk, vooral het voegwerk.

g. De locatie van de schoorsteen of geveltop. Bij schoorstenen die aan één zijde onderdeel zijn van de topgevel, zijn aan de binnenzijde vaak ondersteund door middel van een ‘stoel’. Bij bevingen kunnen deze zowel op het gebouw vallen als naar buiten. Indien deze boven een openbare ruimte zoals een trottoir staan, wordt dit als verhoogd risico aangemerkt. Geveltoppen staan per definitie aan de dakrand en in veel situaties langs het trottoir.

Versterken, vervangen of verwijderen? In de volgende bladzijden worden de opties vergeleken.

3.3. Opties voor schoorsteen vervangen

Als onderdeel van het verwijderen van het risico van schoorstenen en geveltoppen rijst de vraag of deze verwijderd of vervangen moeten worden, of op een andere manier veiliggesteld. Bij een keuze zal ook de mogelijkheid van verduurzamen van de hele woning meegenomen moeten worden. Omdat open haarden niet milieuvriendelijk zijn, is verwijderen de voorkeursoptie. Alle schoorstenen dateren uit de tijd van vóór de gas-CV ketels of warmtepompen.

Ná 2020 is er geen sprake meer van aardbevingen van groter dan PGAg 0,05 en dus is het valrisico bijna verdwenen [168]. Reparaties aan geveltoppen en schoorstenen die al erkende aardbevingsschade hebben, worden door de NCG of IMG vergoed. In feite is er dan geen directe noodzaak meer voor versterken. Nieuwe of grotere schade zal dan niet meer voorkomen, tenzij er andere bouwkundige oorzaken zijn waarom een schoorsteen of geveltop instabiel wordt[169].

Voor schoorstenen als topgevels zijn er verschillende opties:

a. Geheel verwijderen. Het verminderen van de **massa** is een van de basisregels van aardbevingsresistent bouwen. Dit is relevant wanneer de schoorsteen geen technische functie (meer) heeft en geen belangrijk onderdeel is van de gebouwarchitectuur. [170] Het voordeel is tegelijkertijd dat de dak doorbreking weg is. Minder lekkage risico.

Figuur 3-6. Jaren ’30 woning architectuur.
Links. Bij sommige typen woningen kan de schoorsteen een essentieel onderdeel zijn van de architectuur. Het verwijderen van dat element zou dan de architectonische uitstraling van het gebouw aantasten.

Schoorsteen heeft geen architectonische waarde.
Rechts. Het alleen aan het dak vastzetten mag eenvoudig zijn, maar geeft bij een slanke schoorsteen geen stabiliteit in de lengterichting van het gebouw. In deze situatie is het beter om een roestvrij stalen pijp te maken.

[168] Ofschoon de officiële seismische dreiging in 2020 nog op maximaal PGAg 0,15 wordt gesteld, is dat ongeveer 50% tot 100% hoger dan de werkelijke sterkte van de schokken, terwijl met steeds minder aardgasextractie die PGAg-waarden waarden nog verder dalen.
[169] Te denken valt bijvoorbeeld aan vorstschade die kan ontstaan bij verregaande verwering en inwatering.
[170] Hetzelfde geldt voor beschermd stadsgezicht. Voor een grote schoorsteen kan vergunning-plichtig zijn vanwege de afvoer van puin. Steigerwerk is verplicht vanwege de arbeidswet.

b. Aan de kap vastzetten met beugels, stangen en ankers (*Figuur 3-6*) en paragraaf 3.11.
Bij deze oplossingen wordt de **massa** van de schoorsteen niet verminderd, en de aardbevingskrachten overgebracht naar de flexibele houten kap. Bij een geringe beweging van die kap zal de basis van de schoorsteen of geveltop scheuren. Dit is alleen zinvol als het dak stijve diafragma's heeft (Hoofdstuk 9).

Figuur 3-7. Verbreding van metselwerk.
Boven de pannenlijn heeft de schoorsteen vaak een spouwmuur. Dan staat de schoorsteen vaak op een enkel gemetseld kanaal. Bij minimale beweging in de (flexibele) kap zal aan de basis van de schoorsteen (het dunne gedeelte) een scheur ontstaan. Deze scheur kan ook rook en CO (koolmonoxide) in de woning veroorzaken. Omdat schoorstenen voor houtkachels bij verduurzamen niet wenselijk zijn (laag rendement, CO_2 en erg veel fijnstof), kunnen ze beter helemaal verwijderd worden.

c. Vervangen door een lichtgewicht imitatie metselwerk schoorsteen. Deze maatregel is gebaseerd op het principe van vermindering van **massa**. Wanneer de schoorsteen onderdeel is van de architectuur of deze een monumentale waarde heeft, is het vervangen door een lichtgewicht exemplaar een ideale oplossing die veel wordt toegepast.

Figuur 3-8. Imitatie lichtgewicht schoorsteen.
Een kleine metselwerk schoorsteen zou ongeveer 500 kg wegen. In de getoonde optie is er slechts sprake van een geïsoleerde pijp naar het dak. Buiten op is een aluminium schoorsteen van > 100 kg, afgewerkt met steen-strips in de kleur van het andere metselwerk.
Van een korte afstand is het verschil met echt metselwerk niet te zien.

d. Vervangen door een roestvrij stalen en geïsoleerde buiten schoorsteen. Wanneer de schoorsteen haar functie moet behouden (CV) en geen architectonische waarde heeft, kan deze vervangen worden door een lichtgewicht metalen rookkanaal. In sommige situaties zal een nieuwe schoorsteen langer gemaakt moeten worden om voldoende vrij van de dak-nok te blijven voor goede rookgas afvoer.

Figuur 3-9. Geïsoleerde lichtmetalen pijpen.
Voor goede rookgasafvoer dient de schoorsteen boven de noklijn van het gebouw uit te steken, of een combinatie van afstand met de hoogte. Vergeleken met lange gemetselde schoorstenen die lager op het dak staan is de roestvrij stalen sandwich schoorsteen een goede oplossing.[171]

[171] https://www.bouwwereld.nl/bouwtechniek/herziene-nen-norm-verscherpt-regels-rondom-houtkachels/

e. Vervangen door een metalen schoorsteen omkapping. Behalve de schoorsteen van een open haard of CV inlaat/uitlaat zitten er op het dak vaak andere ventilatiepijpen voor de keuken of badkamer afblaas, riolering ventilatie of balansventilatie. Een op een schoorsteen gelijkende metalen doos kan verschillende van deze uitlaten omvatten waardoor er een rustiger dak beeld ontstaat.

Figuren 3-10. Aantal schoorstenen. Links. Dit dak-deel heeft 6 schoorsteen- en ventilatiepijpen. Rechts. Met prefab metalen schoorstenen kunnen alle pijpen samengebracht worden in een enkele doos.

f. Vervangen door warmtepomp. Met deze optie is er geen behoefte meer aan een schoorsteen. Wanneer er geen andere locatie is kan er op het dak een warmtepomp geplaatst worden in een geluid reducerende omkapping. De constructie moet zo gemaakt worden dat de ventilatie van de warmtepomp geen trillingen op de constructie overbrengt. Ook is niet elk dak geschikt voor de belasting en zal de opbouw ondersteund moeten worden.

Figuur 3-11. Ventilatie buitenunit warmtepomp.
Links. In het dak de opbouw van warmtepompen en dakraam. Foto Dutch Heat solutions.
Rechts. Buitenunit met ventilator gedeelte. Foto Decorio. Grote ventilatoren van de buienunits voor de lucht-water warmtepompen maken minder lawaai dan kleine. Kleine dak-units zijn daarom minder gunstig.

3.5. Open haard en duurzaamheid

De open haard is een verbetering van de open hittebron en kookvuur binnenshuis en door de eeuwen heen het centrum van de woning. Psychologisch gezien is het sterk ingeprent in onze denkwereld als huiselijk element, warmte en gezelligheid. Voor de gezondheid van de bewoners is een schoorsteen nodig om de rook van het brandende hout of kolen naar buiten te brengen.

Omdat woningen van vóór 1970 niet of slecht geïsoleerd waren, was een kachel of CV een middel om in de woning veel warmte te produceren, waarbij beide systemen een schoorsteen nodig hadden om de rook naar buiten te evacueren, meestal via een gemetseld rookkanaal. De HR-CV heeft echter een eigen gecombineerde in- en uitlaat (vanwege het rendement). De houtkachel is nu een onrendabele warmtebron vanwege het lage energierendement.

Figuren 3-12. Soorten hout en gaskachels.

<u>Links.</u> Middeleeuwen. <u>Boven.</u> Gietijzeren fornuis in een woonkeuken, open haard in woonkamer voor sfeer. <u>Rechts.</u> Gesloten houtkachel of allesbrander en een moderne sfeer gashaard.

Imitatie elektronische en 3D of 4D (met geluid) haarden zijn zo echt dat ze vergelijkbaar zijn met ouderwetse houtkachels en kunnen met Infrarood paneel ook schone warmte produceren in combinatie met gezelligheid. Voor elektronische open haarden zijn geen schoorstenen nodig.

Nieuwe woningen van ná 2015 zijn veel beter geïsoleerd en hebben daardoor een veel kleinere verwarmingsbron nodig, waarbij verschillende technieken mogelijk zijn, maar de open haard is gebleven als sfeerelement, ook al wordt deze nauwelijks nog gebruikt.

Het energierendement van een moderne HR-CV ligt op 107%, van een warmtepomp op 300% tot 500%, maar bij een gesloten houtkachel ligt dit misschien volgens de fabrikant op de 50% tot 60%, bij een open haard is het rendement veel lager (< 25%). Voor een goed rendement moet het brandhout moet goed droog zijn (RV<20%). Echter, een houtkachel onttrekt de nodige lucht meestal uit de woonkamer <u>die eerst verwarmd wordt door de HR-CV</u>. Die voorverwarmde lucht wordt door het houtvuur extra verhit en door de schoorsteen naar buiten afgevoerd. Hierdoor is het werkelijke energie rendement dus heel veel lager (effectief < 20%).

Figuur 3-13. Houtkachel geeft veel fijnstof.
Dat fijnstof komt buiten in de lucht en slaat overal neer. Tijdens koele mistige dagen kan het stoken van houtkachels zelfs 'smog' veroorzaken, waardoor alle buurtbewoners daar last van ondervinden. Een open haard verstoort het systeem van mechanische ventilatie. Bij veel woningen zal het aanzetten van de uitblaas keuken-wasemkap vuile lucht via de schoorsteen naar binnen zuigen. Afbeelding uit Trouw.

Voor 1 kg droog hout is ≈ 15 m^3 verse lucht nodig om te verbranden en die hete lucht gaat de schoorsteen uit met veel CO_2 en fijnstof.[172]

[172] De meeste hout gestookte kachels hebben daardoor een laag milieurendement, m.u.v. pellet-kachels. Voor brandhout met een hoger vochtgehalte daalt het rendement, want eerst moet dat vocht verdampt worden. Emissies van open haarden en oude **houtkachels** liggen gemiddeld tussen 6 tot 40 g fijnstof per kg brandstof. Bij nieuwere **houtkachels** is dat tussen 4 en 10 g/kg. Pellet-kachels stoten gemiddeld 1 tot 2 g/kg uit of minder.

De luchtvervuiling van houtkachels is erg groot en **daarom horen ze niet meer bij een verduurzaming van de woning.**[173] Wanneer een losse gemetselde schoorsteen van slechte kwaliteit is, is het verstandiger om deze helemaal te verwijderen. Op die manier geeft deze ook geen schaduw op PV-panelen.

3.6. Schoorsteen versterken

Deze paragraaf behandelt de problematiek van enkele vormen van schoorstenen en geeft een paar opties voor versterking. De foto's zijn bedoeld ter illustratie en geven niet aan of een situatie veilig of onveilig is. Om de veiligheid van een constructie te bepalen is het nodig om de kwaliteit van het metselwerk, de dakconstructie en de onderliggende constructie te kennen. Ook is de sterkte van een te verwachte aardbeving of storm van belang om een beoordeling te geven. Zonder gedetailleerde informatie is het niet mogelijk om precies aan te geven welke maatregels genomen moeten worden. Wanneer er vanaf de straat een hoog risico schoorsteen wordt geïdentificeerd (RVS), zal het nodig zijn om de constructie ook aan de binnenzijde te beoordelen (EVS).

Figuren 3-14. Schoorstenen uit New Zealand.
Links: Huis in Darfield. Na een zware aardbeving in 2010 viel de schoorsteen door het dak van een huis.
Rechts: Door de korte heen-en-weer schok is de schoorsteen net blijven staan.

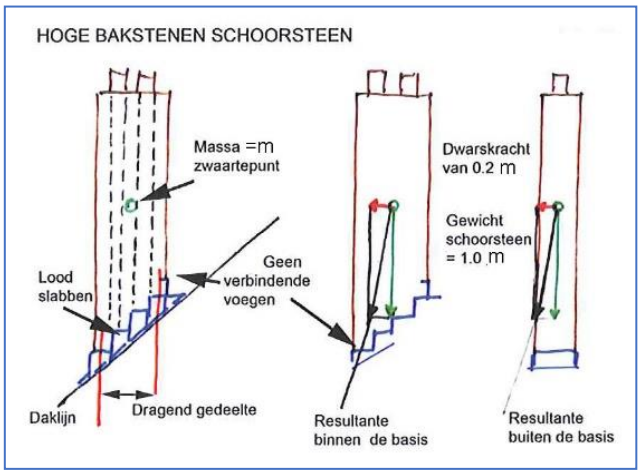
De keuze van een eventuele versterkingsoptie, vervanging voor een lichtgewicht model of algehele verwijdering, zal sterk afhangen van het kostenplaatje en het aanzicht van het gebouw. Ook kan het afhangen van de na-isolatiemethode van het dak, aan de binnenkant of de buitenkant; bij buitenzijdige dakisolatie is het weghalen van een schoorsteen weinig extra werk.

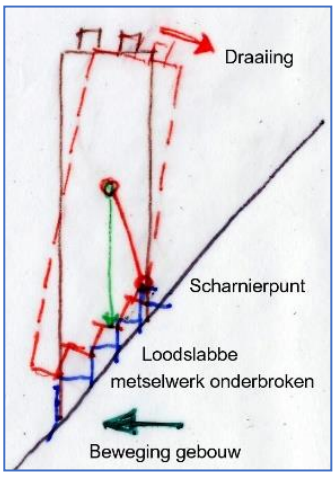
Voor het versterken van een schoorsteen is de plaats van het massapunt t.o.v. de basis belangrijk. De loodslabben die moeten voorkomen dat het vocht van boven door het metselwerk naar binnen zakt, maar zijn een onderbreking van het metselwerk, waardoor het metselwerk daar geen trekkrachten kan opnemen. **Een schoorsteen staat daardoor bijna altijd los te balanceren.**

Met het massapunt op ongeveer halverwege de vrije hoogte kan de resultante tussen de horizontale druklijn en de eigen gewichtslijn, buiten de voet van de schoorsteen vallen. Als de horizontale kracht vanwege een zeer lichte aardbeving PGAg 0,1 x de massa is, dan zal de krachtenresultante binnen de schoorsteenvoet vallen indien de schoorsteen minder dan vier keer zo hoog als breed is. Bij een erg slanke of hoge schoorsteen of hogere belasting zal deze resultante buiten de basis vallen.

Bij een PGAg 0,08 is de zijwaartse belasting ter hoogte van de nok van het dak, bij een woning van niet meer dan 10 m hoog, omstreeks 0,2 X de massa. Dit betekent dat een slanke schoorsteen, zoals in de schets hieronder, een hoog risico loopt van afbreken en omvallen.

[173] Zie: https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/energiezuinig-huis/verwarmen-op-gas-of-hout/houtkachel-of-open-haard/ en https://joop.bnnvara.nl/nieuws/rivm-komt-met-open-haard-alarm-tegen-gezondheidsklachten en https://www.trouw.nl/duurzaamheid-natuur/de-knusse-houtkachel-is-eigenlijk-een-no-go~b274ce61/



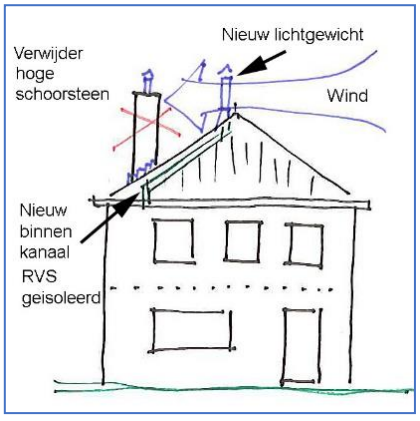


Figuren 3-15. Berekening dwarskracht. De schets geeft het principe van de berekening aan.

De krachten-resultante kan ingetekend worden. Rood is de horizontale kracht van de aardbeving. Groen is de massa van de schoorsteen. Bij belasting naar buiten telt het onderste steunpunt.

Figuur 3-16. Gevallen schoorsteen.
Bij belasting naar binnen is er een hoger scharnierpunt. De richting van vallen is afhankelijk van de richting van de aardbeving.

Bij slanke of zeer hoge schoorstenen wordt het risico groter. De frequentie (aantal schokken per seconde) van de aardbeving en de amplitude (zijwaartse beweging) zijn medebepalend. Geïnduceerde aardbevingen van PGAg < 0,1 hebben een lage frequentie, meestal maar 1 schok, waarbij de maximale horizontale verplaatsing van het gebouw kleiner is dan 1 cm.



Figuren 3-17. Hoge slanke schoorsteen. Voorbeeld van een schoorsteen die omvalt bij een PGAg 0,1 beving. Het is alleen niet zeker naar welke kant. Vervangen door een lichte roestvrij stalen sandwich buis tot boven de nok is hier een optie.

Een goede oplossing is om een risicovolle schoorsteen in haar **geheel verwijderen**, of te vervangen door een lichtmetalen (sandwich, geïsoleerde) schoorsteenpijp.

- Een gemetselde schoorsteen die geen functie meer heeft voor de afvoer van rookgassen van een houtkachel kan beter helemaal verwijderd worden.
- Een schoorsteenkanaal dat alleen voor ventilatie dient, of voor gasafvoer van een centrale verwarmingsketel kan vervangen worden door een zwarte HDPE-pijp.
- Bij een gemetselde schoorsteen die op de zijkant van een schuin dak staat kan de nieuwe afvoer beter op de nok van het gebouw worden geplaatst, met een schuin rvs-kanaal binnendoor.

Figuren 3-18. Rvs geïsoleerde pijpen.

Lichtgewicht en geïsoleerde metalen schoorstenen of ventilatiepijpen die boven de nok uitkomen voor verbeterde rookgas afvoer.

De pijpen die bij goed geïsoleerde woningen nu nog uit het dak steken zijn hoofdzakelijk bedoeld voor luchtafvoer en -verversing. Binnen dezelfde architectuur is het volledig geaccepteerd om als alternatief op een gemetselde schoorsteen een metalen pijp te hebben of helemaal geen schoorsteen op het dak.

Figuren 3-19. Woningen zonder schoorsteen.
<u>Links.</u> Deze twee nieuwe woningen zijn bijna identiek. De uitzondering is de schoorsteen. Het rechterhuis heeft geen gemetselde schoorsteen maar een rvs uitlaat. <u>Rechts.</u> Passief huis zonder schoorsteen.

3.7. De jaren ‘30 schoorstenen en voorbeeld

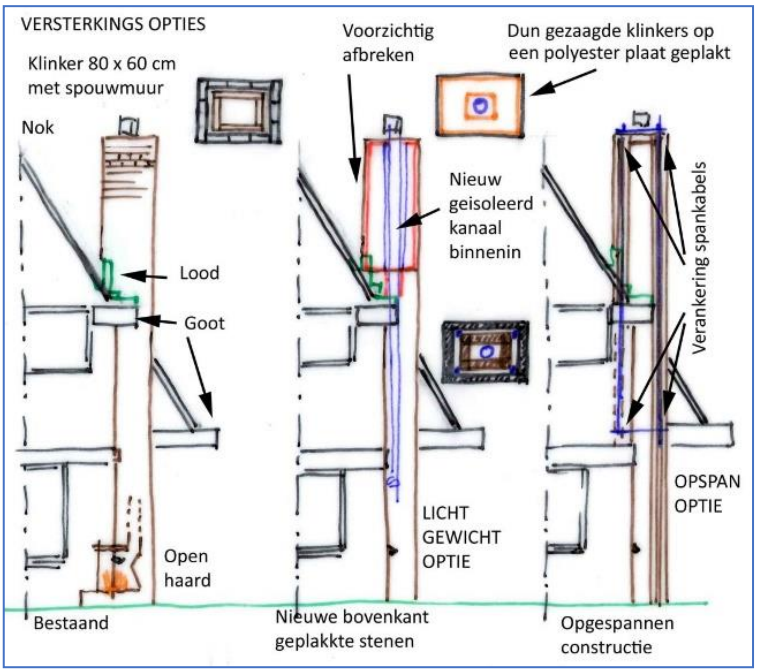
Vanwege de bijzondere architectuur zijn de jaren ’30 gebouwen vaak aangemerkt als beeldbepalend of beschermd stadsgezicht, waardoor er van monumentenzorg vaak geen grote veranderingen aan de gevels gemaakt mogen worden.

Figuur 3-20. ’30 woning met twee schoorstenen.
De voorste schoorsteen aan de straatkant zou aangemerkt kunnen worden als een beeldbepalend element die past in de architectuur van het gebouw. De achterste is nauwelijks beeldbepalend, en slechts beperkt zichtbaar vanaf de openbare weg. Deze kan in zo’n geval vervangen te worden door een rvs dubbelwandige schoorsteenpijp. Echter, omdat hier het schaderisico door het aardbevingsteam in de provincie Groningen werd geïdentificeerd, had de eigenaar recht op behoud en versterking van beide schoorstenen.

De achterste, hogergeplaatste, schoorsteen had al een beschadiging opgelopen, waarbij de scheur werd gerepareerd. De reden dat deze achterste schoorsteen was beschadigd heeft hoogst waarschijnlijk met het niet-stijve dakbeschot als oorzaak. De basis van de achterste schoorsteen ligt 3m hoger dan de basis van de voorste schoorsteen, en staat op het flexibele houten dak, waardoor deze schoorsteen een grotere zwiepbeweging maakte tijdens de geleden aardbeving (PGAg <0,06).[174]

Figuren 3-21. Gesinterde sierbakstenen. Schoorsteen van 3 x 4 strekken (60 cm x 80 cm), een spouwmuur met een enkel rookkanaal.
Het zwakke punt is de aansluiting langs de twee dakranden.

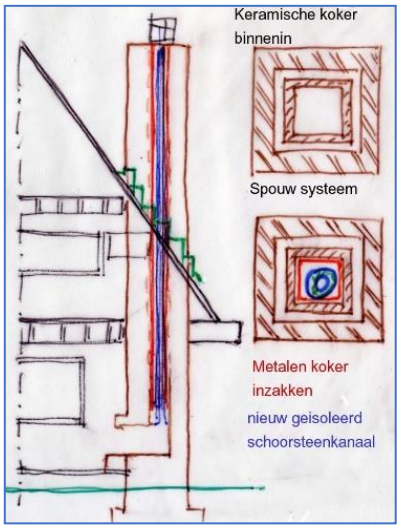
Figuur 3-22. Versterking schoorsteen. Vier opties werden overwogen.
(1) In het geheel aftillen van de top en verwijderen tot onder de daklijn. Stenen in plakjes zagen. Aluminium koker en plakjes erop plakken. Aanvullende steen-strips aan de achterkant.
(2) In het geheel verwijderen en aluminium koker met imitatie stenen.
(3) Met spankabels van boven naar beneden zekeren.
(4). Een stalen koker van boven inbrengen tot aan de begane grond.



Wanneer voor een lichtgewicht schoorsteen zou zijn gekozen, waren er drie opties.
Optie I: Kiezen voor de standaard composiet stenen, als die voldoende gelijkenis hebben, of
Optie II: Speciale composiet baksteen strips namaken volgens bestaande gevel, of
Optie III: Steen-strips zagen van de huidige schoorsteen en die op het aluminium plaatwerk plakken. Bij veel breuk extra steen-strips aan de achterkant bijvoegen. Deze optie garandeert precies dezelfde uitstraling door de originele baksteen.
Bij alle drie van deze opties kan de hoge Mmax PGAg > 0,3 zonder problemen weerstaan worden.

[174] Het alleen dichtsmeren van de gescheurde lintvoegen is in dit geval een foutieve oplossing die alleen mogelijk is bij onvoldoende deskundigheid van zowel de schade-inspecteur, de aannemer en de woningeigenaar. Een probleem is dat de schade-inspecteur vaak geen opinie gaf over de te nemen maatregelen en de aannemer slechts de esthetische “reparatie” uitvoerde.

Vanwege de grote hoogte van deze schoorstenen is het maken van nieuwe lichtgewicht composiet steen-strips altijd aanbevolen. In het geval van composiet namaakstenen is het belangrijk dat de eigenaar van de woning verschillende praktijkvoorbeelden ziet.



Figuur 3-23. Methode van versterken.
De gekozen versterkingsoptie was optie (4) om een metalen koker door het schoorsteenkanaal te laten zakken, tot net boven de open haard. Echter, bij het laten inzakken van de koker bleek dat het kanaal niet recht was en extra hak- en breekwerk noodzakelijk was.
Binnen het stalen koker kanaal komt een geïsoleerd rvs-kanaal.
Bij deze optie blijft de massa van de schoorsteen bestaan. De mogelijke Mmax[175] voor deze optie is PGA <0,2.

Figuren 3-24. Oude en nieuwe schoorsteen.
<u>Links</u>: Bestaande schoorsteen naast dakkapel.
<u>Rechts</u>: Nieuwe composiet steen-strips van lichtgewicht schoorstenen van Meekro, Groningen.

Bovenstaande foto's zijn van verschillende woningen, reden waarom de baksteen een andere kleur heeft. De composiet baksteen strips zijn op een paar meter afstand niet van de echte bakstenen te onderscheiden.

3.8. De schoorsteen op een 'stoel'

Bij schoorstenen die aan de zijkant van de woning op de kopgevel zijn geplaatst, steunen meestal slechts half op deze zijgevel. De dak zijde van de schoorsteen steunt op een 'stoel' of een ondersteuningsplaat op halve hoogte in de kap. De gordingen van het dak zijn in de kopgevel verankerd, maar het hele dakbeschot is flexibel. Vaak zijn deze schoorstenen symmetrisch geplaatst, een aan elke kant van de nok en zijn dan een element in de architectuur.

Bij veel woningen zijn ze onderdeel van beschermd stadsgezicht, maar bij rijtjeswoningen niet. Vanwege deze zwakke ondersteuningsconstructie zijn deze bij oude woningen vaak iets naar binnen gebogen, niet door een aardbeving. In veel situaties zijn deze schoorstenen verweerd en slechts decoratief zonder functie; de eventuele HR-CV heeft een eigen, nieuwe in- en uitlaat.

[175] In 2015 was de Mmax nog PGAg 0,36. Deze oplossing zou dan niet voldoende zijn. Terwijl enerzijds de Mmax zeer hoog was, werden anderzijds veel "versterkingen" toegepast die slechts bestand waren tegen een Mmax met een PGAg ≈ 0,1.

Figuren 3-25. Schoorstenen op stoel. In beide foto's zijn de schoorstenen op de geveleinden verweerd en uit het lood ***naar binnen gedraaid****. Dit betekent dat de draagstoel eronder vervormd is.*

Bij goedkope bouw komt het ook voor dat het buitendeel van de schoorsteen op een houten dwarsbalk of raveling staat. Door het uitdrogen en/of buiging, lekkage en houtrot van het hout en de verbindingen kan dan de houten draagconstructie krimpen of inzakken, waardoor de schoorsteen naar de noklijn draait. Bij het ophangen van de schoorsteen aan een enkel-steens bouwmuur geeft dit een excentrieke belasting waardoor de onderstaande muur op de duur gaat doorbuigen.

Figuren 3-26. Kopgevel schoorstenen.

<u>Links.</u> Het metselwerk met koppen en strekken geeft aan dat dit een steens muur is, maar de schoorsteen is breder.
<u>Rechts</u>. Deze kopgevel schoorsteen staat op een oude halfsteensmuur (alleen strekken en oud gebouw).

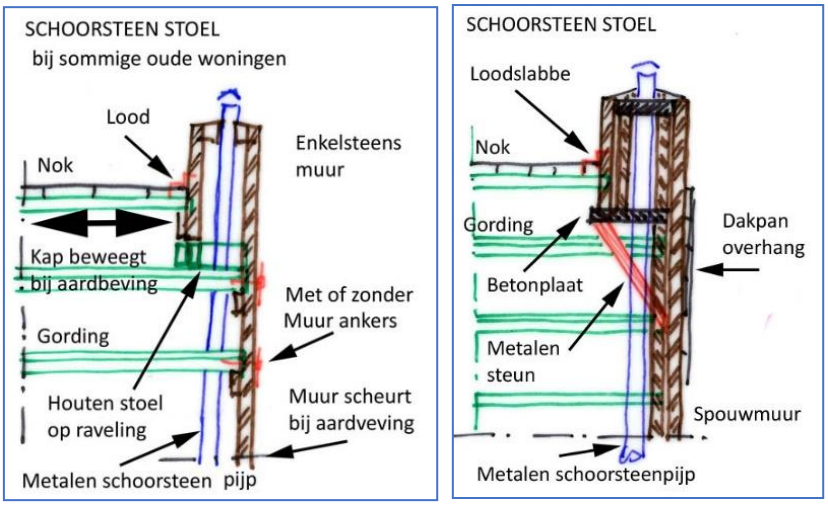
In beide bovenstaande foto's is de kopgevel met ankers aan de gordingen verbonden. De linker foto met stutten, geeft aan dat de hele gevel onvoldoende stabiel is. De rechter foto toont dat schoorsteen al eens helemaal vernieuwd werd, maar de verwering van de onderliggende (halfsteens) muur is aanzienlijk. Wanneer dit pand een monumenten status heeft, dan zou een nieuwe lichtgewicht schoorsteen de optie zijn., maar de hele muur moet ook versterkt worden. Ook moet dan rechts het gevelwerk opnieuw gevoegd worden.

Dit type oude schoorstenen zijn vaak van de fundering naar boven toe door-gemetseld. In het vlak van de kopgevel is er dan zijwaartse ondersteuning, maar loodrecht op de gevel niet. Bij een beweging van de flexibele houten kapconstructie, en onvoldoende diafragmawerking van de vloeren, zal deze schoorsteen meebewegen, waarbij scheuren in de basis ontstaan. Dit gebeurt al onder stormbelasting. Bij een herhaalde aardbevingen zullen deze gevels verder los komen te staan en eventueel afbreken.

Figuren 3-27. Constructies schoorsteenstoel.

<u>Links</u>. De schoorsteen staat op een houten raveling tussen de gordingen (erg zwak). De buitenmuur kan halfsteens zijn of een spouwmuur. Asbest pijp, voor jaren 1920.

<u>Rechts</u>. Spouwmuur met metalen steunen onder betonplaatje. Sinds 1960, asbest pijp.



Figuur 3-28. Onder lege sier-schoorsteen.
De aansluiting op de houten dakconstructie was/is niet goed waterdicht en leidt tot schimmel en houtrot.
Door aantasting aan de binnenzijde kan de constructie extra zwak zijn.

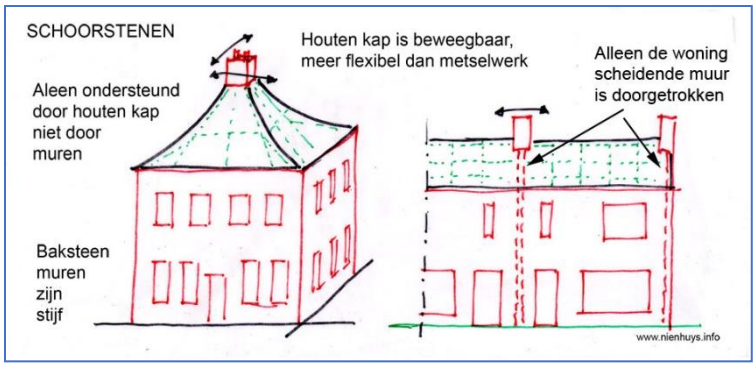
Sinds de jaren ’60 kunnen schoorstenen van eenvoudige bouw ook op asbest-cement of Eternit-pijpen staan. Bij de bovenstaande figuren is dan de oude metalen pijp vervangen door deze asbestcement pijp. Vanwege de schadelijkheid van asbestcement, zullen deze pijpen op de duur vervangen moeten worden. In dat geval is het ook verstandig om de hele schoorsteen weg te halen.

Figuur 3-29. Geen topgevelschoorsteen monument.
Bij deze gerestaureerde monumentale woningen zijn de vroegere kopgevel schoorstenen verwijderd. De topjes links werden van achteren versterkt.

3.9. Schoorsteen midden op het dak of wolfseind

Een schoorsteen die op het wolfseind van een dak is gebouwd heeft niet de ondersteunende stijfheid in één richting van een gevel. De horizontale weerstand in beide richtingen wordt volledig gegeven door de (meestal) flexibele houten dakconstructie.

De volgende foto’s zijn enkele voorbeelden van op de noklijn geplaatste schoorstenen die karakteristiek zijn in de Groningse woningbouw. De woning kan een monument zijn of beschermd (dorps) stadsgezicht, waarbij verwijdering van de schoorsteen niet wordt toegestaan. Deze woningen hebben symmetrisch geplaatste schoorstenen op de wolfseinden van het dak.



Figuren 3-30. Schoorsteen op wolfseinde.
<u>Links</u>. Bij deze ontwerpen kan deze schoorsteen inclusief de onderbouw heen en weer bewegen. Dit is ook veelvuldig het geval bij woning tussenmuren in rijtjeswoningen. <u>Rechts:</u> Een paar ton bovenin en op het dak. De gemetselde schoorsteenpijpen binnenin hebben ook een grote massa.

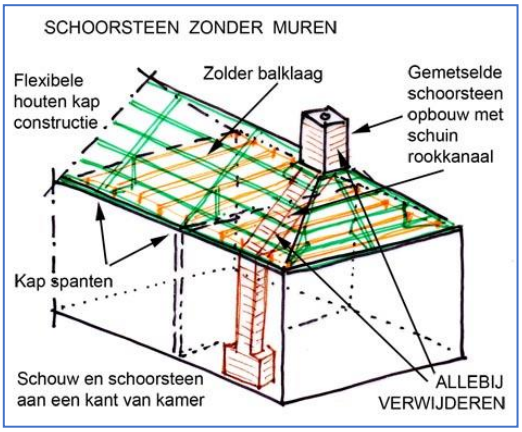
Een wolfseind is een veel voorkomende kapconstructie waarbij de schoorsteen niet op de kopgevel staat, maar een stukje naar het centrum van het gebouw. Dit voorkomt een spitse topgevel en verlaagd de windbelasting op het geveleinde. Alleen binnen in de woning kan de draagconstructie beoordeeld worden.

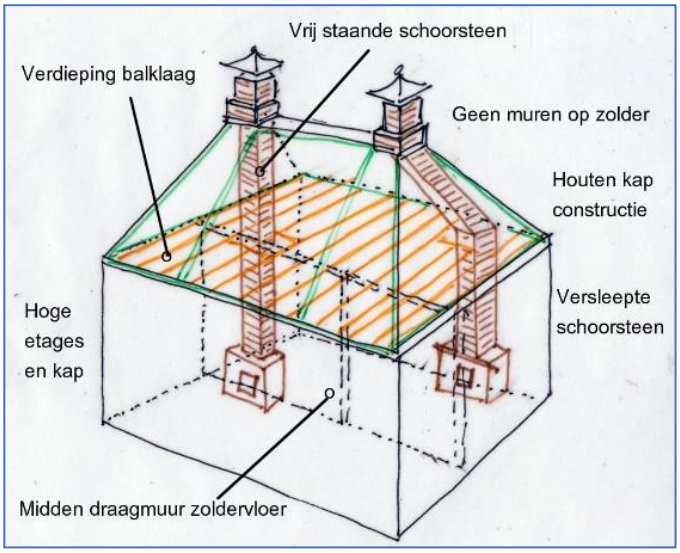
Figuur 3-31. Historische woning in Usquert.
Dit gebouw heeft aan twee kanten een grote schoorsteen op het wolfseind. Die schoorstenen zijn daarmee een onderdeel van de architectuur. De manier waarom ze inwendig gedragen worden is belangrijk voor de methode van versterken en verduurzamen.

Figuur 3-32. Historische woning in Loppersum.
Deze monumentale woning met gedecoreerde schoorstenen heeft versleepte rookkanalen onder het dak. Wanneer deze twee schoorstenen vervangen zijn door lichtgewicht modellen, en de kanalen door geïsoleerde rvs pijpen, is het vanaf de straat niet te zien dat deze schoorstenen vervangen werden. In de nieuwe schoorsteen kunnen ook de ventilatiekanalen komen voor de balansventilatie.
*Wanneer massieve bakstenen schoorstenen behouden moeten blijven én seismisch versterkt, betekent dat **zeer uitgebreide versterkingen** voor het **hele gebouw**, die **vele malen duurder** zijn dan om een paar goed gelijkende imitatieschoorsteen te plaatsen.*

Figuur 3-33. Zonder schoorsteen op wolfseinde.
Voorbeeld van moderne bouw zonder schoorstenen op het dak. De schoorsteen is geen relevante toevoeging aan de gebouw architectuur.

Bij een schoorsteen op wolfseind constructie, binnen onder de kap, kan de schoorsteen op of aan een kruising van muren of op een enkele doorgaande muur zijn gemetseld. Hierdoor wordt de zijwaartse beweging wel opgevangen door deze muren, maar de massa van het metselwerk in de bovenste verdieping zal hierdoor ook toegenomen zijn. Dit kan alleen binnen geconstateerd worden en met bestudering van de bouwtekeningen (EVS). Vanwege veelvuldige verbouwingen kunnen er wijzigingen van de muren hebben plaatsgevonden. Ook is het mogelijk dat de binnenmuren op de etage slechts halfsteens zijn en onvoldoende sterk om belastingen in het vlak van de muren op te nemen.



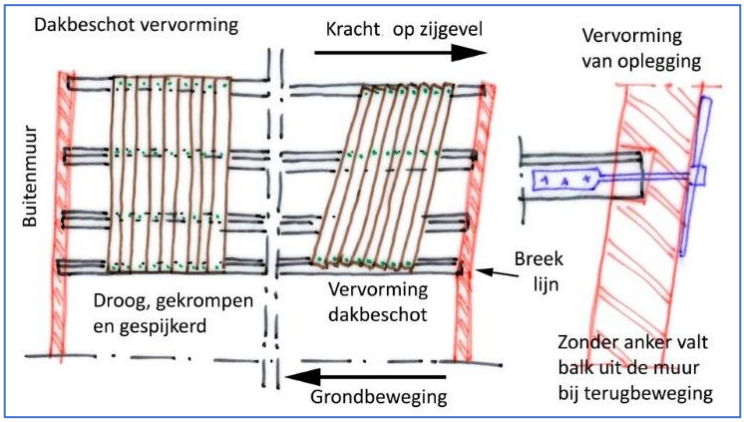


Figuren 3-34. Versleepte schoorsteen. Alle schoorsteen metselwerk kan verwijderd worden als seismische maatregel.

In veel woningen met een wolfseind is de locatie van de schoorsteenmantel zelden recht onder de dak-schoorsteen. Het gemetselde schoorsteenkanaal is dan op zolder of de etage versleept, hetgeen een erg kwetsbare constructie oplevert wanneer dat kanaal niet aan een muur is verbonden. Dit is zeker zo wanneer de kapconstructie verouderd is en meer bewegelijk is geworden. Bij een aardbeving zal het gemetselde kanaal gaan scheuren, lekken (rook en brandgevaar) en afbreken.

3.10. Stijver en sterker maken van de dakconstructie

Baksteen metselwerk weegt ongeveer 1800 kg/m^3. Een klassieke spouwmuur schoorsteen opbouw van 2 m hoog weegt ongeveer 2000 kg tot aan de draagconstructie eronder. Een 4 m hoge steens gemetselde schoorsteen van de zoldervloer tot aan die nok weegt nog eens 2 ton; voor 2 stuks samen 8 ton massa. De horizontale beweging van de **massa** van de schoorsteen moet opgevangen worden door de onderstaande muren, de kapconstructie en het dakbeschot. Een houten kapconstructie is aanzienlijk meer flexibel en meer vervormbaar dan een stijve, brosse gemetselde constructie. Bij oudere kapconstructies is dit nóg meer beweegbaar door de uitdroging en krimping van de dakbeschot planken.

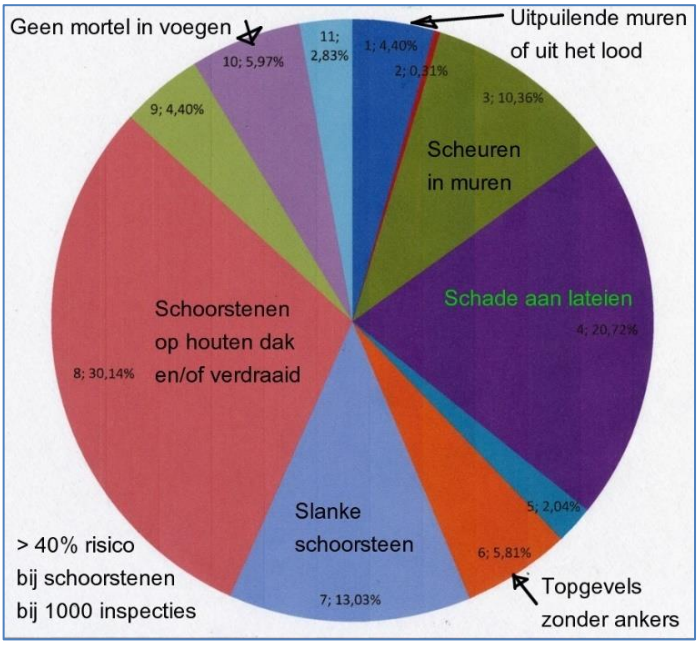


Figuur 3-35. Verdroogd, gekrompen dakbeschot.
Dat dakbeschot kan makkelijk vervormen bij belasting in het vlak van het dak. Hierdoor zullen de kopgevels en tussenmuren op de hoogte van de zoldervloer gaan scharnieren. Schoorstenen zullen hierdoor extra heen en weer bewegen en scheuren.

Bij het heen en weer bewegen van de topgevel zal er een breuklijn aan de basis van die topgevel ontstaan, die echter zelden direct zichtbaar is. Het betekent wel dat die topgevel staat te balanceren en er alleen niet afvalt omdat deze vast zit aan de gordingen. Deze problematiek wordt verder toegelicht in Hoofdstuk 6: Versterking Muren.

Wanneer de stijfheid van het dakbeschot onvoldoende is om de schoorsteen te ondersteunen, kan dit verbeterd worden op verschillende manieren: Zie hoofdstuk 8.

Deze twee aspecten geven aan dat de zware gemetselde schoorsteen invloed heeft op het gehele gebouw en in een aardbevingsgebied onwenselijk is.



Figuur 3-36. Statistiek hoog-risico elementen.
*Bij het RVS-straatonderzoek zijn de gemetselde schoorstenen (30% +13%)) samen met de topgevels (6%) **de helft van alle hoog-risico situaties,** maar de schoorstenen zijn veruit het grootste gedeelte.*
Bij het seismisch veiliger maken van gebouwen, of het relatief versterken, hebben deze daarom de hoogste prioriteit.

3.11. Lichtgewicht schoorsteen

De eenvoudigste opties voor seismisch versterken (na het geheel verwijderen van de gemetselde schoorsteen en het schoorsteenkanaal) is om er een lichtgewicht schoorsteen voor in de plaats te zetten, inclusief het onderliggende kanaal. Dit is het geval wanneer dat nodig/wenselijk is voor de architectuur van het gebouw[176]. Door de belasting op het dak te verminderen wordt het dak relatief sterker tegen bevingen; een van de belangrijkste maatregelen in het versterken en veiliger maken van woningen.[177]

Er zijn vier opties voor vervangen:

I. Composiet imitatie steen-strips op aluminiumplaat (>80% gewichtsbeperking, >12 kleuren, > 90% identiek). Het verschil met de originele gemetselde schoorsteen is van de straat niet te zien.
II. Speciaal gemaakte composiet steen-strips volgens een kopie van de bestaande gevelsteen van het gebouw (zeer licht, elke vorm/kleur, > 95% identiek). Langere productietijd, duurder.
III. Hergebruik van oude stenen voor het maken van steen-strips en deze op een cementplaten plakken (≈ 70% gewichtsbesparing, 100% identiek). Lange productietijd, zeer hogere kosten.
IV. Een modern ontwerp voor een metalen lichtgewicht schoorsteen/warmtepomp.

[176] De schade veroorzaker moet dit kosteloos verzorgen, echter het na-isoleren van het dak hoort daar niet bij.
[177] In principe heeft de woningeigenaar recht op een sterkere (lichtere) constructie wanneer het een aardbeving risico betreft, maar het is beter om te kiezen voor verwijdering en een financiële compensatie voor het kostenverschil tussen een lichtgewichtmodel (duurder) en verwijderen (goedkoper).

Methode van werken bij opties I, II en III:

Overeenkomstig de gevelsteen wordt een meest bijpassende kleur en textuur voor de steen-strip voor de nieuwe schoorsteen uitgezocht. Deze imitatiesteen wordt op een aluminium frame geplakt. Boven op de schoorsteen wordt de oude metalen afdekking gemonteerd of een andere lichtmetalen kopie.[178] De nieuwe schoorsteendoos heeft verstelbare voeten en kan vanwege haar lage gewicht op het dakbeschot worden vastgeschroefd. Deze lichtgewicht schoorsteen komt op dezelfde plaats als de oude schoorsteen zodat het aanzicht aan de buitenkant hetzelfde is als vroeger.

Figuren 3-37. Prefab lichtgewicht schoorsteen. In het aardbevingsgebied van Groningen door www.meekro.nl. Van een afstand is het verschil met de gevelsteen niet te zien.

De aansluiting op een eventueel rookkanaal gebeurt met dubbelwandige roestvrij stalen geïsoleerde pijpen. Bij hoog rendement HR-CV-installaties kan de verse lucht van onder de rollaag worden aangezogen zodat er geen vermenging met de rook of afvoergassen kan ontstaan. Het werk kan door lokale aannemers en timmerlieden worden gedaan. De aansluiting op het pannendak is met een kunststof loodvervanger.

3.12. Versterking van de draagconstructie.

De schoorsteen kan binnen het dak op verschillende manieren gedragen worden. Afhankelijk van de constructie dient deze draagconstructie versterkt te worden of de hele schoorsteen verwijderd. De juiste oplossing kan echter niet van buiten het gebouw beoordeeld worden. Dit betekent dat de er een onderzoek binnen in het gebouw moet plaatsvinden (EVS). De bouwtekening kan bestudeerd worden om na te gaan of er in de tijd wijzigingen zijn uitgevoerd. Verschillende situaties kunnen zich voordoen in het aardbevingsgebied.

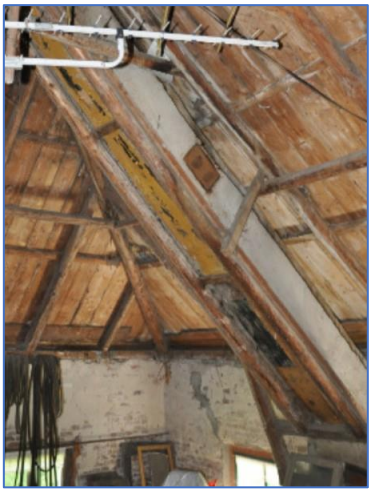
a. De kap laat bewegingen toe en de hele schoorsteen beweegt heen en weer met de kap. Als de kap en de onderliggende constructie sterk is en de schoorsteenpijp naar beneden flexibel, dan kan deze situatie bij een lichte/kleine schoorsteen blijven bestaan (max. 200 kg). Als het onderste gedeelte stijf metselwerk is, moet die gemetselde schoorsteen verwijderd worden en vervangen door een geïsoleerde rvs-pijp.
b. De kleine/lichte schoorsteen (< 200 kg) staat direct onder de nok op een stevige stoel die aan de buitenmuur is verbonden. Zelfde als a) hierboven.
c. De kleine/lichte schoorsteen (< 200 kg) staat direct onder de nok op een raveling die aan een kapspant en de gordingen is verbonden. Zelfde als a) hierboven.
d. Een zwaardere (> 200 kg) schoorsteen moet vervangen worden.

[178] Het is mogelijk om in de schoorsteen openingen te houden voor vleermuizen. Dit is relevant in een gebied waar vleermuizen nesten. Voor het verwijderen van schoorstenen moet gecontroleerd worden of er geen vleermuizen of vogels in nestelen. Zie ook: https://www.bureaubiota.com/flora-fauna-advies/wet-natuurbescherming-en-vleermuizen/

e. De schoorsteenpijp of de ventilatiepijp onder de bovenliggende bakstenen schoorsteen is van asbestcement of een grespijp. Deze pijpen zijn niet flexibel en kunnen bij een te grote beweging breken op de verbindingen. Dit is ook het geval als de pijp schuin loopt en extra wordt belast door de verticale beweging van een aardbeving. In deze gevallen is het van belang dat deze pijpen worden vervangen door lichtgewicht geïsoleerde rvs-pijp, en de schoorsteen door een lichtgewicht model.
f. Er staan geen dragende muren onder de gemetselde schoorsteen. Dit is de slechtste situatie want het onderliggende vrije gemetselde schoorsteenkanaal kan/zal dan in twee richtingen breken bij het bewegen van de kapconstructie

Figuren 3-38. Schuine asbestpijp schoorsteen.
<u>Links.</u> Het buitendakse deel steunt op de gordingen. Vanwege rook lekkage met duct-tape dichtgeplakt.

<u>Rechts</u>. De vroegere asbestpijp is vervangen door een roestvrij stalen geïsoleerde pijp.

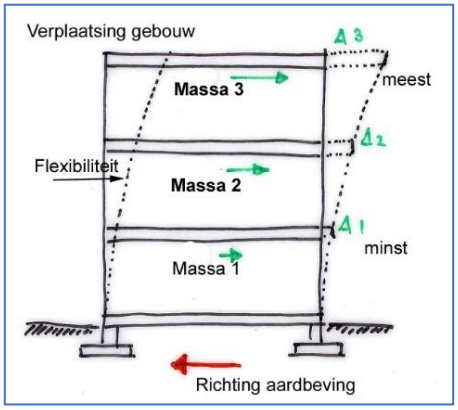


Figuur 3-39. Monument met schoorsteen.
*Deze **versleepte** schoorsteen loopt langs de houten kap en is ondersteund met balken. Hoewel de schoorsteen beneden wel op een begane grond muur staat, kan het schuine kanaal door de bewegingen zwaar beschadigen.*

Deze schoorsteen heeft grote invloed op de dak belasting. Hoe hoger het in het gebouw zit, hoe verder de zijwaartse uitslag. De eigen trilling-periode van een hoog op een dak geplaatste schoorsteen zal ook verschillen van de trilling-periode van het gebouw.

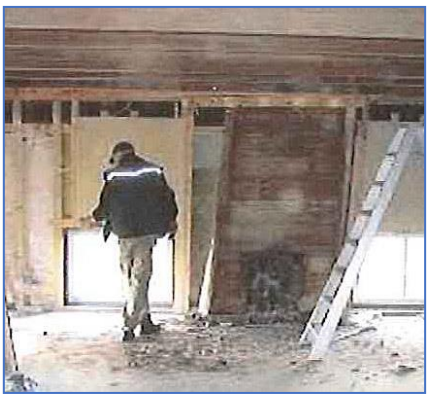
Figuren 3-40. Schoorstenen bij woningrenovatie. <u>Links</u>. Oude schoorsteen als decoratief element met aluminium luchtkanaal binnenin. <u>Rechts.</u> Verwijderde schoorsteenkanalen op de begane grond. Op de etage moeten ze ook verwijderd. De ruimte kan gebruikt worden voor ventilatie kanalen naar zolder en terug.

De verschillende trillingsfrequenties tussen lage en hoge constructies kan een extra belasting voor de schoorsteen opleveren. Bij aardbevingen van langer dan een seconde, kan de schoorsteen de ene kant op bewegen, terwijl het lage gebouw de andere kant op beweegt. Voor een lichte aardbevingszone met PGAg < 0,1 is **een schoorsteen met een doorsnede van 1/3 de hoogte al riskant (b/h <0,3).** De hoogte wordt dan gemeten van af het laagste aansluitpunt.



Figuur 3-41. Verplaatsing bij aardbeving.
De horizontale verplaatsing Δ t.g.v. de S-golven zal bij elke hogere etage toenemen. Bij verschillende stijfheden van de etages zal de slapste etage de grootste Δ toevoeging hebben. Voor schoorstenen betekent dat de grootste uitslag. Bij versleepte schoorstenen die niet goed ondersteund zijn, komt daar de verticale P-golf belasting bij als extra risico.

Figuren 3-42. Monument, vrijstaande schoorsteen. <u>Rechts</u>. De binnen kolom was zwaar beschadigd bij een lichte aardbeving.

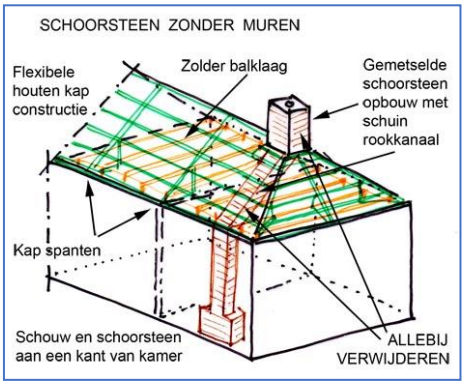


<u>Links.</u> Tweede schoorsteen aan een muur met zware scheuren vanwege de flexibele kapconstructie. De metselwerk massa's werden verwijderd. Buiten werden twee nieuwe imitatie lichtgewicht schoorstenen geplaatst.

In de volgende afbeeldingen lopen de inwendige schoorsteenkanalen schuin (versleept). Deze zijn ondersteund door de hoge houten kap die aanzienlijk meer flexibel is dan het metselwerk. Bij wind en/of aardbeving belasting en door de stookhitte, zullen in de gemetselde kanalen scheuren ontstaan. Al het metselwerk moet worden verwijderd. Als de schoorsteen is aangesloten op een open haard of dergelijke is slechts de montage van een lichtgewicht dubbelwandige geïsoleerde rvs-pijp de oplossing.

g. Versleept gemetseld schoorsteenkanaal of losse schuin lopende of scheve schoorsteen. De metselwerkmassa kan makkelijk dwars door de onderliggende vloer(en) vallen. In een aardbevingsgebied dient deze hele constructie verwijderd te worden. Deze schuine schoorsteen moet vervangen worden door een geïsoleerde lichtgewicht roestvrij stalen schoorsteenpijp.

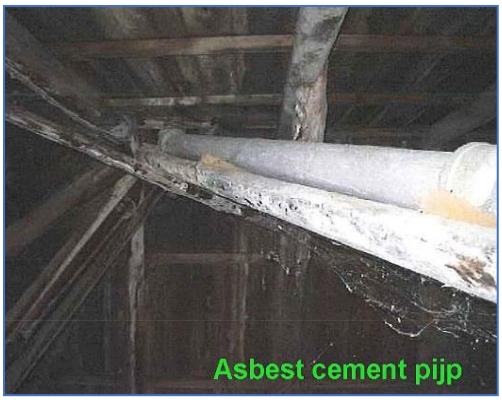
Figuren 3-43. Schoorstenen in kapconstructie. Deze moeten altijd verwijderd worden bij aardbeving risico's.



Figuren 3-44. Versleepte schoorsteen. Deze heeft geen ondersteunende dragende muur.

Figuren 3-45. Versleepte schoorstenen. Ook deze heeft geen dragende muur. Het seismisch versterken van deze constructies is niet zinvol.

h. Een schuin lopende asbest ventilatiepijp of rookkanaal onder de buitenzijdige schoorsteen. Deze pijpen, als ze nodig zijn, moeten vervangen worden door geïsoleerde rvs-pijpen.

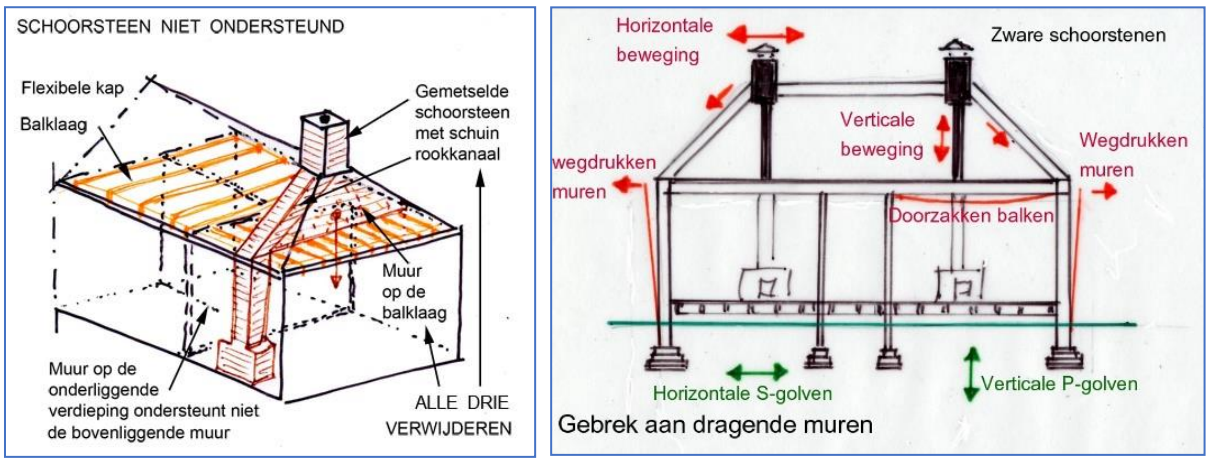


Figuren 3-46. Asbest pijpen voor ventilatie. Het is soms beter om de hele kapconstructie te vervangen en meteen goed te isoleren.

Hoewel het er aan de buitenzijde uitziet als een klassieke schoorsteen, hebben veel van deze metselwerk schoorstenen slechts de functie als ventilatie uitlaat. Bij elke vorm van vernieuwing of verduurzaming van het gebouw zullen de asbest buizen vervangen moeten worden, waarbij de functie van de buitendakse gemetselde schoorsteen vervalt.

Figuren 3-47. Vervangen door PVC-buizen.
Ingemetselde asbest moet met zorg verwijderd zodat er geen stof bij vrijkomt (nathouden/verven).

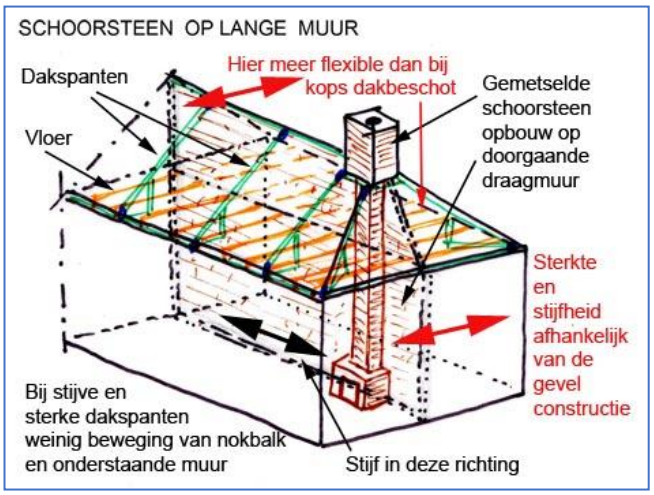
i. Een rechte of versleepte schoorsteen in een baksteen muur, waarbij die muur niet recht boven een muur op de onderliggende verdieping staat. De verticale P-schokken van een aardbeving zullen de onderliggende balklaag doen buigen, waarbij er scheuren in het metselwerk komen en de dakspanten (hoekkepers van een wolfseind) naar buiten worden gedrukt. Zowel de buitendakse schoorsteen als de binnenmuur met schoorsteen moet hier volledig verwijderd worden. Het ondersteunen van de massa van het metselwerk lost weinig op.



Figuren 3-48. Gebrek aan draagcontinuïteit. Dit veroorzaakt doorbuiging van de balklaag. Bij de verticale P-schokken zal de balkvloer doorbuigen en zullen de sporen de buitenmuur muur zijwaarts wegdrukken.

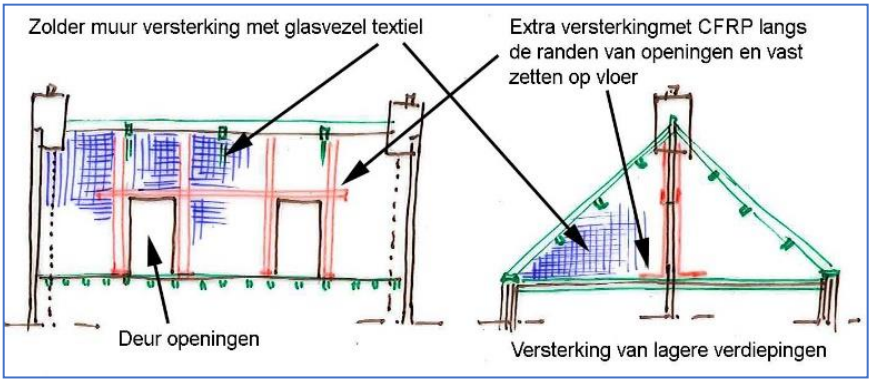
j. De dragende muur onder de schoorsteen is slechts in één richting gebouwd (zwarte pijl in de schets beneden). Dit betekent dat deze muur in de andere richting samen met de kapconstructie mee zal buigen en daardoor op lintvoegen scheuren. De topgevel van het gebouw kan ook scheuren als hier grote ramen zitten (in de rode pijl richting). De schets geeft aan dat het lange gedeelte meer flexibel kan zijn dan waar de dakspanten in de kop van het dak stijfheid aan de constructie geeft.

Wanneer de (zware) gemetselde muur op zolder behouden moet blijven, dan moet kapconstructie in de richting loodrecht op de muur versterkt geworden.



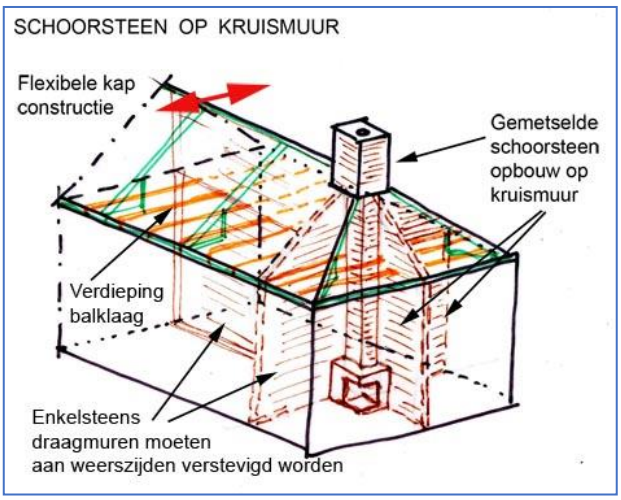
Figuur 3-49. Schoorsteen op langs-muur. In de richting van de zwarte pijl is de muur ondersteund. Bij een flexibele kap kan deze in de richting van de bovenst rode pijl bewegen, hetgeen scheuren in het schoorsteen kanaal oplevert.

Als de muur slechts een halfsteens draagmuur is (10-11 cm) dan moet deze muur aan twee kanten versterkt worden[179]. Binnenmuren met (veel) deuropeningen zijn zwakker dan gesloten muren. De muren kunnen rondom de openingen met in-gefreesde spiraalwapening of sterke koolstofvezel wapening worden versterkt (*Carbon-Fibre Reinforced Plastic, CFRP*). De onderstaande constructie op de begane grond zal navenant versterkt moeten worden. Zie hoofdstuk 6. Muren.



Figuur 3-50. Scheuren in binnenmuren. Om deze te voorkomen moet over alle deuropeningen een spiraalwapening worden ingemetseld en eveneens langs de openingen (rode lijnen). Ook kunnen de muren beplakt worden met glasvezel of CFRP.

k. De dragende muren onder de schoorsteen staan loodrecht op elkaar. Dit is de gunstigste situatie. Als deze muren halfsteens zijn dienen ze met een gewapende vezel versterkt te worden. De muren moeten tot aan de fundering doorlopen.



Figuur 3-51. Kruiselingse binnenmuren. Deze geven vaak voldoende sterkte om een zware schoorsteen te dragen. Deze muren mogen niet onderbroken zijn door deuropeningen en moeten tot aan de fundering doorlopen.

[179] Pleisterwerk wapening is in verschillende vormen en sterktes in de handel. Bijvoorbeeld: Vitrulan Mesh type SD.4512K2 op rollen van 25 m^2 met een treksterkte van 4000 N/5cm breed.

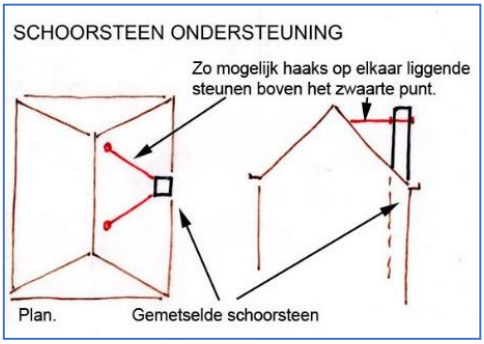
Als er bij een renovatieprogramma scheidingsmuren op zolder nodig zijn dan kunnen deze beter in houtconstructie gemaakt worden en tweezijdig afgewerkt met OSB of gipsplaten. Met platen aan weerszijden worden deze scheidingsmuren redelijk stijf en hebben een veel kleinere massa dan metselwerk.

Figuur 3-52. Schoorstenen zonder functie.
Bij sommige gebouwen heeft de schoorsteen al jarenlang geen functie, omdat onder schoorsteen de indeling van de woning is veranderd. Bij een binnen aanpassing kan die schoorsteen dan beter verwijderd worden.

Bij deze woning wilde de bewoner ook PV-panelen op het schuine dak gedeelte plaatsen, maar de schoorsteen creëert dan schaduw. In dat geval is het helemaal wenselijk om de schoorsteen definitief te verwijderen.

3.13. Zijwaartse ondersteuning van schoorstenen

De goedkoopste oplossing om te zorgen dat een hoge schoorsteen niet om kan vallen is om deze te **verbinden met de dakconstructie** door **trek- en druk-vaste** stangen. De volgende foto's geven een paar voorbeelden.



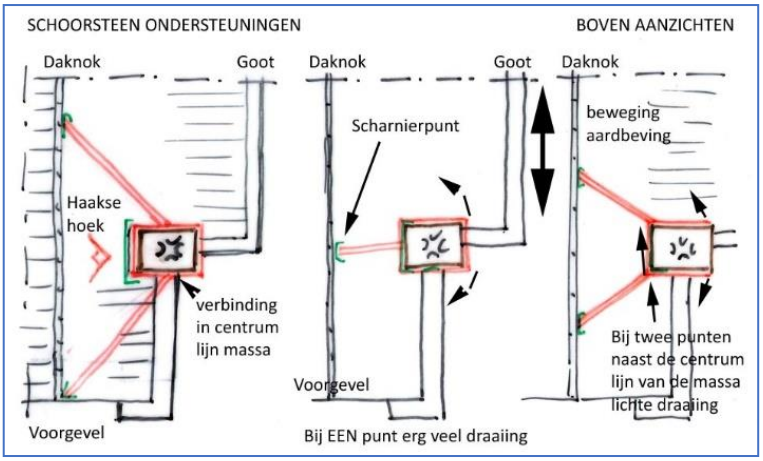
Figuren 3-53. Een staaf is onvoldoende.
De schoorsteen moet altijd in twee haaks op elkaar staande richtingen horizontaal ondersteund worden.

In de bovenstaande foto staan twee schoorstenen, een ondersteund en een niet. De voorste schoorsteen is slechts in de zwakke/dunne richting ondersteund, tegen windbelasting. Omdat de schoorsteen breder is in de lengterichting van het dak is de stabiliteit in die richting iets groter, maar in een aardbevingsgebied is dit een onvoldoende oplossing.

Figuren 3-54. Bovenste stuk is verlengd.

Bij deze jaren '30 schoorsteen is er een betere/hogere rookafvoer, maar de pijp is niet geïsoleerd.
<u>Rechts.</u> De oude schoorsteen is verwijderd en een nieuw geïsoleerd rvs en schoorsteenkanaal is binnendoor naar boven gemaakt en een lichte pijp op de nok geplaatst.

Figuren 3-55. Stabiel in één richting.
<u>Links.</u> Deze staat op een betonnen plaatje en is vrij stabiel in één richting, terwijl deze aan de bovenkant met twee staven aan de nok is verbonden voor stabiliteit in de andere richting. Zonder esthetische waarde zijn een paar dunne lichtmetalen en geïsoleerde schoorstenen beter.
<u>Rechts:</u> voor een baksteen schoorsteen en bij bevingen is dit een ongewenste situatie.



Figuur 3-56. Verankering opties.
<u>Links.</u> De juiste positie van de stangen voor de verankering van een middelhoge schoorsteen.
<u>Midden.</u> Fout, de schoorsteen kan te veel bewegen.
<u>Rechts.</u> Matig. Draaiing mogelijk.

Het figuur boven geeft één goede en twee minder goede verbindingen aan voor middelhoge schoorstenen. De eerste schets links geeft de goede methode aan:

= De twee druk-trek stangen dienen horizontaal en haaks op elkaar te staan.
= De stangen moeten zo hoog mogelijk en horizontaal in de kap verankerd zijn.
= Ze moeten boven het centrum van de massa lijn van de schoorsteen aangrijpen.
= De kap moet voldoende stijf zijn zodat deze geen beweging toelaat.

Een doelstelling van een hoge schoorsteen is dat de rookgassen boven de daklijn door de wind worden afgevoerd (50 cm). Een schoorsteen die niet lang genoeg is kan beter helemaal vervangen worden door een nieuwe korte roestvrij stalen schoorsteen op of naast de nok van het gebouw.

Figuren 3-57. Soorten schoorstenen.

<u>Links.</u> Zware, oude gemetselde schoorsteen. <u>Midden.</u> Lichtgewicht composiet schoorsteen.
<u>Rechts.</u> Rvs dubbelwandige pijp met detail van pijpdoorsnede.

Figuren 3-58. Geïsoleerde rvs-schoorstenen.
Links. Hier is te zien dat de oude schoorsteen van de tussenwoning muur is verwijderd. Rechts. Buitenom.

3.14. Lichtgewicht schoorstenen

De schoorstenen met composiet stenen zijn van aanzienlijk betere kwaliteit dan de modellen met PVC plastic imitatie bakstenen. Er zijn ook lichtgewicht schoorstenen met steen-strips die op een geperforeerde aluminiumplaat of zijn geplakt[180]. Deze zijn weer iets zwaarder dan composiet. Er zijn ook geprefabriceerde schoorstenen van halfsteens metselwerk die in hun geheel op het dak worden gehesen. Deze hebben een aanzienlijk gewicht en zijn niet aanbevolen in een aardbevingsgebied.

Figuren 3-59. Lichtgewicht composietschoorstenen.
In 2020 zijn er verschillende bedrijven in de provincie Groningen die lichtgewicht schoorstenen maken en plaatsen. Foto's Meekro.

Boven. De boven afwerking kan worden aangepast naar de wensen van de klant.
Midden boven. Voor ventilatie opties zit er onder de rollaag een opening.
Rechts. Zonder de afdekplaat.
Wanneer de schoorsteen niet voor ventilatie doeleinden wordt gebruikt kan deze worden ingericht als vleermuizen kast.

[180] De verlijming van de steen-strips moet weer-vast en vorst--vast zijn. In enkele situaties zijn steenstrips of opgeplakte composiet strips door het binnendringen van vocht los gevroren.

Voorbeelden van lichtgewicht schoorstenen van composiet baksteen op aluminiumplaat. Door vier in hoogte en in hoek verstelbare voeten kan deze op het dakbeschot worden vastgeschroefd. De twee en een halve meter hoge lichtgewicht schoorsteen wordt met lange schroeven en bouten door het dakbeschot in de kapspanten en gordingen vastgezet.

Figuren 3-60. Monumentaal met steen-strips.
Deze hebben een 70% gewichtsbeperking ten opzichte van de originele schoorsteen.
Midden en rechts. Wolfseinde van een dak, composiet >80% gewichtsbesparing; schoorsteen met kap.

Figuren 3-37 laten zien hoe de lichtgewicht schoorstenen vanaf de straat op het dak worden gehesen. *Figuur 3-42* laat zien hoe een gesloopte schoorsteen via het zolderraam en stortkoker wordt afgevoerd. In veel gemeenten is een vergunning nodig wanneer meer dan 1 m^3 puin wordt gesloopt.[181]

3.15. Geveltoppen

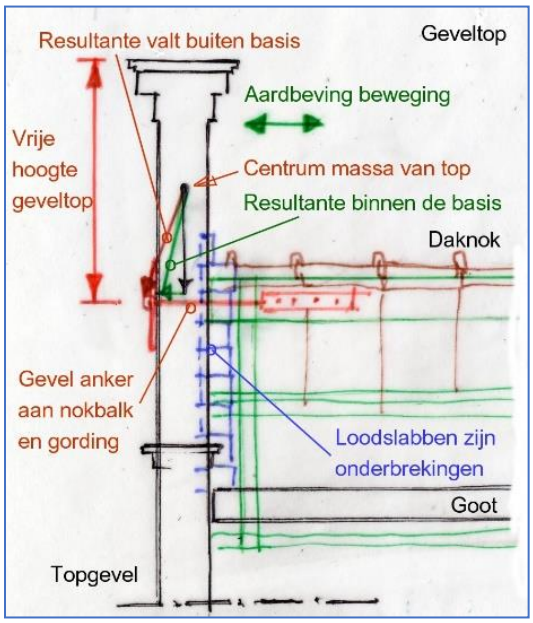
Onder een geveltop wordt in dit verband alles verstaan onderdeel is van een topgevel en wat gedeeltelijk of helemaal boven de hoogste verankering aan de dakconstructie uitsteekt en slechts aan de onderzijde op de gevel staat.

Gemetselde geveltoppen hebben veel gemeen met gemetselde schoorstenen vanwege:

- Hun hoge positie op het dak, waardoor een extra horizontale beweging ontstaat;
- Hun grote massa vanwege het massieve metselwerk;
- Hun erg smalle basis (steens) soms met overhang, waardoor ze makkelijk instabiel worden;
- Hun meestal gebrekkige verankering; verbindingen zijn verroest of hebben speling;
- Hun positie aan de rand van het gebouw, vaak langs de openbare weg;
- Verweerd metselwerk vanwege slecht onderhoud;
- Onderdeel van de gebouwarchitectuur met vaak met monumentale waarde.

Figuren 3-61. Karakteristieke geveltoppen.
Deze soorten uit de jaren 1910 komen veelvuldig voor.
Links. Zware verwering van de verbinding tussen gebouw en geveltop.
Rechts. Balancerend op een onderste rand, doorsneden met loodslabbe.

[181] Zie klusadvies voor binnen schoorsteen afbreken: https://www.gamma.nl/schoorsteen-binnen-afbreken



Figuur 3-62. Constructie detail geveltop.
*Bij een PGAg 0,08 m/sec^2 is de zijwaartse belasting ter hoogte van de nok van het dak (bij een woning van niet meer dan 10 m hoog) tussen de 0,2X en 0,3X de **massa** van de geveltop, afhankelijk van grondsoort en het gebouwtype. Dit betekent dat een geveltop, zoals in de schets een extra hoog risico loopt van afbreken en neervallen.*

Figuren 3-63. Modellen geveltoppen. Links. Verankerd maar risicovol. Midden. Vrijstaand, extra hoog en risicovol. Rechts. Aanzienlijk verweerd en risicovol.

Figuren 3-64. Vrije zijhoeken van geveltoppen. Links. Zeer hoog risico. Midden. Hoog risico voor de hoeken. Rechts. Zeer hoog risico omdat de achterliggende schuur erg flexibel is.

Geveltoppen hebben vaak een monumentstatus, of in ieder geval een karakteristieke waarde waardoor de woningeigenaar deze behouden wil. Het metselwerk kan van achteren versterkt worden. Profielen kunnen met chemische ankers vastgezet. De verbindingen tussen de topgevel en de dak- en vloerdiafragma's moeten sterk zijn, terwijl deze dak diafragma's zelf ook sterk en stijf moeten zijn. Een composiet namaak-geveltop is soms mogelijk.

Het bovenstaande betekent dat er het behoud van een zware topgevel invloed heeft op de rest van de dakconstructie en er een versterkingsplan gemaakt moet worden dat het dak en het vloerdiafragma moet betrekken in de uitvoering.

De volgende tabel geeft een overzicht van een beslissingsschema voor maatregelen.

Overzicht schoorsteen aanpassing ter voorkoming van aardbeving schade versie januari 2014

A Indien bij een PGA < 0,1 m/sec2 de bakstenen schoorsteen reeds beschadigd is of uit het lood staat, dient **zonder uitzondering de gehele massa** van de constructie verwijderd te worden.

A1 Indien in de aangewezen aardbevings zone, bij een PGA > 0,1 m/sec2 en < 0,2 m/sec2 de schoorsteen een risico oplevert dient hetzelfde te gebeuren als onder A.
De ondersteuningsconstructie van de schoorsteen dient eveneens verwijderd te worden uit de zolderruimte indien deze geen andere structurele functie heeft.

B Dit is in het bijzonder het geval bij gescheurde gemetselde constructies, gres en Eterniet pijpen. en halfsteens ondersteuning muren.

C Afhankelijk van de architectuur van het gebouw en de wensen van de gebouw eigenaar kan een **lichtgewicht** buiten schoorsteen worden teruggeplaatst.

D Wanneer de schoorsteen geen houtkachel rookgas afvoer functie heeft maar wel voor gas-CV of ventilatie dient, is een HDPE ventilator pijp aanbevolen.

	Onderbouw van open haard houtkachel schoorsteen	**Bouwkundige aanpassing**
1.	Op verticaal losstaand gemetseld baksteen schoorsteen kanaal tot beneden de zoldervloer.	Inwendige schoorsteen constructies geheel verwijderen tot aan lager liggende vloer. Puin via buitenkant afvoeren. Plaatsen van RVS dubbelwandig (geisoleerd) rookkanaal tot aan de beneden liggende verdieping.
2.	Op gemetseld, grespijpen, asbest of prefab schoorsteen kanaal **schuin langs een spant** en tot beneden de zoldervloer.	
3.	Op een **houten raveel verbinding** die op de dak constructie (gordingen of spanten) draagt.	
4.	Op gemetseld kanaal **aan halfsteens muur of spouw** vastgebouwd, doorlopend naar beneden.	
5.	Op gemetseld kanaal aan een steens muur vastgebouwd, **zonder dwarsmuur**, doorlopend naar beneden.	
6.	Op een metalen of hout constructie **stoel** aan een halfsteens muur.	
7.	Op een betonnen plaat die in een spouwmuur zit **ingeklemd**, eventueel ondersteund met L profiel.	
8.	Op oude schoorsteen **zonder huidige houtkachel** of open haard rookafvoer functie.	
9.		
10.	Centraal op een halfsteens binnenmuur die loodrecht op het vlak van de muur **NIET stijf is ondersteund**	Halfsteens muur verwijderen.
11.	Centraal op een halfsteens binnenmuur die loodrecht op het vlak van de muur **WEL stijf ondersteund is of beter ondersteund kan worden.**	Halfsteens muur tweezijdig met glasvezel mat bekleden (polymeer) en in dwarsrichting ondersteunen.
12.	Centraal op een draagconstructie van **dwars op elkaar staande halfsteens muren** (kruis vorm).	Tweezijdig met glasvezel mat versterken.

Verbeter opties met lichtgewicht schoorsteen van composiet steenstrips (niet polyethileen), gewicht 10 kg/m2 per buiten oppervlakte, zonder gewicht van de lood slabbe afwerking. gewicht 20 kg/m2 per buiten oppervlakte.

	Gebouw type	**Optie I, aluminium plaat/ standaard van voorbeelden, levertijd een maand afhankelijk jaargetijde.**	**Optie II, Aluminium plaat/speciale strips op vorm en kleur gemaakt - levertijd ongeveer 2 maanden.**	**Optie III, Frame/ cementplaat/steenstrips van oude bakstenen van verwijderde schoorsteen, levertijd > 2 maanden.**	Overige informatie
a	Monument, cultuur bezit	Zichtafstand > 15 m, goede stripkleur met aangepaste dunne/witte/kleur voeg.	Zichtafstand > 15 m, speciaal gemaakte aangepaste strip kleur en voegmaat/kleur	Zichtafstand > 10 m, behoud van de oude bakstenen	Betonnen afdekplaat wordt vervangen door aluminium imitatie. Metalen kappen en versierselen worden overgezet. Extra conservering van versierselen kosten eigenaar. Garantie 10 jaar. Loodslabbe afwerking.
b1	Beschermd stadsgezicht.	Zichtafstand > 15 m, goede stripkleur met aangepaste voeg in kleur.	Zichtafstand > 15 m, speciaal aangepaste strip kleur en voegmaat/kleur	nvt	
b2	Straatgezichts bepalend.			nvt	
c	Jaren '30 woning hoge schoorsteen, decoratief.	Waarschijnlijk nvt ivm speciale baksteen types en verdiept voegwerk.	Bij kleine voegdiepte. Maken van momentvaste verbinding onderliggende constructie.	Bij grote voegdiepte. Achterzijde van schoorsteen minder belangrijk in kwaliteit.	
d	Symmetrische voorgevel	Voorkeur wanneer dakpannen tussen schoorsteen en gevel van gebouw	Wanneer schoorsteen metselwerk overgaat in gevel van gebouw	nvt	
e	Eigenaar wenst behoud	Voorkeur wanneer dakpannen tussen schoorsteen en gevel van gebouw	Wanneer schoorsteen metselwerk overgaat in gevel van gebouw	nvt	
f	Niet straatbeeld bepalend	Vervangen door dubbele RVS geisoleerde schoorsteen of HDPE ventilatie pijp.	nvt	nvt	
g	Aan achterkant van gebouw	Vervangen door dubbele RVS geisoleerde schoorsteen of HDPE ventilatie pijp.	nvt	nvt	
h	Overig				

3.16. Versterking topgevel versiering

Sinds de 17de en 18de eeuw werden geveltop versieringen veelvuldig toegepast, waarmee ze een beeldbepalende elementen zijn geworden in de steden. Ofschoon de hoogste elementen normaliter van achteren werden vastgezet, zal in een aardbevingsgebied de versterking moeten worden uitgebreid afhankelijk van de te verwachtte sterkte van de bevingen.

Figuur 3-65. Geveltop versterking.
De ronde metalen plaat geeft aan de achterkant op meerdere punten een verbinding met het metselwerk. Bij een seismische versterking kan de plaat groter gemaakt worden. De diagonaal staaf is sterk verbonden aan het dakbeschot. Het voegwerk is vernieuwd. in combinatie met goed onderhouden voegwerk. Foto Jorritsma, geveltop in Ten Boer.

Figuur 3-66. Hardstenen afdekelementen.
De hardstenen elementen voorkomen inwatering van boven, maar vorstschade blijft mogelijk. De verbinding tussen het bovenraan en de top is bijzonder zwak.
Door door thermische bewegingen kunnen de stukken natuursteen losraken Het opnieuw voegen of opnieuw helemaal opmetselen van de topgevel is hier niet voldoende. De topgevel moet goed van achteren aan een stijve dak construcie verbonden worden. Foto Mick Eekhout.

Rond 1910 werden topgevel details aan de gebouwen toegevoegd in de vorm van gemetselde balustrades en korte kolommen. Deze kunnen van achteren versterkt worden door het beplakken van carbonfiber stroken waarop L profielen in de bakstenenmet kleine chemische geschroefd. De profielen moeten naar het achterliggende dak met een staaf verankerd.

Figuren 3-67. Verankeringsmethode ballustrade.
De balustrade is opnieuw gevoegd maar de zijgevel niet.
Rechts. Voorbeeld van op metselwerk geplakte stroken van CRFP textiel. Hierop kunnen de verseringsprofielen geschroefd worden, die in het hetselwerk met chemische ankers vastzitten.

3.17. Uitkragend gebouw onderdeel of balkon.

Een uitkragend gebouw onderdeel zoals een balkon of een erker op de eerste etage is een hoog-risico onderdeel.

Figuur 3-68. Ingestort betonnen balkon.
Geen aardbevingsschade, maar wel een voorbeeld van een verzwaard balkon. Hier speelt waarschijnlijk slechte wapening een rol. In Oudenbosch.
Een ingeklemd balkon zal bij een verticale trilling een extra grote belasting op het inklemmingspunt hebben. Wanneer het balkon aan een betonkolom is bevestigd, kan de kolom bezwijken en het hele gebouw erboven instorten.[182]

[182] Praktijkvoorbeelden laten zien dat flats van meerdere etages instorten door dit foutieve detail.

Figuren 3-69.
Uitkragende schoorsteen basis.
De aansluiting met het penant tussen de ramen op de bovenverdieping was al gebarsten.
Rechts. Voegwerk van nieuwe schoorsteen met lichtgewicht steen-strips is hetzelfde als de rest van de gevel.

In de bovenstaande foto's is te zien dat de top van de schoorsteen al is verwijderd. Als op de begane grond de binnenzijde van de schoorsteen is verwijderd, zal dat muurpenant extra risico lopen bij een belasting loodrecht op de gevel. Deze in mei 2014 met een RVS geïdentificeerde schoorsteen had langs de hoogte scheuren. Onder de schoorsteen ligt het looppad naar een achteringang van het gebouw, redenen om deze schoorsteen als hoog risico aan te merken.

In overleg met de eigenaar werd de hele schoorsteen vervangen door een lichtgewicht versie, gemaakt met steen-strips van gelijksoortige baksteen. De dunne plakjes werden op een lichtgewicht frame gelijmd en met een gesneden voeg in kleur afgewerkt. De binnenmuur werd versterkt met horizontale wapening over de penantbreedte om het frame van de lichtgewicht constructie aan op te hangen. Het resultaat past geheel in de bestaande gevel.

Figuur 3-70. Beoordeling van een geveltop. Zware of gemetselde dakkapel. Hoe is de binnen constructie?.

Bij de beoordeling van een uitkragend gedeelte, geveltop of zware dakkapel moeten de volgende aspecten beoordeeld worden. Dit kan op basis van een RVS.

a. De massa van de constructie.
b. De hoogte boven het maaiveld.
c. Bevindt het zich naast een openbare weg?
d. De horizontale verbinding aan de achterliggende constructie.
e. De verticale steun op achterliggen de vloeren of muren.
f. De penanten onder de constructie, om te beoordelen of die wel voldoende sterk zijn.
g. De kwaliteit van het voegwerk en metselwerk.
h. De historische of karakteristieke waarde. Zonder grote waarde kan het gesloopt worden.

3.18. Historisch erfgoed boerderij Zuidpool

De grote gemetselde schoorstenen op oude bakstenen gebouwen zijn meestal onderdeel van de architectuur en beeldbepalend, reden waarom men deze karakteristieke elementen in het stadsbeeld wil behouden, ook al hebben ze hun technische functie verloren. Het is goed mogelijk om architectonische elementen te vervangen door lichtgewicht modellen die geen grote belasting op de constructies geeft. Deze Hooglandster herenboerderij Zuidpool uit 1852, wordt dan in haar geheel seismisch versterkt. In deze oude boerderij (kopgebouw) staan vier massieve, niet functionele, schoorstenen op het dak, terwijl de houten dakconstructie op hoge, zwakke borstweringen staat. Daarnaast staat aan de zijkant, boven de kelder en keuken nog een schoorsteen.

Figuren 3-71. Monument met 5 schoorstenen.
<u>Links.</u> Linkerzijkant met extra centrale verwarming schoorsteen op de dakrand. <u>Rechts:</u> Voorzijde van het gebouw, geheel symmetrisch. De onderste rode lijn is het plafond binnen, de bovenste de bovenkant van de muurplaat

De later toegevoegde schoorsteen was functioneel, maar past niet in de architectuur van het gebouw en kan dus verwijderd worden. De vier topschoorstenen veroorzaken extra zware horizontale aardbevingsbelasting op het platte dak en indirect op de muurplaten.

Figuren 3-72. Borstwering met spanbanden. <u>Links</u>. Binnen is de grote hoogte (> 1,5 m) van de borstwering te zien en de spanbanden.

<u>Rechtsboven.</u> De basis van de schoorsteen op de zijkant bij een verhoogd gedeelte.

<u>Rechts.</u> De later aangebrachte metalen trekstangen om de spatkrachten op de muurplaat op te vangen.

Figuren 3-73. Extra schoorsteen bijgebouw.
Deze latere toevoeging heeft geen enkele monumentale waarde en kan verwijderd worden.

- De muren van het hoofdgebouw van deze boerderij zijn met kalmortel gemetseld en hebben een geringe sterkte.
- Het kopgebouw is gescheiden van de grote schuur door een hals gebouw, maar er zijn geen dilatatievoegen aanwezig, wel barsten.
- De twee extra bijgeplaatste schoorstenen, één op het hoofdgebouw (oliestook kelder) en één op het bijgebouw (keuken) zijn geen onderdeel van het historisch erfgoed en moeten in hun geheel verwijderd worden. Het zijn allebei aardbevingsrisico's.
- Met een moderne HR-CV kan dan in plaats van de massieve bakstenen schoorsteen een kleine uit-inlaat gemaakt worden.
- Geen van de vier schoorstenen aan de rand van het platte dak van het hoofdgebouw hebben een technische functie, maar belasten de borstwering vanwege de flexibele kap.
- De vier schoorstenen zitten op ongeveer > 30 m van een persoon op de grond vandaan, waardoor het niet mogelijk is om te zien of het een lichtgewicht imitatie schoorsteen is. Ook niet met een verrekijker.
- Van de openbare weg is de afstand tot de schoortenen minimaal 100 m.
- Als een van de zware schoorstenen omvalt, komt deze steenmassa waarschijnlijk in de kelder terecht, waardoor het antieke interieur onherstelbaar beschadigd zal worden.
- De dakconstructie uit 1852 bestaat uit rondhouten sporen die allen op de muurplaat steunen.
- Het dakbeschot bestaat uit brede houten planken, waarbij sommigen vervangen werden vanwege verval.
- Gezien de kieren in het oude dakbeschot zal er bij wind- of bevingsbelasting veel beweging in het dak zitten.
- Om het wegdrukken van de hoge borstwering te voorkomen zijn naast de houten verbindingsbalken (elke 1,5 tot 2 m) ook stalen strips (elke 1 m) aan de muurplaat verbonden.

Om het hele dak en de borstwering muren te ontlasten, is het vervangen van de vier monumentale, slechts decoratieve hoekschoorstenen door lichtgewicht modellen de meest aangewezen optie. Hier moet dan ook het lichtste model uitgekozen worden.

Om het hele kopgebouw op *Base-isolation* te zetten zou ongeveer 2 miljoen euro kosten.[183]

[183] De boerderij werd in 2017 door de schadeveroorzaker aangekocht.

Figuren 3-74. Oorzaak van gevelschade. De scheuren zijn een combinatie van de flexibele kap en het brosse metselwerk.

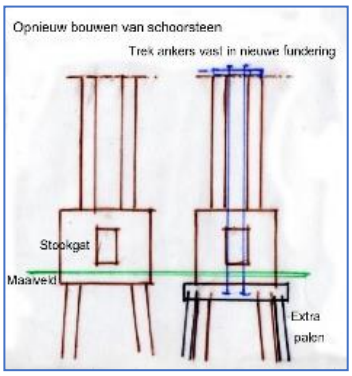
Bij de beoordeling van historisch erfgoed moet altijd overwogen of de bakstenen schoorsteen wel een belangrijk onderdeel is van de originele architectuur en noodzakelijk. Als dat niet het geval is dan kunnen ze beter helemaal verwijderd worden. In het geval van het gebouw rechts hierboven kan de topgevel vervangen worden door een flexibele houten en goed geïsoleerde façade, zonder schoorsteen.

Figuren 3-75. Houten topgevel is flexibel. Een goed geïsoleerde houten geveltop kan de kleine bewegingen van de kap opvangen. Dit kan voor historisch erfgoed ook met steen-strips op isolatieplaten worden uitgevoerd.

3.19. Fabrieksschoorsteen

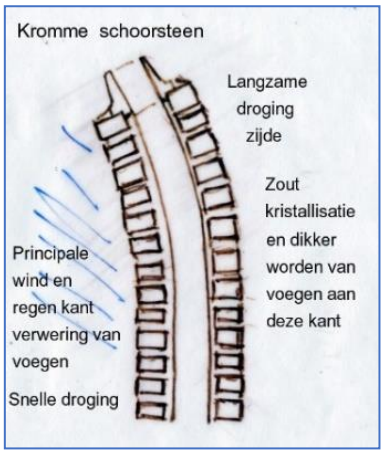
Nederlands industrieel erfgoed omvat een aantal hoge fabrieksschoorstenen die een aandenken zijn aan grote bedrijven, stoomgemalen en warmtecentrales.

Figuur 3-76. Schoorsteen in Tjamsweer. De 'Eendragt bij Appingedam. In 2013 werd deze monumentale schoorsteen van het voormalige olie-molencomplex gesloopt en herbouwd. Foto RTV-Noord.



Deze werd in drie stukken gemaakt en opnieuw opgebouwd met een betere fundering en inwendige wapening in de vorm van trekstangen. *https://www.rtvnoord.nl/nieuws/148159/Monumentale-fabrieksschoorsteen-bijna-in-ere-hersteld*

De oude en verweerde schoorsteen van de voormalige steenfabriek te Wirdum moest ook gesloopt worden, zoals anderen die bij een aardbeving een gevaar van omvallen hadden. [184]



Figuur 3-77. Schoorstenen trekken krom.
Dit komt door verwering.
Aan een kant kunnen de voegen verweren (krimp), terwijl aan de andere kant zout kristallisatie uitzetting ontstaat. Bij slechte verbranding of onvoldoende hitte, kunnen sulfaten van de rook in combinatie met condens de binnenzijde aantasten waardoor de schoorsteen verzwakt. Hoe langer de schoorsteen is hoe beter deze kromming zichtbaar is.

Sommige fabrieksschoorstenen kunnen gedeeltelijk bewaard blijven, maar niet de gehele hoogte. Per schoorsteen zal er een afweging gemaakt moeten worden tussen de monumentale waarde, de kosten van restauratie of herstel, versteviging en dergelijke.

Figuren 3-78. Stalen ringbanden.
Deze horizontale ringversterkingen beschermen niet tegen aardbevingskrachten. Rechts. Gedeeltelijk behouden.

Voor het duurzaam restaureren van hoge schoorstenen moet naar de stabiliteit van de fundering bij de te verwachten aardbevingssterkte gekeken worden en of de palen op trek belast kunnen worden. In veel situaties moeten de schoorstenen opnieuw gevoegd worden en van een nieuwe binnenlaag voorzien worden. Het is mogelijk aan de binnenzijde een sterke Carbon Fibre Mesh te plakken.

**********Terug naar het begin van dit Hoofdstuk 3 **********

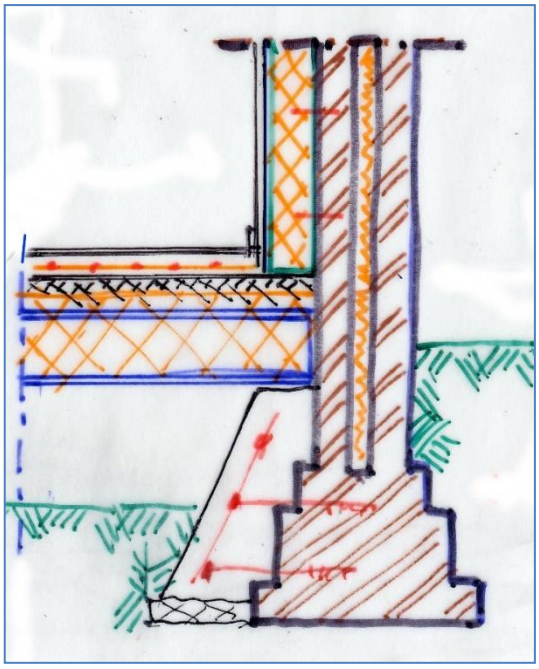
**********Terug naar inhoudsopgave figuren**********

[184] Zie: *https://www.youtube.com/watch?v=FNdqljsXGbE&list=PLjIzy5avVwOeK24DN2RBBbSbpnAFr686T&index=22*

Duurzaam Herstel en Versterking van Woningen in Groningen

Hoofdstuk 4 FUNDERINGEN VERDUURZAMEN

Na de aardbevingsproblematiek en de afbouw van de aardgasproductie



Abstract:
Aardbevingen en grondzettingen grijpen via de fundering in op het gebouw en zijn een belangrijke oorzaak van scheuren in het metselwerk. Om gebouwen te verduurzamen en scheuren in de muren vanwege zettingen of bevingen te voorkomen, zullen vaak eerst de funderingen versterkt moeten worden. Dit document geeft verschillende opties aan.

Kernwoorden o.a.:
Baksteen, *Base-isolation,* diafragma, duurzaam, fundering, geïnduceerd, isoleren, kelder, hoofdstructuur, metselwerk, op staal, seismisch versterken, veiliger maken, verbouwen, vloeren, verduurzamen, zetting.

Hoofdstuk 5 betreft de techniek van *Base-Isolation* als funderingselement.

Door: Sjoerd Nienhuys
Bouwkundig, seismisch ingenieur
Juli 2023

4.0. Inleiding

Aardbevingen grijpen aan op de funderingen van gebouwen, waarna de schokken of trillingen vanuit die fundering via de muren naar boven in het gebouw worden doorgegeven. De aardbevingstrillingen gaan op-en-neer en heen-en-weer en naar voren-en-achteren. Bij een beetje flexibel gebouw zal het gebouw natrillen. De gebouwbewegingen gaan weer als belastingen terug naar de fundering. De fundering zal daarom als eerste een mogelijke schade kunnen ondervinden en kunnen verzakken of zetten vanwege de verhoogde belastingen.

Ofschoon funderingsschade onder het maaiveld niet direct zichtbaar is, kan het effect daarvan wel zichtbaar zijn in de bovenliggende bouw. Een scheurtje van 2 mm in de fundering kan leiden tot een scheurtje van 2 mm in een muur. Een kleine scheur kan bij een volgende beving groter worden. Om een goed inzicht te krijgen in het schadepatroon van de muren in een gebouw is dan ook aanvullend funderingsonderzoek relevant.

Ook de voor mensen niet-voelbare trillingen (verkeer, aardbevingen), kunnen bij gebouwen met slechte funderingen of op slappe grond zettingen veroorzaken en daardoor scheuren. Echter, er zijn vele andere redenen waarom funderingen zettingen en scheuren kunnen krijgen. Het merendeel van de oude in baksteen gebouwde woningen ‘op staal’ in Nederland hebben scheuren. Dat heeft meestal geen invloed op de technische kwaliteit of sterkte van het gebouw, maar het is esthetisch wel storend.

Wanneer de aardbevingen of trillingen veroorzaakt worden door een bedrijf, is dat bedrijf aansprakelijk voor de schade en moet de gebouw herstelkosten vergoeden. Wanneer de verwachting is dat er aardbevingen blijven komen kan men besluiten om het gebouw te versterken zodat er minder vaak scheuren komen. Dat is met de stijve, brosse baksteenarchitectuur in Nederland echter een moeilijke opdracht. En nauwelijks haalbaar, tenzij er overmatig zwaar versterkt wordt.[185]

Pas in 2017 werd er een Trilling richtlijn opgesteld:
Trilling richtlijn SBR-A 2017 https://trillingen.com/artikelen/trillingsmetingen-sbr-richtlijn-a#:~:text=Trillingsmetingen%20volgens%20SBR%20richtlijn%20A&text=Veel%20bouwwerken%20zijn%20niet%20expliciet,de%20frequentie%20van%20de%20trillingen. En:
27 november 2020 Nader advies opgeleverd over zettingsschade. ir. P.C. van Staalduinen* en ing. H.J. Everts
https://www.schadedoormijnbouw.nl/nieuws/nader-advies-opgeleverd-over-zettingsschade
met uitgebreid en gedetailleerd rapport:
https://api.schadedoormijnbouw.nl/content/Beoordeling%20invloed%20van%20bevingen%20op%20zettingen%20-%20november%202020.pdf en: SBR-trillingrichtlijn A BuildinG 2017
https://www.building.nl/uploads/fckconnector/bbb3c9ac-bf69-4a11-ad06-95a88aeca916/3016759984

Deze 2017 SBR-A trilling richtlijn geeft aan tot welk niveau een gebouw grondtrillingen zonder schade zou moeten kunnen doorstaan, hetgeen het geval is bij alle nieuwbouw. Het blijft echter onverminderd zo, dat oudere gebouwen ook tot aan die in de richtlijn genoemde trilling-waarde wél bevingsschade kunnen oplopen, al is het maar vanwege zetting. Het idee is dat er onder die trilling richtlijn-waarde dan geen basis voor bevingsschade-claims meer zou zijn is onjuist. Oude gebouwen vallen niet onder een 2017 regeling.

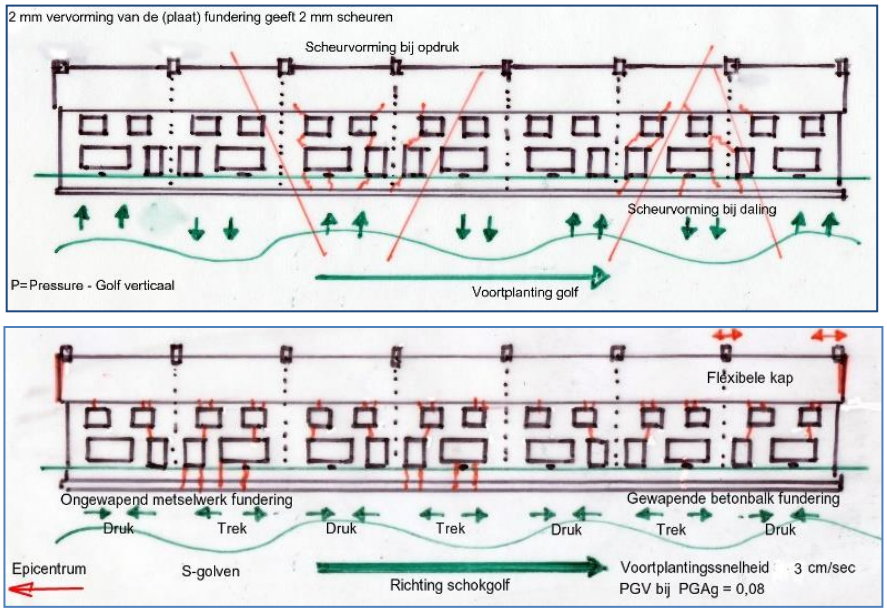
[185] Een alternatief is om het gebouw op *Base-isolation* te zetten, maar dat is een dure optie. Zie Hoofdstuk 5.

4.1. Herkennen van oorzaken

In Hoofdstuk 3 (Schoorstenen en Geveltoppen) werden de meest risicovolle gebouw componenten besproken die bij aardbevingen risico's van beschadigen of neerstorten opleveren. Ofschoon de muren de tweede categorie zijn waarbij aardbevingsschade aan metselwerk-gebouwen goed zichtbaar wordt, zal muurherstel door een lichte constructieve versterking in veel situaties slechts een beperkt effect hebben, wanneer de funderingen onder die muren niet ook zijn mee-versterkt. Als de funderingen niet meer verzakken, kunnen de muren blijvend hersteld of versterkt worden.

Hoewel het wegwerken van scheuren in metselwerk een belangrijk esthetisch resultaat geeft, zal het alleen dichtsmeren van de scheuren geen blijvend resultaat opleveren, wanneer de bodem onder het gebouw in beweging blijft door verschillende soorten trillingen[186] en zettingen. **Muren versterken is slechts duurzaam wanneer de funderingen in orde zijn.** Het verduurzamen van een gebouw, én dat voor de komende 100-200 jaar of langer te garanderen[187], zal in veel situaties dan ook een **verbetering van de fundering moeten inhouden**. Vervolgens zal er gekeken moeten worden naar de sterkte van de muren, de vloerdiafragma's op de etages, eventueel Lage Temperatuur Verwarming (LTV) op de begane grond, verstijving van de dakconstructie en goede isolatie van de gehele buitenschil.

Zoals eerder werd toegelicht zullen P- en S-golven verschillende invloeden hebben op funderingen.



Figuren 4-1. Golfbewegingen bij aardbeving. De P-golf veroorzaakt een verticale op-en-neer beweging die zettingen en scheuren kan veroorzaken. Een bakstenen fundering zonder sterke doorgaande en dragende balk kan scheuren. Scheuren absorberen een beetje de schok, maar zullen daarna steeds verder (hoger) in het gebouw voorkomen.

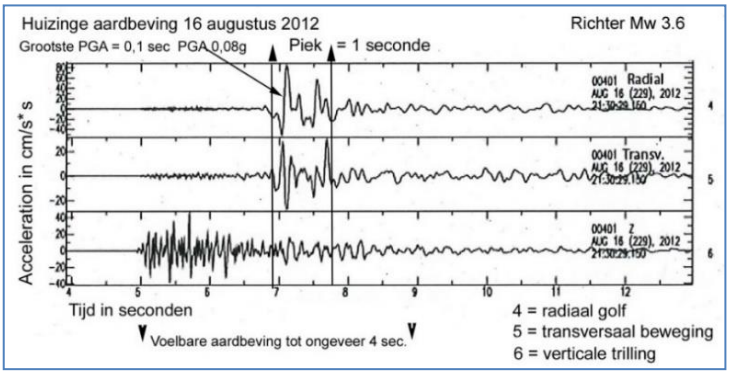
Het **goed herkennen en onderkennen van de oorzaken van de scheuren**, is belangrijk. Hierna wordt uitgelegd of deze wel dan niet gerelateerd zijn aan de sterkte van de fundering, of aan aardbevingen, zettingen en dergelijke. Deze kennis is belangrijk voor de keuze van de methode van verduurzamen van die fundering of het hele gebouw. Het kostenplaatje dat hiermee gemoeid is kan bij oude en slechte gebouwen, of bij gebouwen met zwakke funderingen zodanig hoog zijn dat voor een *Base-isolation* methode gekozen kan worden, of voor sloop en nieuwbouw. Bij het evalueren van gewone woningen werd bepaald dat wanneer de versterkingskosten hoger waren dan 150% van de nieuwbouwwaarde, dat dan voor slopen en nieuwbouw gekozen zou kunnen worden.

[186] Per 2020 en tot na het geheel dichtdraaien van de gaskraan zullen er in de provincie Groningen slechts kleine bevingen plaatsvinden, met steeds grotere tussenpauzes, maar andere trillingen zoals van verkeer zullen blijven bestaan. Ook gronddalingen en zettingen van de fundering zullen ook blijven bestaan wanneer deze gerelateerd zijn aan niveauveranderingen van het grondwater, zoals bijvoorbeeld bij veengronden.
[187] Het betreft hier verschillende generaties. Duurzame gebouwen kunnen met verloop van de tijd door een nieuwe generatie verschillend worden ingericht, maar de hoofddraagstructuur kan honderden jaren mee.

Bij deze 150% regeling gaat het niet over de 'seismische versterking' maar over algemene gebouw versterking.[188] Bij een algemene gebouwversterking is het relevant om de eenvoudige seismische aspecten mee te nemen. Deze zijn samengevat in Hoofdstuk 13 Basisregels voor Seismisch Versterken. Bij het gebouw versterken zullen de te nemen maatregelen moeten voldoen aan de laatste bouwverordening en duurzaamheidsmaatregelen. Omdat de combinatie van versterken en verduurzamen samen een kostbare maatregel kan zijn, wordt voor oude en slechte woningbouw vaak gekozen voor sloop en nieuwbouw.

4.2. Probleem identificatie

In de provincie Groningen deden zich door de aardgasexploitatie sinds 1980 trillingen voor, (PGAg <0,04 of Richter <2,0) en sinds 2006 kleine aardbevingen (PGAg <0,08 of Richter <3,5). Zowel de nauwelijks voelbare trillingen, als de aardbevingen oefenen op de fundering van een gebouw zowel extra verticale als horizontale belastingen uit. Hoewel de Nederlandse baksteen woningbouw wel is ontworpen om statische verticale belastingen te weerstaan, of stormbelastingen, zijn deze niet ontworpen voor het type trilling-belastingen die door deze aardbevingen ontstaan. Oude bakstenen gebouwen 'op staal' scheuren ook vaak vanwege zwaar verkeer.



Figuur 4-2. Grafiek van de aardbeving. Deze is van Huizinge (PGAg 0,085 of Richter 3,6). Deze was in 2012 de zwaarst geregistreerde beving in de provincie Groningen. De onderste lijn is de verticale P-druk golf, en de lijnen daarboven de twee horizontale S-schuifgolven.

Gebouwen 'op staal' en gebouwen op palen worden allebei beïnvloed door aardbevingen. Hoe vaster de grondslag, hoe sterker de overdacht van de trilling uit de ondergrond op de constructie. Gebouwen op palen (op een vast zandpakket) en met een doorlopende betonbalk over die palen kunnen daardoor meer/hardere trillingen registreren dan gebouwen die op een zachtere en elastische ondergrond staan. De totale **massa** van het gebouw heeft ook invloed op de overdracht van de trillingen; hoe zwaarder het gebouw is, hoe groter de inertie is en hoe groter de belastingen op het gebouw. De **brosheid** van het gebouw, of het gebrek aan elasticiteit, bepaalt verder de mate van schade die ontstaat door de trillingen en aardbevingen. Vanwege deze oorzaken zijn daarom zware, brosse bakstenen gebouwen meer kwetsbaar dan andere typen gebouwen.

Vanwege deze verschillende factoren en het lange tijdsbestek tussen de bouwdatum en het begin van de aardbevingen (na 2000) is het niet zonder meer te zeggen wat de precieze oorzaak van schades zijn, of in hoeverre de bestaande scheuren groter zijn geworden. In Nederland hebben heel veel oudere bakstenen gebouwen scheuren, zonder dat die in een erkend aardbevingsgebied staan. Vooral gebouwen die 'op staal' zijn gebouwd ondervinden vlak na de bouwperiode enige zetting.

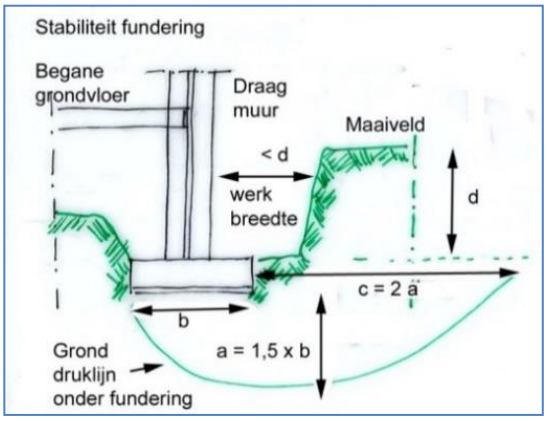
[188] Seismische versterking is een zodanige versterking dat het gebouw 'net-niet-instort', maar in dat geval zal het gebouw meestal economisch *total-loss* zijn vanwege te grote beschadigingen. De 150% is arbitrair en neemt de milieukosten van de vernietiging van oude bouwmaterialen en de grote CO_2-uitstoot van het nieuwe bouwen niet of nauwelijks mee. Het bouwkundig versterken zal betrekking hebben op het grotendeels voorkomen van nieuwe scheuren in het gebouw, bij gelijkblijvende aardbevingen (onder de PGAg 0,2).

Dit is vooral het geval bij gebouwen die op een uitgetande of een versneden gemetselde fundering zijn gebouwd. Dit is nog meer het geval bij gebouwen die gedeeltelijk onder-keldert zijn. Bij gebouwen die na 1992 op een bredere gewapend betonnen strokenfundering met verstijvingsbalk zijn gebouwd, zal dat niet direct tot scheurvorming in die fundering leiden, maar wel tot lichte scheurvorming in het (stijve)[189] metselwerk hoger in het gebouw.

Bij woningen uit de periode tussen 1950 en 1970 die op gewapend betonnen stroken-funderingen zijn gebouwd werd glad betonstaal gebruikt dat onder hoge trek een lichte vervorming toelaat. Bij een te dunne funderingsstrook kan dan onder het centrum van de plaat enige verzakking optreden (zie schetsen op de volgende pagina). Bij beton met torsiestaal wapening is er minder rek.

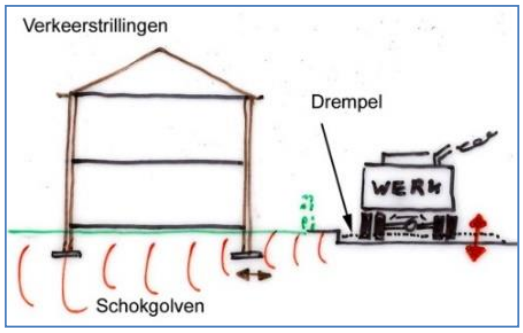
4.3. Evenwichtsdraagvermogen

Vanwege het lage draagvermogen van de bovenste grondlagen in Nederland, worden funderingen die relatief ondiep zijn aangelegd verbreed bij de aanleg, of er worden palen toegepast die op een diepere en vastere zandlaag steunen. In beide gevallen is er sprake van een evenwicht tussen de belasting van het gebouw en de grondweerstand. Een evenwichtsdraagvermogen is een matig ontwerp in een aardbevingsgebied; het heeft geen reserves.



Figuur 4-3. De grond druklijn.
Deze is naar twee kanten van de funderingsstrook. Bij een elastische kleigrond of slappe veengrond zal bij een trilling zowel de gronddruk als de gebouwdruk snel variëren en kan zetting in de fundering veroorzaken, vooral wanneer er om andere redenen al ongelijke spanningen in die fundering zitten.

Bij een oppervlakkige fundering ‘op staal’ hangt de grondweerstand ook af van het tegengewicht van de grond naast de fundering en de zijwaartse en opwaartse wrijvingsweerstand van de grond. Het tegengewicht van de grond hangt in sterke mate af van de aanlegdiepte van de fundering (schets; c x d), terwijl de wrijvingsweerstand in grote mate afhangt van de grondsoort en de vochtigheidstoestand.

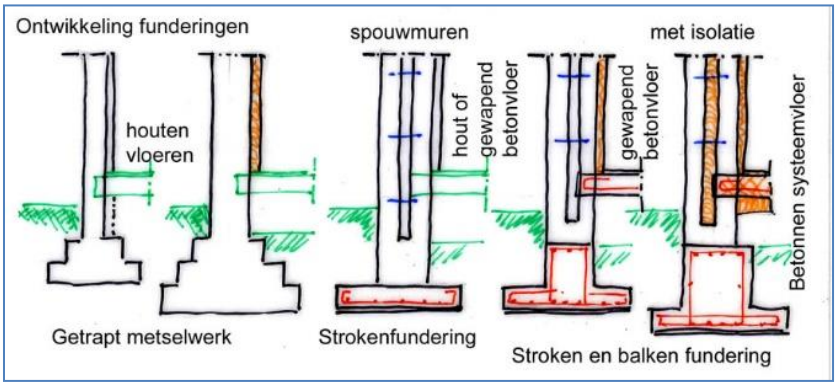


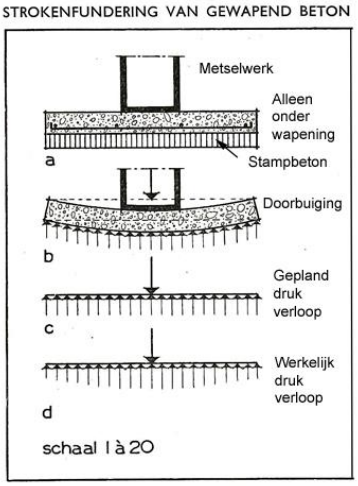
Figuren 4-4. Verticale P-trillingen. Deze verhogen de fundering belastingen.

Hierdoor kan naast een verkeersdrempel het evenwichtsdraagvermogen worden overschreden en zetting optreden. Dit gebeurt vooral bij zwaar verkeer.

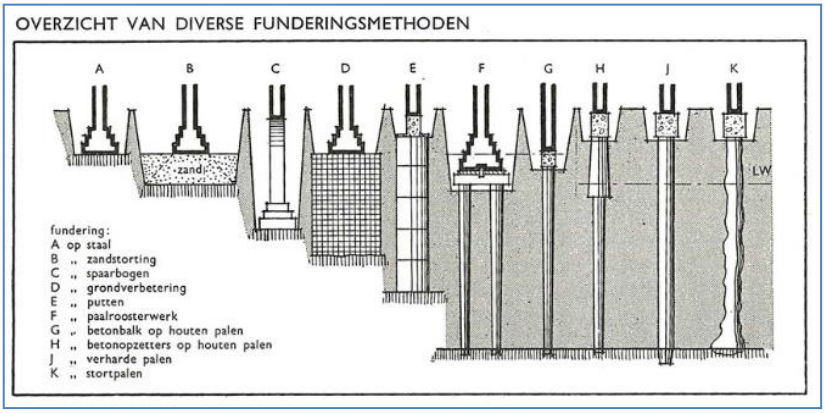
[189] Bij oude gebouwen werd vaak kalkmortel voegwerk gebruikt dat iets absorberend is. Het veel hardere cementmortel metselwerk geeft niet mee, en zal daardoor eerder scheuren. Dit is een van de redenen waarom bij een oud gebouw niet direct scheuren te zien zijn en het nieuwe gebouw dat ernaast staat wel.

Voor oude gebouwen (pré 1900) werd deze funderingsaanleg hoofdzakelijk gebaseerd op algemene ervaring, gecombineerd met ervaring van architecten en aannemers die in dezelfde buurt gebouwd hadden. Om het grote aantal scheuren vanuit de funderingen te verminderen wordt sinds 1970 in de fundering een gewapend betonnen plaat toegepast en in latere woningbouw een plaat en stijve balkconstructie.





Figuren 4-5. Ontwikkelingen funderingen. De strokenfunderingen met balken van na 1970 voorkomen bij kleine gebouwen ongelijke zettingen en spanningen in het bovenliggende metselwerk.

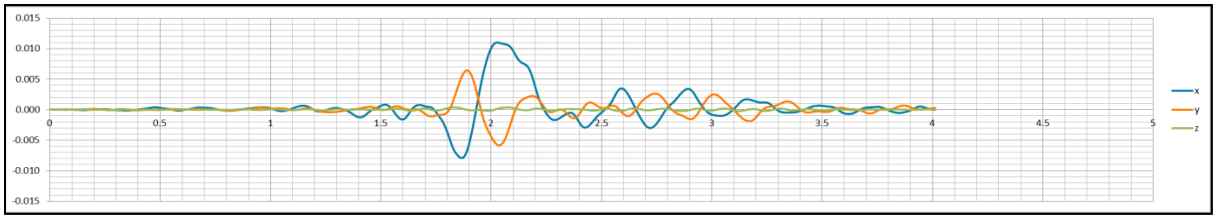


Figuur 4-6. Fundering types. Hoe dieper de fundering op de vaste zandgrond is aangelegd, hoe directer de aardbeving vanuit die ondergrond invloed zal hebben op het gebouw. Afbeelding uit Jellema Bouwkunde.

Op basis van gedetailleerd grondonderzoek kan men de noodzakelijke aanlegbreedte en -diepte berekenen[190]. Over het algemeen werd na 1970 de toelaatbare gronddruk ten gevolge van de gebouwbelasting berekend op de helft van de gemeten draagcapaciteit van de grond. De berekening van die draagkracht wordt gedaan voor zowel de droge als natte toestand, zoals bij cohesieve kleigrond, waarbij de laagste waarde bepalend is.[191]

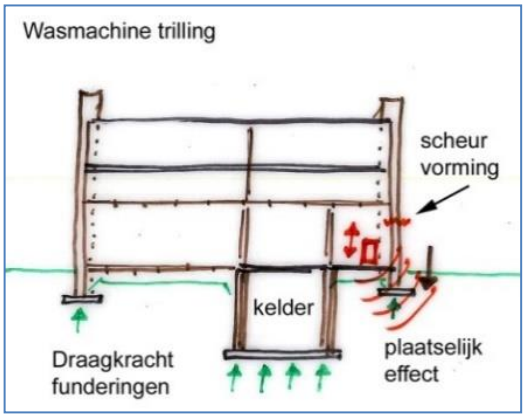
Bij een aardbevingstrilling zal de grond de fundering doen bewegen. Bij de Groningse geïnduceerde aardbeving is dit kortstondig (< 1 sec.), maar de elasticiteit van de constructie zal het gebouw doen natrillen, waardoor de terugkerende trilling ook belasting van het gebouw op de fundering levert. Hierdoor duurt de belasting op de grond onder de fundering iets langer, maar de vervolgtrilling in het gebouw is wel minder sterk dan de initiële schok. Dit fenomeen is te constateren door de plaatsing van trilling-meters in de fundering van een gebouw; deze geeft een langere trilling aan dan de aardschok in het epicentrum.[192] Deze laatste wordt met andere trilling-meters die niet in gebouwen zitten.

[190] In de provinciedorpen, werd vroeger dezelfde soort fundering aangelegd als dat bij de buurman gebeurde.
[191] De rekenmethoden zijn aangegeven in de nieuwe NEN-EN-1997-1 van Eurocode 7 uit 2005 (zie NEN 6744).
[192] Rond 2020 worden er in de provincie Groningen of in De Bilt nog steeds een 1000-tal trillingen per week waargenomen die weliswaar niet door mensen worden waargenomen maar wel invloed kunnen hebben op de gebouwde omgeving. Dat grote aantal komt door het hele land voor en is dan ook inclusief de trilling van een zware afvalcontainer die in Zwolle van een wagen valt.



Figuur 4-7. Bewegingsanalyse trilling.
Deze grafiek is van de eerste etage van een gebouw. De middenlijn geeft de tijd in seconden aan. Na de enkele grote schok die ongeveer 0,3 seconde duurt, zijn er een kleine na-trillingen tot het 4 seconden punt.

Een andere vorm waarbij de fundering van een licht gebouwtje extra kan zetten/zakken is bijvoorbeeld door de zeer frequente trillingen van een niet-gebalanceerde centrifuge van een wasmachine. Hoewel de korte (≈ 0,2 sec) aardbevingstrillingen in 2014 ongeveer een keer per week voorkwamen, maar ook gemiddeld een keer per week de was wordt gedaan, duurt de centrifuge van de wasmachine verschillende minuten en is daarom **≈ 2000 x zo belastend** als de sterkste aardbevingstrillingen.[193]



Figuur 4-8. Effect wasmachine-centrifuge.
Een ongebalanceerd centrifuge zal in een jaar tijd minstens 2000 x meer trilling-belasting op een gebouwtje geven dan een geïnduceerde aardbeving die een keer per week voorkomt en slechts 0,1 tot 0,2 seconden duurt. De schade werd vergroot door ongelijke zetting vanwege een kelder. Hoofdstuk 11 geeft verdere toelichting.

Het voorbeeld van wat de wasmachine in een hele korte periode doet, geeft aan wat over een lange periode van regelmatige kleine aardbevingstrillingen met een heel gebouw kan gebeuren. Een kleine ongelijke zetting in een fundering van 2 mm kan een zichtbare scheur in een brosse bakstenen muur van 2 mm opleveren. Meestal begint deze scheur bij een deur- of raamhoek als de zwakste plek in een muur. De scheuren zijn dan het beste zichtbaar in een gladde gepleisterde witgeverfde muur.

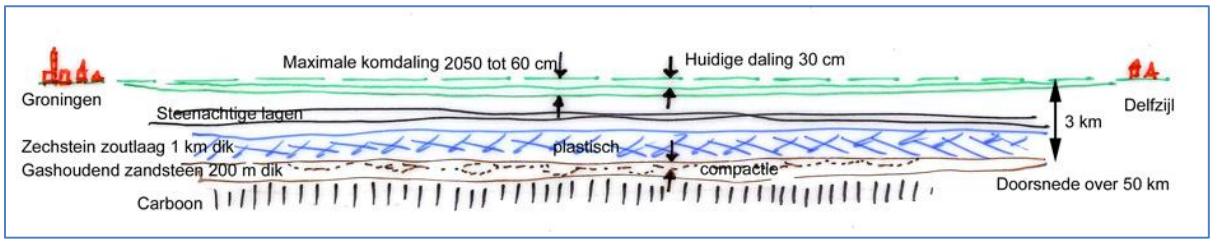
Om te bepalen of de scheurvorming alleen van de aardbevingen komt of ook andere oorzaken heeft, of door een aardbeving verergerd werd, is daarom **niet eenvoudig vast te stellen zonder gebouw- en funderingsonderzoek te doen** (EVS). Bij een combinatie van oorzaken is het ook erg moeilijk vast te stellen voor hoever de aardbevingen debet zijn aan de scheurvorming.[194]

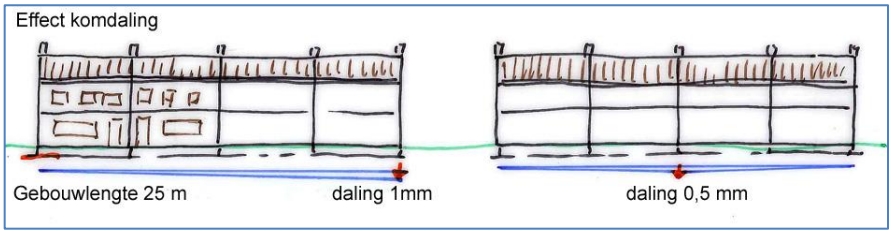
Kleine scheurvorming in draagmuren (< 3 mm) vormt geen constructief risico of een risico voor de veiligheid van de bewoners, tenzij het gaat om losse gebouwdelen die kunnen vallen zoals niet goed verbonden geveltoppen of hoge schoorstenen (Hoofdstuk 3).

4.4. Grondwaterstand wijziging en verzakking

[193] Het Hoofdstuk 11 geeft een voorbeeld van een dergelijke gebouwschade. Ondeskundige schade inspecteurs beoordeelden dit als aardbevingsschade. Het hele gebouw werd aanzienlijk versterkt. Blije woningeigenaar.
[194] Deze situatie heeft ertoe geleid dat sinds 2008 bij twijfelgevallen de schade erkend werden als B-categorie (A = aardbevingsschade, B = twijfelgeval, C = eigen gebrek) vergoed werd. De C-schade werd eerst niet vergoed, om kosten te besparen. Dat heeft weinig geholpen want eigenaren met veel C-schade eisten contra-expertise.

De verlaging/verhoging van de grondwaterstand kan een effect hebben op het draagvermogen van de fundering of verzakking van de fundering en inklinking van de ondergrond. Dit is het geval geweest in het zuiden van de provincie Groningen[195]. In het centrale gebied van de provincie Groningen is het grondwaterpeil verlaagd om gelijke tred te houden met de komvorming of bodemdaling die tot op 2012 ongeveer 35 cm bedroeg. Dit is ongeveer 60% van de totaal geschatte maximale zetting of compactie van 60 cm. De gasexploitatie is in 2012 ongeveer 65%, waarbij het blijkt dat de zetting de gasexploitatie volgt.





Figuren 4-9. De komdaling. Deze is heel gelijkmatig. Het leidt niet tot scheuren in de funderingen.

Het rapport voor de Commissie Bodemdaling van Deltares uit 2011 met titel "Gebouwschade Loppersum" en projectnummer 1202097-000 zet in hoofdstuk 3 op heldere wijze uiteen wat het effect van de aanpassing van het grondwaterpeil en de aardbeving trillingen kan hebben op een gebouw.[196] In het rapport wordt een maximale scheefstand van gebouwen van 1mm over lengte van 25 m aangegeven.

In hoofdstuk 6 van het Deltares rapport wordt gesteld dat de effecten van gaswinning zijn: (Quote)

- *Aardbevingen. Deze resulteren in trillingen in gebouwen.*
- *Vervloeien en verdichten van de ondiepe ondergrond door trillingen. Dit kan in lokale zettingen van de ondergrond onder de gebouwen resulteren.*
- *Komdaling. Dit resulteert in een algehele gelijkmatige zetting van de ondergrond in het winningsgebied.*
- *Peilstijging en peilverlaging. Met name de relatieve peilverlaging[197] kan in lokale zettingen van de ondergrond onder de gebouwen resulteren.* (Unquote)

Het tweede en vierde punt kunnen allebei tot scheuren in de fundering resulteren van gebouwen die op de vaste kleigrond zijn gebouwd zonder een doorlopende gewapende betonnen funderingsstrook. Peilstijging van het grondwater (door komdaling of bodemdaling) kan verwatering van de grond onder de funderingen veroorzaken waardoor ook zetting kan optreden. Ook in dit geval zal de smalle stroken fundering sneller zakken dan de brede keldervloer. Ongelijke aanleg tussen de kelder en de

---

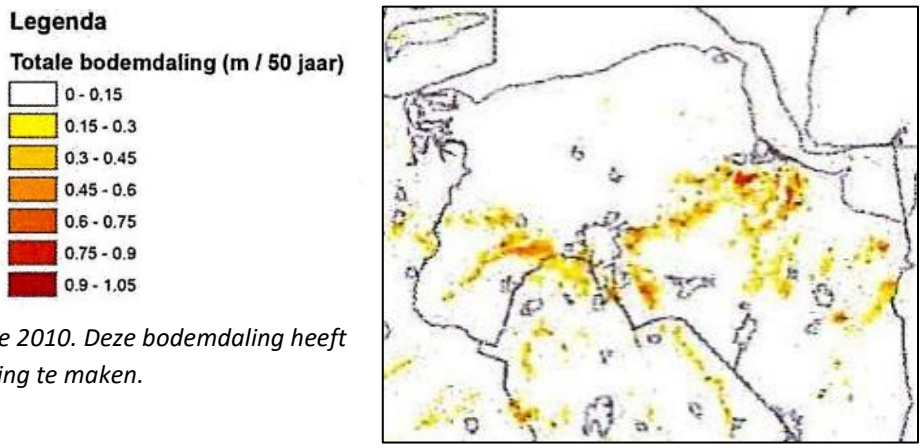
[195] Zie RUG samenvatting met oorzaken: http://www.scheurennietzeuren.nl/index2.php en over grondwater in het algemeen: http://www.google.co.uk/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0CCwQFjAC&url=http%3A%2F%2Fgemeente.groningen.nl%2Fnatuur%2Fdigitale-informatiefolder-over-grondwater&ei=kzHOU5y6OcaJOI3wgXA&usg=AFQjCNFf7gOnrSFUfakXbL4nOIb4LiEx9g

[196] Zie voor dit rapport: http://www.commissiebodemdaling.nl/files/1202097-000-BGS-0003-r-Gebouwschade%20Loppersum_def_par_20110421.pdf

[197] Relatieve peilverlaging gebeurt door plaatselijk de grondwaterstand te verlagen, wanneer deze eerder door bodemdaling hoger is komen te liggen ten opzichte van het maaiveld.

rest van de fundering is een van de belangrijkste oorzaken van scheuren en zichtbaar langs de keldermuur, naar boven in de gevel, soms tot aan het dak.

In een rapport van Arcadis[198] wordt vermeld dat bij de herinrichting van de veenkoloniën in het zuiden van de provincie (regio's Hunze en Aa) tijdelijk grondwateraanpassingen van tussen de 32 cm tot 80 cm hebben voorgedaan, maar dat in de betrokken centrale regio van de provincie Groningen zijn geen noemenswaardige effecten van deze tijdelijke daling geconstateerd.



Figuur 4-10. Bodemdaling. Afbeelding volgens Alterra TNO/Deltares studie 2010. Deze bodemdaling heeft niet direct met de gaswinning te maken.

In aanvulling op het bovenstaande kan als resultaat van klimaatverandering tot 2050 zich in de strook van Groningen stad naar Delfzijl zich ook bodemdalingen gaan voordoen van 30 tot 50 cm (verdamping etc.). Dit betekent dat de gronddaling t.g.v. klimaatverandering in bepaalde zones even groot zal zijn als de gronddaling door de gaswinning. Voor de agrarische bedrijven bestaat de noodzaak om het grondwater op een bepaald peil te houden, hetgeen per agrarisch productieseizoen kan fluctueren. Aansprakelijkheid voor gebouwschade in een komdaling gebied waar verschillende oorzaken aanwijsbaar zijn is daarom moeilijk aan te tonen.

Uit het bovenstaande blijkt dat komdaling of bodemdaling vanwege compactie van de gas-houdende zandsteenlaag kan leiden tot hele geringe scheefstand en verhoging van de grondwaterstand, en tot de noodzaak van plaatselijk aanpassingen of verlaging in het grondwaterpeil. Dit kan eerst leiden tot verwatering en daarna tot opdroging en daardoor tot scheurvorming bij gebouwen die ongelijke fundering dieptes en ongelijke grondbelastingpatronen hebben.

Uit het uitgebreide Arcadis onderzoek komt de volgende conclusies naar voren:

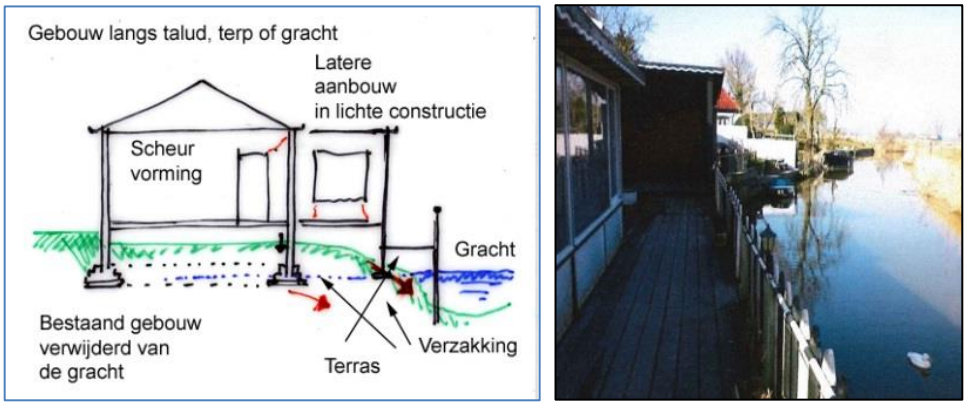
> (Quote): 2: *Een **grondwaterstandsverlaging** kan ook leiden tot krimp en rijping van kleigronden. Deze verschijnselen treden op boven de grondwaterspiegel door het uitdrogen van de bodem. Bij veen kan tevens oxidatie ontstaan doordat zuurstof in de bodem kan toetreden. Door krimp, rijping en oxidatie kunnen op staal gefundeerde gebouwen grote schade oplopen.*
>
> *3. Als het waterpeil minder wordt verlaagd dan de opgetreden bodemdaling is er sprake van een relatieve **peilverhoging**. Door een relatieve peilstijging kan reductie van de draagkracht van een staalfundering optreden en daardoor een toename van de zettingen plaatsvinden. Alleen in zeer bijzondere gevallen zal dit tot schade leiden; het betreft dan: funderingen die vrijwel tot de uiterste draagkracht zijn belast, waarbij de grondwaterstand juist onder, op of boven het funderingsniveau staat. Hierbij moet worden bedacht dat een fundering die vrijwel tot de draagkracht is belast daardoor al relatief grote vervormingen heeft ondergaan. (UQ)*

[198] Zie rapport Resultaten uit Alterra, TNO/Deltares studie, 2010. Bodemdaling tgv klimaatverandering. Fysieke bouwstenen voor de knelpuntenanalyse nieuwbouw en herstructurering. http://www.nedmag.nl/sites/default/files/downloads/Samenvattend%20onderzoek%20Arcadis%20hoofdoorzaken%20gebouwschade.pdf

Zetting-schade aan funderingen op de vaste en ongeroerde grond zal dus hoofdzakelijk voorkomen wanneer deze bij de bouw werden aangelegd op de grens van hun draagvermogen dat veelvuldig voorkomt bij gemetselde uitgetande of versneden funderingen uit de 18e eeuw. Ook bij erg goedkope en snelle bouw van de periode vanaf 1954 tot 1966 is dit vaak het geval, omdat pas in 1965 de eerste Model-Bouwverordening (MBV) werd gepubliceerd die betere technische eisen aan de bouw stelde.

Plaatselijke daling van de grondwaterstand kan veroorzaakt worden wisselende waterstanden in een kanaal dat langs de bebouwing loopt, of waar de bebouwing in een later tijdstip in de richting van het kanaal is uitgebreid. Ook een nieuwe fundering kan dan extra zetting ondergaan.

Figuren 4-11. Aanbouw verzakking. Deze kan anders dan de woning verzakken. Dit is het geval wanneer deze aanbouw vlak langs het kanaal is gemaakt en anders is gefundeerd.

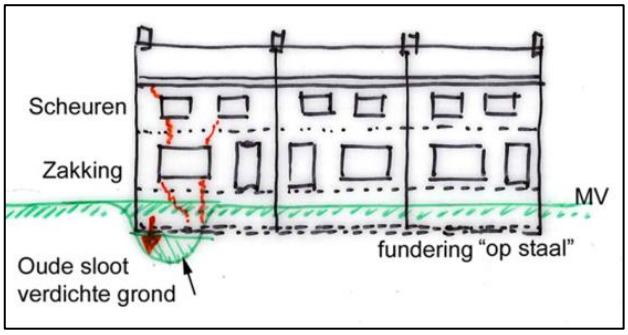


De bovenstaande schets met foto is een voorbeeld van wijzigingen in de gebouw-opzet en daardoor de belasting. De uitbreiding op een talud of langs de waterkant, waar van een andere gronddichtheid sprake is, is de oorzaak. Ofschoon deze aanbouw een lichtgewicht houten constructie is, trekt deze door zetting van de buitenfundering aan het oudere gebouw en veroorzaakt scheuren in het metselwerk van het oudere gebouw. Door aardbevingstrillingen of door het verder uitbaggeren van het kanaal kan de grond onder de uitbouw inklinken.

Figuur 4-12. Schade na uitbaggeren.
Dit betreft het kanaal Almelo-De Haandrik.
Ongeveer 300 woningen langs dit Twentse kanaal ondergingen verzakkingen door het uitbaggeren. De schade openbaarde zich langzaam over verschillende jaren. De schade veroorzaker is in dit geval ook verantwoordelijk voor het bouwkundig herstel.
Foto Volkskrant februari 2020.

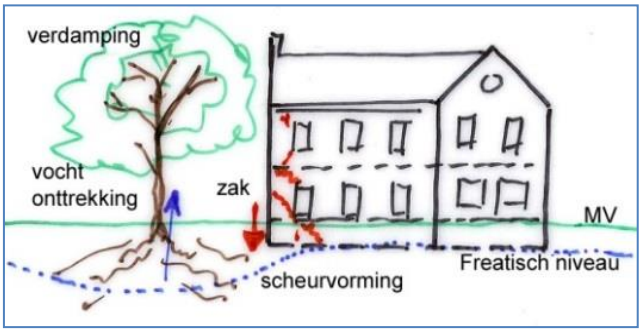
Tussen gelijke bouwdelen met een doorlopende fundering kan zetting ontstaan wanneer de grondslag niet homogeen is. Dit kan het geval zijn als er in de bouwkavel een oude, drooggelegde en ingevulde sloot ligt die niet herkend werd bij de planning of de uitvoering. De verminderde draagkracht van de grond onder het betreffende bouw gedeelte zal op de duur leiden tot plaatselijke verzakking en scheuren. Dit probleem kan echter ook door de uitvoering zijn veroorzaakt wanneer de aannemer de voorgeschreven grondverdichting niet heeft gerealiseerd.

Figuur 4-13. Plaatselijke verzakking.
Mogelijk bij een oude sloot.
Dit kan gebeuren wanneer de (opgehoogde) bouwgrond niet gelijkmatig is verdicht tot volledig gelijke draagkracht onder het hele gebouw.



Grondwaterstand kan erg plaatselijk veranderen door grote bomen die vlak bij de fundering staan. Bij oudere boerderijen die op een terp zijn gebouwd of waar rondom een sloot ligt komt het verzakken van de fundering vanwege dichtbij staande bomen die het vocht en voeding uit de bodem halen vaak voor. Dit is een regelmatig voorkomend schadegeval dat al gedurende vele jaren werd ontwikkeld.

Figuren 4-14.
Verdroging
en inklinking.

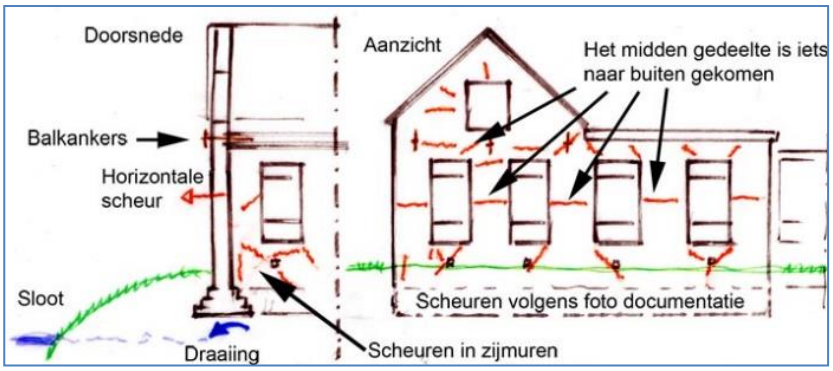


De boom of bomen onttrekken vocht en voeding aan de grond waardoor fundering vlak langs de bomen kunnen verzakken. De foto rechts geeft voorbeeld van een dergelijke situatie. De boom verwijderen helpt niet.

Figuren 4-15. Boerderij op een terp met bomen.
Overzicht en detailfoto's zijn van de linke gebouw hoek genomen. Door de kalkmortelvoegen is er eerst een vervorming ontstaan. Toen de vervorming te groot werd ontstonden er scheuren. In een vroeg stadium zijn de voegen dichtgesmeerd. Deze scheuren zijn groter geworden.

Bij sloten rondom boerderijen is het verzakken van funderingen een regelmatig voorkomend probleem. Daling en een lichte verdraaiing kanteling van de fundering veroorzaakt een horizontale scheurvorming over de gehele breedte van de gevel. Dit proces kan versneld worden door bomen die dicht bij het gebouw staan en vocht en voedingsstoffen uit de bodem halen (voorbeeld boven).

Figuren 4-16. Draaiing, verzakking buitengevel. De horizontale scheur in het midden duidt erop dat de fundering iets gedraaid is vanwege verzakking aan de slootkant.

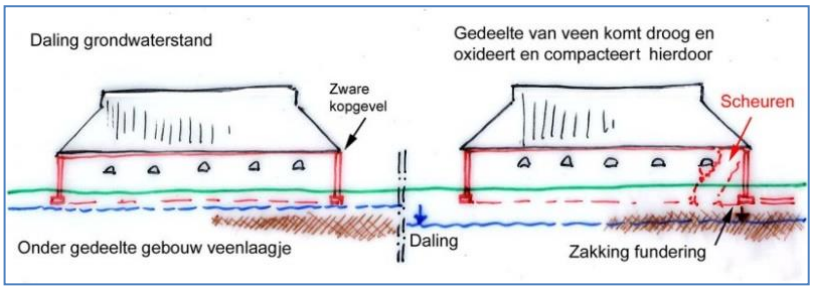


De midden lintvoeg scheur in de middelste foto boven is specifiek voor de draaiing in de fundering en beweging van het gebouw en in de richting van de sloot.

Bij gebrek aan een doorlopende plaat of balkfundering vindt dan plaatselijk verzakking of verwijding plaats. Wanneer een gebouw dergelijke gebreken heeft, is het verstandig eerst de hele fundering te verbeteren, voordat er andere kostbare verduurzamingen aan het gebouw worden uitgevoerd.

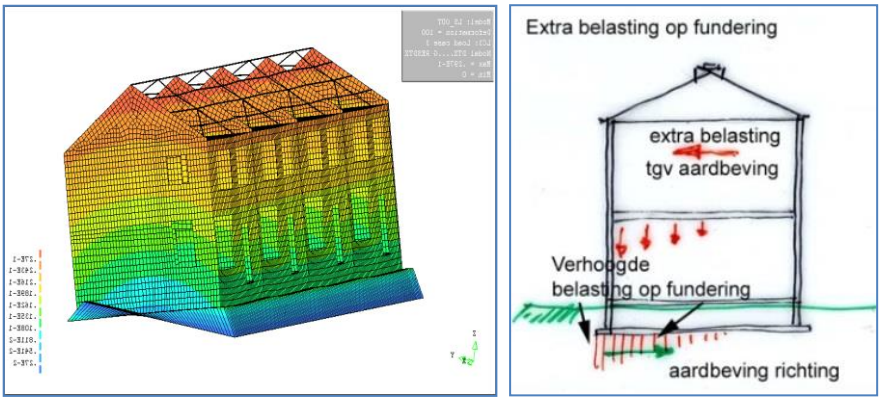
Het gronddraagvermogen kan in de provincie lokaal beïnvloed worden door kleine stukken laagveen en langdurige verlaging van het waterniveau. Hierdoor kan het laagveen uitdrogen en oxideren, waardoor krimp ontstaat. Om deze situatie te kunnen analyseren zijn **verschillende sonderingen** vlak langs de fundering van het gebouw noodzakelijk, en het opmeten van de funderingsaanleg.

Figuur 4-17. Gebouw op een stukje veen.
Hier is een gedeelte van de schuur op een andere grondslag gebouwd, wat tijdens de bouw niet zichtbaar was.



4.5. Veranderd fundering belastingpatroon door aardbeving

De horizontale schokbeweging van een aardbeving of andere trilling, die vanuit een zijwaartse richting komt, levert een extra funderingsbelastingen op die soms te vergelijken is met zware stormbelasting. De horizontale aardbevingsbelasting bij een PGAg 0,1 is ongeveer even groot als de maximale zijwaartse stormbelasting. Bij een nog hogere PGA zal door het kanteleffect een nog hogere verticale druk op de fundering komen. Hier moeten de funderingen van nieuwbouw op zijn berekend, maar bij oude gebouwen kan dat niet het geval zijn. Hoe hoger en zwaarder een gebouw is, hoe groter deze zijwaartse kracht en neerwaartse druk zal zijn.

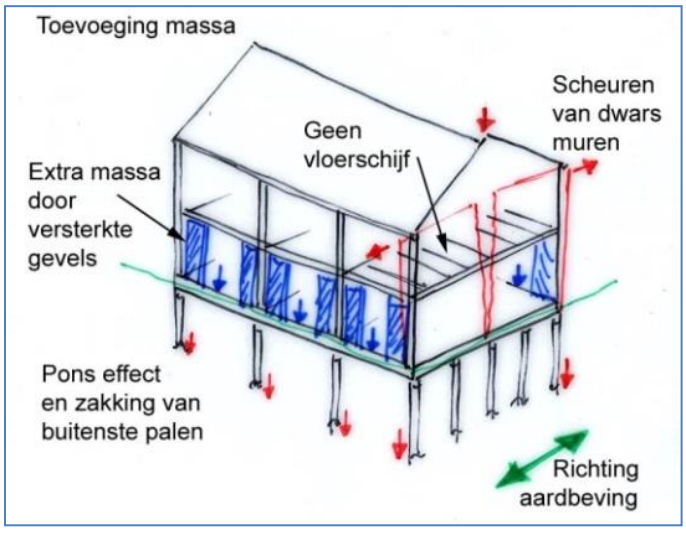


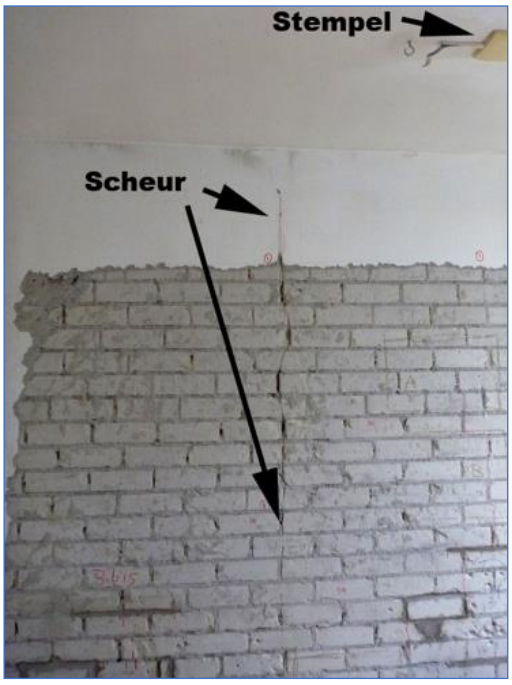
Figuren 4-18. Computertekening van belasting. Deze twee afbeeldingen geven aan dat het gebouw een extra belasting oplevert aan de kant waar de aardbeving vandaan komt.

Bij betonnen etagevloeren in systeembouw, zijn de verticale belasting op de funderingen groter dan bij houten vloeren. Paalfunderingen kunnen bij hogere belasting verder ingedrukt worden. Wanneer de gevels van een gebouw zijn versterkt en daardoor eventueel verzwaard, zal deze versterking op een bredere fundering moeten staan.[199] Dit geldt vooral voor paalfunderingen onder rijtjeswoningen. Als de draagkracht van deze gevelfunderingen niet wordt vergroot, kan het gebouw in de tussenmuren verticaal splijten wanneer de vloeren onvoldoende een sterk diafragma vormen met binding om de buitengevels bij elkaar te houden (houten balken, NeHoBo of prefab balkjes/broodjes of platen).

Bij een fundering op palen moeten er in de bovenstaande twee belasting gevallen (kanteling of verzwaring) extra palen onder de gevels worden bijgeplaatst. Bij een lichte vervorming (2 mm) van de funderingen zullen de muren boven de scheidingsmuur funderingsbalken gaan scheuren (ook 2 mm).

Bij oude woningwetbouw (1960-1970) staan de palen (beton of van hout met betonnen oplangers) ver uit elkaar en zijn de funderingsbalken vaak onvoldoende sterk om vervorming tegen te gaan. Zie onderstaand schadevoorbeeld van de Jarino woningen die uiteindelijk gesloopt werden.

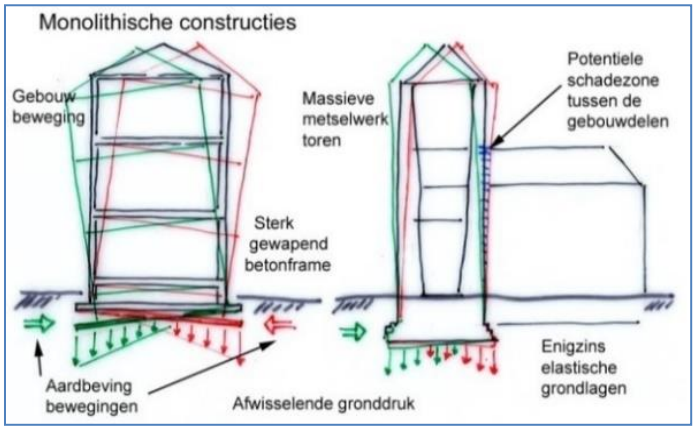




Figuren 4-19. De façade palenrijen. Deze woningen worden extra belast en kunnen dan ingedrukt worden. Wanneer dit tweezijdig gebeurt en er geen sterk diafragma (vloerschijf) op de etages is, zullen de scheidingsmuren verticaal scheuren.

[199] Als men een gevel van een rijtjeswoning gaat versterken wordt bij voorkeur eerst het buitenspouwblad van het gebouw verwijderd (waardoor er eerst minder massa is), waarna er een versterkte vliesgevel en thermische isolatie wordt aangebracht. Hierdoor neemt de massa weer toe.

Bij monolithische en stijve gebouwen zal het gebouw als een geheel bewegen. Dit is bijvoorbeeld het geval bij momentsterke giet- of tunnelbouw constructies[200], zware gewapend beton skeletbouw en bij massieve metselwerk constructies zoals kerktorens met hele dikke muren.



Figuren 4-20. Monolithische gebouwen. Deze zijn extra stijf waardoor de trilling-belasting direct terug naar de fundering wordt gevoerd en waardoor dit sneller tot zetting kan leiden. De hoge toren van de kerk is meer monolithisch dan het schip en heeft een andere trilling periode, waardoor het los zal scheuren van het schip.

In principe zal bij een dergelijke constructie de twee verschillende bouwvormen elastisch gedilateerd moeten worden, waarbij het dak dan niet vast aan de toren verbonden mag zijn.

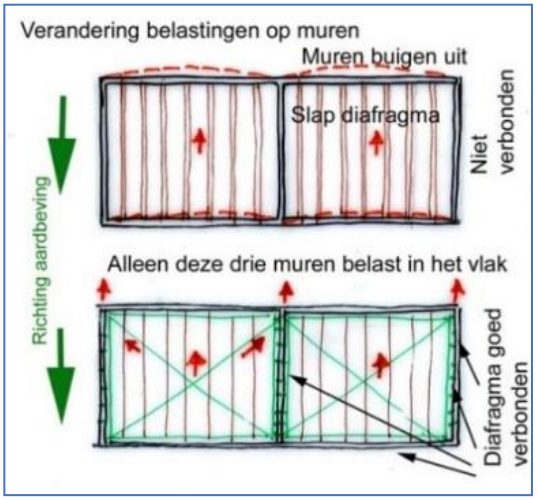
Bij gebouwdelen met verschillende eigen massa, stijfte, hoogte of trillingsfrequentie, kunnen scheuren tussen deze gebouwdelen optreden. In dit geval moeten de delen gedilateerd worden of alles op *Base-isolation* gezet. Bij dunne en iets vervormbare funderingsbalken (woningwetwoningen), ongewapend metselwerk, gebrek aan doorlopende lateien boven de openingen, geen verankerde vloerdiafragma's en dergelijke, zal het metselwerk van een niet-monolithisch gebouw scheuren.

4.6. Verandering van het belastingpatroon door diafragmaversterking

In Nederlandse woningbouw, komen veel dragende binnenmuren voor. Deze zijn vaak dun (10 – 11 cm) en niet voldoende aan de houten vloeren verbonden; soms slechts om de andere balk op de kop en vaak nergens aan de parallel lopende muren.

Om deze gebouwen te verduurzamen door ze seismisch te versterken moeten de etage **vloerdiafragma's sterker en stijver gemaakt worden, aan sterkere dragende binnenmuren verbonden worden én de funderingen verbreed.**

[200] Het gaat hier niet om het momentsterk maken van de verbinding, dat slechts voor komt bij de Nederlandse giet- of tunnelbouw of gewapend beton skeletbouw.

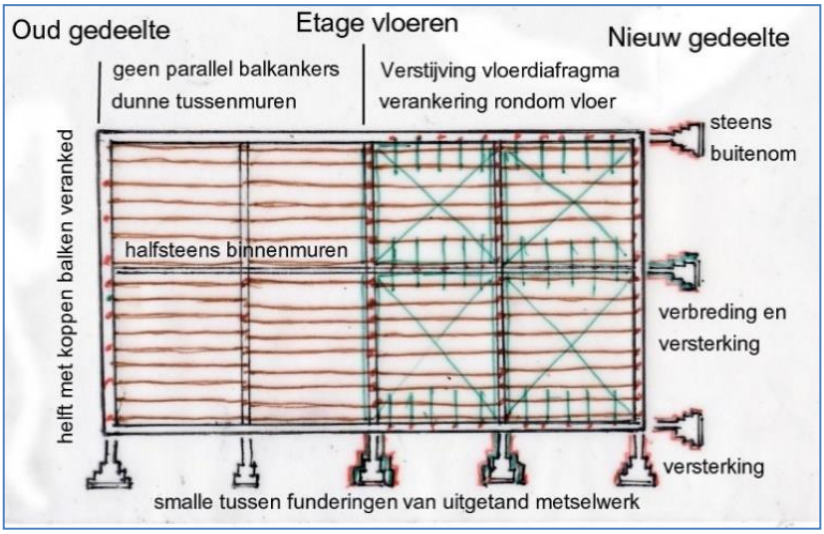


Figuur 4-21. Effect vloerdiafragma.
De aardbevingsbelastingen bij een flexibele vloer, worden via de balkeinden slechts op de balk-dragende muren uitgeoefend. Hierdoor buigen deze dragende muren uit in het midden (bovenste deel van schets). Deze muren zijn hiertegen niet bestand en zullen verticaal scheuren.
Wanneer het diafragma stijf is en goed verankerd, zullen hoofdzakelijk de parallelle muren (aan de aardbevingsrichting) in hun vlak belast worden, waarbij deze de belastingen op de funderingen overbrengen.
In de onderste schets krijgt de middelste muur in dit geval een 2x grotere belasting dan de buitenmuur, in vergelijking met de bovenste schets. De fundering moet dan daarop berekend zijn en verbreed worden.

Door de vloerverstijving en verbinding van de etage vloerdiafragma's aan alle muren, verandert de aardbevingsbelasting op de onderliggende muren waar ze aan verankerd zijn en de belasting op de funderingen. De binnenmuren krijgen vanwege het stijve diafragma een hogere belasting en moeten daarom versterkt worden om die hogere aardbevingsbelasting naar de fundering over te brengen. De funderingen onder die tussenmuren moeten dan ook verbreed worden. [201]

Bij dunne binnenmuren (halfsteens = 11cm) dienen deze dan tweezijdig versterkt te worden met Glasvezel- of Carbontextiel, dat doorloopt naar de funderingen, én **moeten deze funderingen verbreed** worden. Alternatief kan aan de tussenmuur een houtskeletbouw verbonden worden en de fundering verbreed. Bij ongewapende funderingen zoals uitgetand metselwerk, dienen de verbrede funderingen tegelijkertijd versterkt te worden.

Het verstijven en verbinden van de etagevloer diafragma's bij oude gebouwen heeft dus direct invloed op de muren en funderingen, waardoor deze beide onderliggende bouwconstructies aangepast moeten worden. Het versterken van de fundering kan een eenvoudige of uitgebreide operatie zijn, afhankelijk van de fragiliteit van het gebouw, de grondsoort onder het gebouw, het gewenste versterking- of verduurzamingsniveau en de toegepaste techniek.



Figuur 4-22. Funderingen verbreden.
Om gebouwen (seismisch) te versterken is het verbeteren van de vloerdiafragma's en muren en funderingen belangrijk.
Een verhoogde funderingsbelasting door het diafragma vereist een verbreding en versterking van die funderingen.

[201] Hoofdstuk 6 geeft verschillende opties voor de versterking van muren.
Hoofdstuk 8 geeft verschillende opties voor het maken en versterken van vloerdiafragma's.

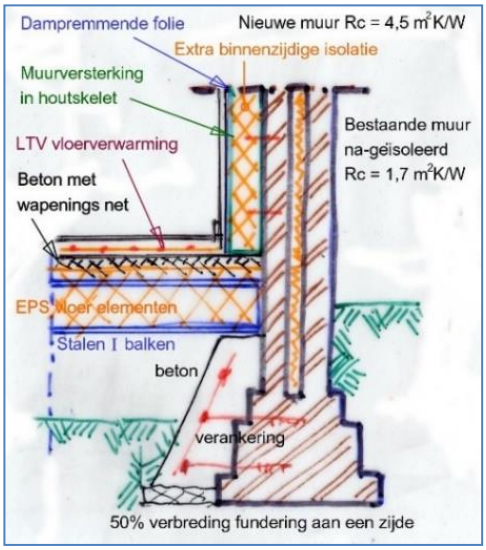
Bij oudere vooroorlogse gebouwen met houten begane grond vloeren[202] kan een fundering verbreding in combinatie met een goed geïsoleerde vloer (met LTV) op vijf verschillende manieren worden gemaakt.[203]

a. Verwijderen van houten vloer en aanleg van ⊥ balkjes met EPS-elementen met betontop.
b. Behouden van houten vloer en alleen de fundering verbreden. Hierbij moet de kruipruimte voldoende hoog zijn en de dekvloer tijdelijk verwijderd om bij de binnenmuren te komen.
c. Verwijderen van houten vloer, storten van isolerend schuimbeton, maken van een platform fundering met inkassingen en storten van een doorlopende gebouw-dragende betonvloer.
d. Het aanleggen van een nieuwe gebouw-dragende fundering op perspalen.
e. Een compleet *Base-isolation* systeem, hetgeen een dubbele fundering inhoudt.

De methode a) is het meest toegepast, waarbij voor renovatie vaak metalen **I** balkjes gebruikt worden vanwege het lage gewicht (duurder dan beton maar makkelijk hanteerbaar). Voor nieuwe funderingen worden meestal de goedkopere betonnen prefab ⊥ balkjes gebruikt.

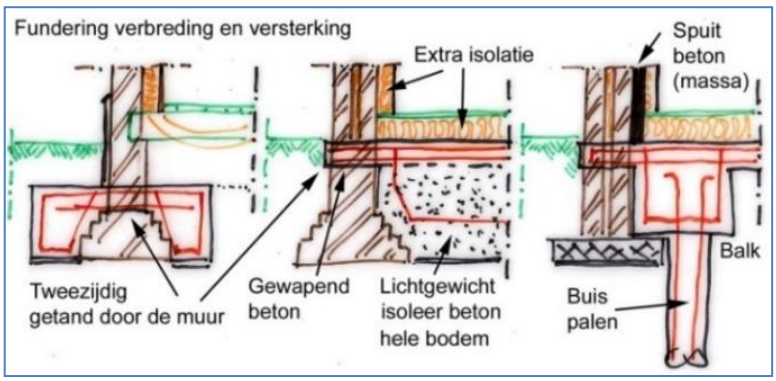
Figuren 4-23. Verwijderde houten vloer.
Toepassing van een aangestorte plint en metalen ⊥ of **I** *balkjes met EPS-isolatie elementen en beton druklaag.*

<u>Links</u>. Combinatie van fundering verbreding, nieuwe EPS-vloer met LTV en versterking muur met houtskelet frame + isolatie.
<u>Rechts:</u> Betonnen ⊥ *balkjes met EPS-vloer elementen bij renovatie en verduurzaming.*



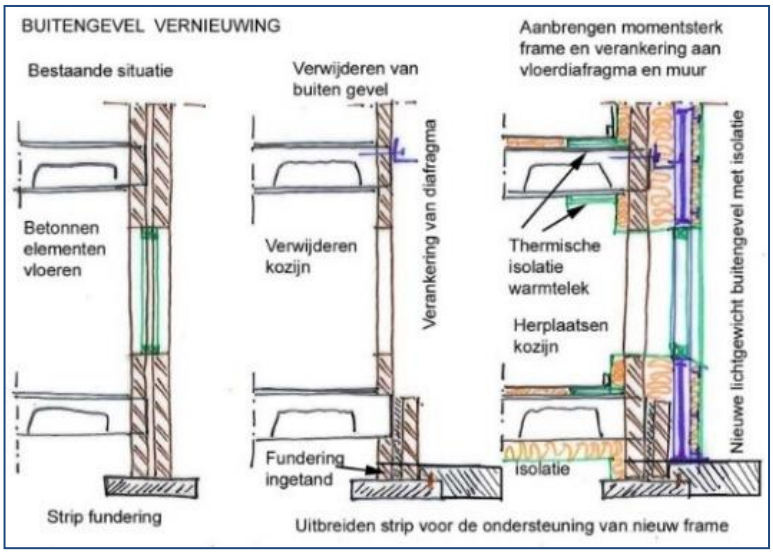
[202] Met onvoldoende kruipruimte onder de vloer zal het moeilijk zijn om thermische isolatie aan te brengen. Houten vloeren kunnen houtrot hebben. Het isoleren van houten vloeren aan de bovenkant en het installeren van LTV vereist een degelijke houten vloer en aanpassing van de onderkant van de deuren (afzagen).
[203] Voor gedetailleerde informatie zie: Voerisolatie op www.nienhuys.info

De toepassing van de andere methoden b), c), en d) zijn geschikt voor grotere verbredingen en versterkingen van de fundering, en afhankelijk van de gebouwomstandigheden en grondsoort. Geen van de methoden zal de aardbevingsbelasting op de fundering doen verminderen.



Figuur 4-24. Toevoeging gewapende betonstrook.
Deze wordt aan een of twee zijden van de bestaande fundering gestort.
<u>Midden.</u> Platformfundering onder het gehele gebouw toegevoegd op een lichtbeton laag.
<u>Rechts.</u> Nieuwe gewapend betonvloer onder het hele gebouw met nieuwe buis/pers-palen onder de nieuwe betonbalken.

Bij het buitenzijdig versterken zou eerst het buitenspouwblad van naoorlogse woningen verwijderd moeten worden. Dit verlaagt de massa en er wordt geen binnenruimte verloren door de isolatie. Bij vooroorlogse woningen met steens buitenmuren (22 cm) kan het buitenspouwblad niet verwijderd worden en zijn óf binnenzijdige isolatie óf buitenzijdige isolatie de opties.



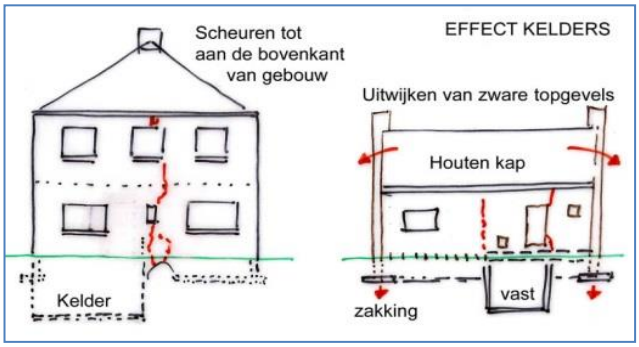
Figuur 4-25. Buitenspouwblad verwijderen.
Bij het buitenzijdig versterken van muren kan in veel gevallen het buitenspouwblad verwijderd worden en een nieuwe, sterke en goed geïsoleerde gevel teruggeplaatst, inclusief hoogwaardig geïsoleerde kozijnen of puien met triple glas. Hierdoor blijft de massa van de constructie gelijk en hoeft er minder aan de fundering veranderd te worden.

Bij kleine (rijtjes)woningen zal binnenzijdig muren versterken en isoleren relatief veel ruimte opeisen. Een trap of toilet kan niet smaller gemaakt worden, terwijl ook kleine slaapkamers te klein kunnen worden voor een 2 m bed. Voor monumenten waar niets aan de buitenkant gewijzigd mag worden is binnenzijdig isoleren en versterken vaak de enige oplossing. Dunne isolatieopties met hoogwaardig isolatiemateriaal zijn echter mogelijk, maar kosten meestal meer dan de dikkere en goedkopere isolatiematerialen[204]. Bio-based isolatiematerialen vragen juist meer dikte. Bij fragiele monumenten zal een kostenberekening moeten uitwijzen of een dubbele fundering met *Base-isolation* een goedkopere oplossing is dan het hele gebouw versterken. Dit hangt af van het gekozen systeem. Naderhand zal het monument geïsoleerd moeten worden waarbij ook binnenruimte verloren gaat.

4.7. Kelders en gemetselde uitgetande funderingen

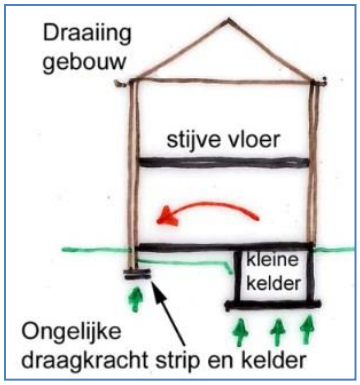
[204] Meer informatie over triple glas en DUNNE binnenzijdige isolatie zie 1ste pag. website www.nienhuys.info

Oude woningen in de provincie Groningen zijn vaak ‘op staal’ gebouwd en hebben uitgetande metselwerk funderingen. Deze zijn per definitie het zwakste soort constructies. Deze funderingen dienen verduurzaamd te worden door ze te versterken. De oude ‘op staal’ gefundeerde gebouwen hebben onder de zwaarst belaste buitenmuren al bredere funderingen dan onder de lichter belaste binnenmuren, zodat de statische druk van het gebouw op de ondergrond gelijkmatig onder de hele fundering verdeeld is. Toch zullen deze gebouwen in de periode vlak na de nieuwbouw meestal enige zetting ondervinden. Dit is altijd het geval bij woningen die onder een gedeelte van het gebouw een kelder hebben. De dieper aangelegde kelder heeft niet alleen een bredere fundering, maar de grondslag is ook vaster.



Figuur 4-26. Woningen met een kleine kelder.
Bij woningen ‘op staal’ met een kleine kelder onder een gedeelte van de woning zitten boven die kelder bijna altijd scheuren die langs de zijkanten van de kelder in de gevels zichtbaar zijn.
Vaak lopen die door tot aan het dak.

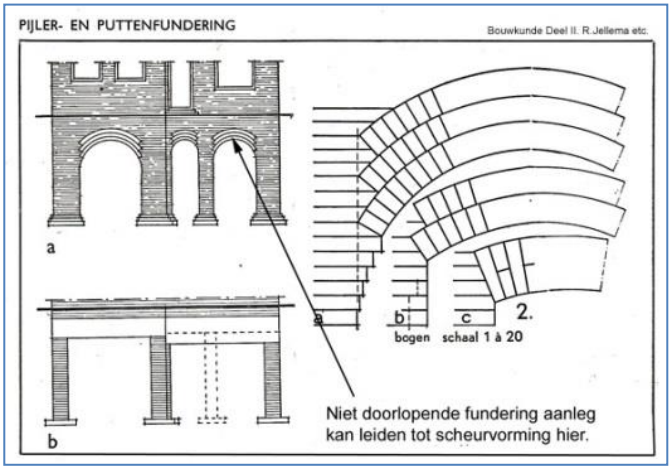
Scheuren vanwege dergelijke zettingen hebben geen consequentie voor de sterkte van het gebouw. Verdere verbreding van de scheuren kan voorkomen worden door de toepassing van lintvoeg wapening over de hele hoogte en over voldoende breedte.



Figuren 4-27 Kelder scheuren.
<u>Boven</u>. Bij een stijve vloer in combinatie met een kleine dieperliggende kelder, zal het niet-onderkelderde gedeelte van de fundering verbreed moeten worden vóórdat seismische versterking of verduurzaming van dat gebouw kan worden gerealiseerd.

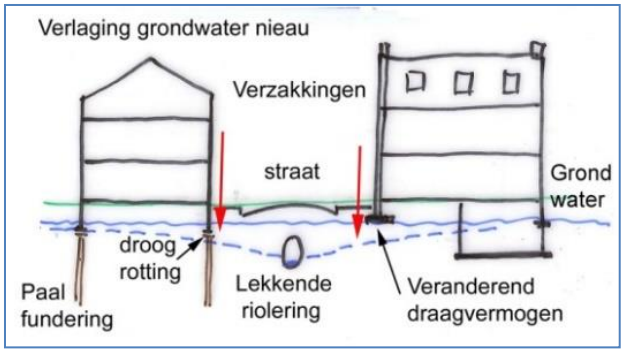
<u>Rechts.</u> Dit grote in kalkmortel gemetselde steens gebouw (>> 100 jaar oud) met houten vloeren en palfond, heeft kelderramen in het trasraam (donkere kleur, hardere steen). Links is duidelijk de vervorming en zetting van het linker deel te zien, ten opzichte van het kelder gedeelte rechts. De oude scheuren zijn met een lichtere mortel ingevuld. Ook zijn er scheuren te zien boven het linker raam en middelste raam. Bij een aardbeving in het vlak van de gevel kan de linker gevel verder gaan wijken als er geen zolder diafragma aanwezig is. Het gebouw valt dan uit elkaar.

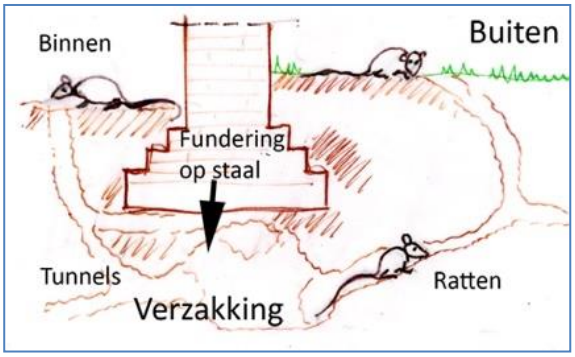
Door boogconstructies toe te passen en de aanlegdiepte overal gelijk te houden tussen de kelder en de overige muren kan zettingsverschil vermeden worden. Echter, bij een volledige en overal dragende keldervloer is de gebouwdruk onder de keldervloer toch veel lager dan onder de muurfunderingen. Speciaal in vochtige kleigrond zal dat op de duur zetting opleveren, en dus scheuren. **Zonder doorgaande gewapend betonnen funderingsstrook en balk** blijft het mogelijk dat zettingen ontstaan, die dan weer leiden tot scheuren op maaiveld niveau.



Figuur 4-28. Fundering dieper aangelegd. Het is noodzakelijk dat de gronddruk onder elke kolom gelijk is en dat de toogconstructies geen zijwaartse krachten opleveren die buiten de fundering basis vallen. De buitenste fundering penanten zijn daarom extra breed en dieper aangelegd. Fundering tekening uit Jellema Bouwkunde.

Veel funderingen in de provincie Groningen zijn ontworpen of uitgevoerd op ≈ 50% van het grond draagvermogen[205]. Door oorzaken zoals vocht en verkeerstrillingen kunnen deze funderingen verder gaan zetten, waardoor scheuren in de muren kunnen ontstaan. Ook door oorzaken zoals slechte regenwater drainage, verandering van het grondwaterpeil en begroeiing kunnen zettingen en scheuren ontstaan. Door aardbevingen kunnen deze zettingen en scheuren groter worden.





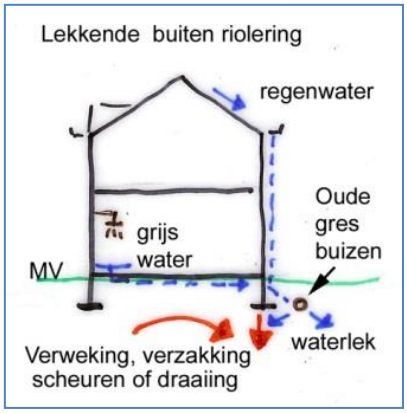
Figuren 4-29. Kapotte, lekke hoofdriolering.
Links. Een lekkende hoofdriolering kan plaatselijk het grondwater doen dalen en een houten funderingen doen aangetasten. Bij verdroging van kleigrond kan enige zetting ontstaan. Rechts. Ondergraving van muizen en ratten kan de grond doen inklinken.

Het zijn vooral deze **oude funderingen die enerzijds extra verbreding nodig hebben,** en waarbij anderzijds **de hele funderingsstrook over de hoogte van ongeveer 1 m versterkt moet worden**, om het verder zetten en scheuren tegen te gaan[206].

[205] In de dorpen werden belendende nieuw te maken woningen van dezelfde hoogte en soort gebouwd op ervaring en de funderingen werden aangelegd overeenkomstig met wat men in dat dorp gewend was.
[206] De hoofdstukken over scheuren in muren en lateien geven meer informatie over dit thema.

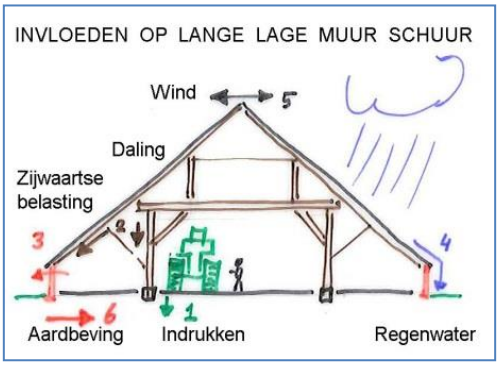
Figuren 4-30. Woningen met gresbuizen.

De gres-rioleringen lopen langs de fundering en voeren het regenwater en het rioolwater af naar het straatriool. Bij veroudering gaan de verbindingen tussen de korte stijve pijpen lekken. Het regenwater treedt uit de buizen en kan het draagvermogen van de fundering aantasten.



Een probleem, dat veelvuldig voorkomt bij grote schuren is de verzakking en kanteling van de lange buitenmuren van deze schuren die het gevolge zijn van de verzakking van de poten van de gebinten. Deze staanders zijn vaak op kleine losse funderingsplaten gezet.[207]

Figuren 4-31. Verzakking van staanders. De staanders hebben een kleine fundering. Door zwaar verkeer (1) en windbelasting (5) kunnen ze zakken. De daksporen drukken de lange zijmuren (3) naar buiten. Regenwater (4) kan zonder goten de smalle funderingen.

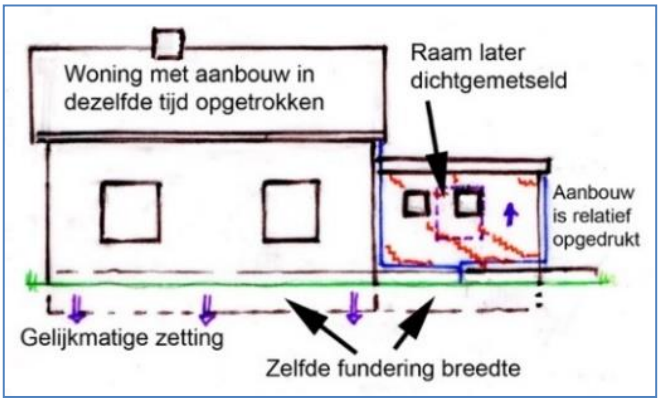


De flexibele houten constructie van de grote gebinten schuur, in combinatie met een grote verkeersbelasting (1) en windbelasting (5) drukt de buitenmuren opzij. Verweking van de grond onder de fundering door niet afgevoerd regenwater (4) kan de meestal zeer kleine en ondiepe funderingen van deze lange zijmuren ondermijnen. Gebrek aan goten en gebrek aan onderhoud zijn hier dan de basisoorzaken.[208]

Deze lage zijmuren van de grote schuren zijn nooit ontworpen als draagconstructies voor het dak, maar slechts als windafsluiting. In goede economische tijden werden deze zijmuren door de eigenaar periodiek (50-100 jaar) opnieuw opgebouwd. Omdat deze oude stallen **niet meer voor vee worden gebruikt**, **raken ze in verval**; bovendien is de provincie Groningen al jaren een economische krimpregio waar investeringen in deze oude gebouwen niet meer werd gedaan.[209]

Er is sprake van een ontwerpfout[210] of uitvoeringsfout wanneer zowel het hoofdgebouw als de lichte aanbouw tegelijk zijn gebouwd (zelfde baksteensoort), en op dezelfde manier gefundeerd. Het zwaardere hoofdgebouw zal daardoor een paar mm méér zakken dan het lagere gedeelte.

[207] Zie ook Hoofdstuk 10 De Gebintenschuur.
[208] Gebrek aan goten kan ook veroorzaken dat bij oude daken asbest in de grond naast de fundering komt.
[209] Wanneer de agrarisch bestemming vervalt, kunnen ze voor andere doeleinden gebruikt worden en kan het de moeite zijn om ze constructief op te knappen en in gebruik te nemen.
[210] Meestal worden kleine aanbouwen niet ontworpen, maar door kleine aannemers uitgevoerd.



Figuren 4-32. Latere aanbouw.

Het gedeelte van het woonhuis links (twee etages) is iets meer gezet dan de lage/lichte begane grond uitbouw rechts.

<u>Boven.</u> Een groot hoekraam van de destijds beschadigde uitbouw is in het verleden dichtgemetseld en de openstaande diagonale scheuren ingevuld.

<u>Rechts.</u> Het invullen van nieuwe scheuren die misschien na een aardschok zijn ontstaan geeft geen garantie dat er niet opnieuw scheuren zullen ontstaan.[211]

Sinds het vaststellen van de eerste Woningwet in 1901 is het wegverkeer steeds intensiever en zwaarder geworden, bovendien zijn er sinds 1980-1990 in veel woonwijken <u>verkeers- of snelheidsdrempels</u> aangelegd. Zware voertuigen die snel over een verkeersdrempel of andere ongelijkheid rijden veroorzaken trillingen die zich als golven door slappe (klei)grond verplaatsen. Deze oppervlakte golven of Rayleigh golven bewegen de funderingen en deze kunnen daardoor op dezelfde manier scheuren veroorzaken als aardbevingstrillingen. [212] Vooral bouwwerken met smalle funderingen verzakken makkelijk door deze verkeerstrillingen.

Wanneer zwaar verkeer boven de toegestane snelheid over een verkeersdrempel rijdt, dan zullen gebouwen die binnen 50 m van die drempel staan een sterke beving ondervinden. Het is echter moeilijk om de mate van schade aan dat verkeer toe te schrijven, of chauffeurs te vervolgen. Wanneer de scheur groter wordt door geïnduceerde bevingen kan er wel een schadeclaim ingediend worden, echter de oorzaak ligt ook in het zware verkeer en de drempel. Door verkeerstrillingen kunnen spanningen in de muur zijn ontstaan die bij een aardbevingsschok dan in een barst resulteren.

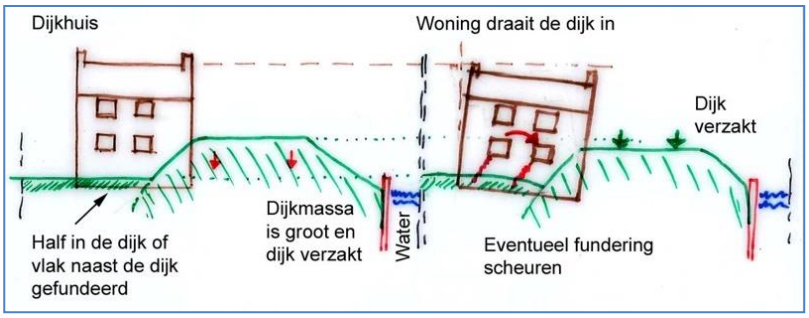
Bij een beoordeling van een gebouwschade dient de schade-inspecteur met deze verschillende invloeden rekening te houden. Het bestuderen van de wegen en het soort verkeer uit de onmiddellijke omgeving is daarom belangrijk.

[211] Bij dit soort van deze en eerdere situaties kan veel discussie ontstaan over de oorzaak van de laatste schade en wie voor de reparatie kosten moet opdraaien. Door het gebrek aan een financieringsregeling kunnen deze kwesties lang onopgelost blijven en uiteindelijk heel veel geld kosten aan arbitrage.

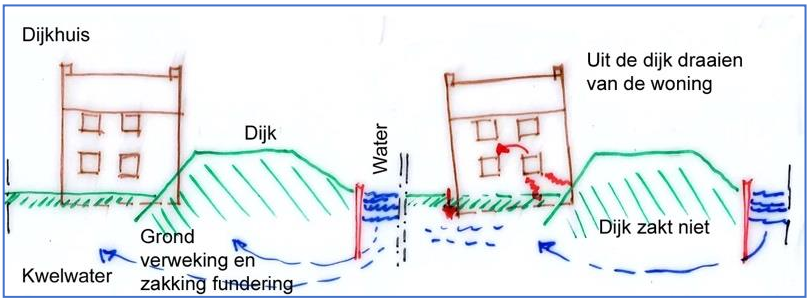
[212] Zie: http://www.verkeerskunde.nl/internetartikelen/internetartikelen/verkeersdrempel-als-veroorzaker-van.37256.lynkx

Figuren 4-33. Verkeersdrempel.
<u>Links.</u> De rechterhoek van de schuur is verzakt vanwege de trillingen van zware vrachtwagens (van het eigen bedrijf?) die regelmatig vlak langs deze hoek rijden. <u>Rechts.</u> Aan de scheur is te zien dat deze vroeger al een keer is ingevuld. De verkeersdrempel heeft ook invloed op de andere verder weg staande boerderijgebouwen links.

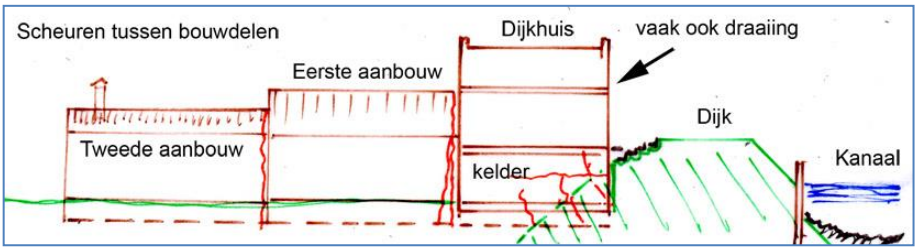
<u>Dijken</u> hebben meestal een trapeziumvormige doorsnede, een breed fundament en een grote massa. De brede basis zorgt ervoor dat de grote, hoge grondmassa niet wegzakt in de zachtere ondergrond. Dat gebeurt meestal toch en wel met een tempo van tot wel 1 cm per jaar. Door trillingen van aardbevingen, de voelbare en de niet voelbare, kunnen de dijken en damwanden verder inzakken.[213]



Figuur 4-34. Draaiing van dijkwoningen. Deze kunnen gedeeltelijk boven op het dijklichaam staan.
*Deze werden zowel in de dijk als gedeeltelijk ernaast gebouwd en zullen daarom **altijd** verschillende zettingen aan de voor- en achterkant van het gebouw ondervinden.*



Figuur 4-35. Kwelwater en verweking. De grond achter de dijk kan verweken.
Hierdoor kan het achterste gedeelte van de fundering verzakken, waardoor de woning van de dijk af draait.

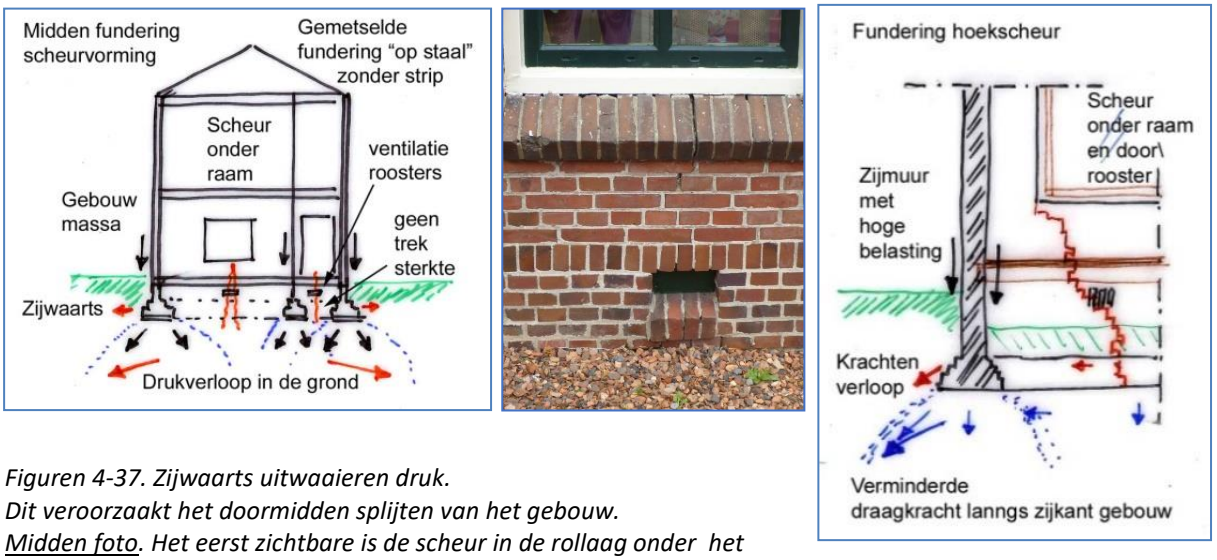


Figuur 4-36. Latere aanbouwen.
Bij latere aanbouwen kunnen makkelijk scheuren tussen de bouwdelen ontstaan wanneer ze niet goed gedilateerd zijn.

4.8. Zijdelings wegdrukken van funderingen op staal

[213] Zie: https://www.binnenlandsbestuur.nl/ruimte-en-milieu/nieuws/dijken-bij-groningen-trillen-door-aardbevingen.9060983.lynkx

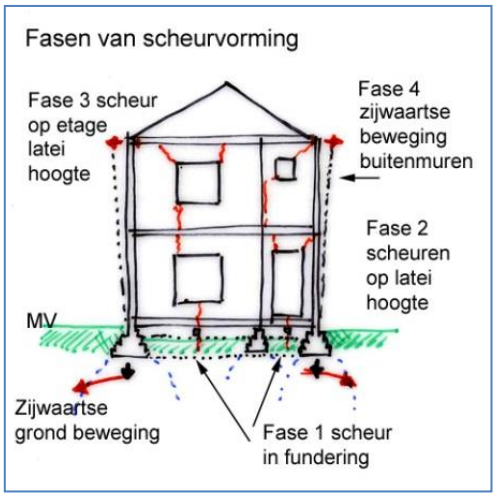
De cohesieve kleigronden[214] die onder constante funderingsdruk staan kunnen of zullen geleidelijk iets vervormen. De druklijnen onder de fundering waaieren naar weerszijden uit, maar de gronddruk kan slechts naar buiten het gebouw verminderen, waardoor er een verbredende kracht onder het gebouw ontstaat. Dit is de oorzaak van kleine scheurvorming vanuit de fundering als er geen gewapend betonnen stroken fundering is toegepast met wapening in de lengte (dit is <u>fase 1</u>).



Figuren 4-37. Zijwaarts uitwaaieren druk.
Dit veroorzaakt het doormidden splijten van het gebouw.
<u>Midden foto</u>. Het eerst zichtbare is de scheur in de rollaag onder het raam en door de ventilatieopening.
<u>Rechtsboven</u>. Aan de zijkant van de gevel zal de scheurvorming aansluiten op de raamopeningen.
Dit proces van verwijding en de scheurvorming kan zich naar boven toe uitbreiden, wat meestal boven deur- en raamopeningen gebeurt.

Een gebouw met steens-muren dat dit scheurpatroon heeft zal niet direct instorten, maar voor het technisch verduurzamen van dat gebouw zal de gehele fundering verbeterd (versterkt en/of verbreed) moeten worden.

In een <u>fase 2</u> zullen de scheuren van de bovenkant van de ramen of deuren naar de zijkanten van de gevel lopen. Dit is vooral het geval wanneer er geen trek-vaste lateiconstructie bestaat en de latei een korte oplegging heeft. Dit is het geval bij bijna alle woningen, ook moderne. Zie ook paragraaf 4.9.

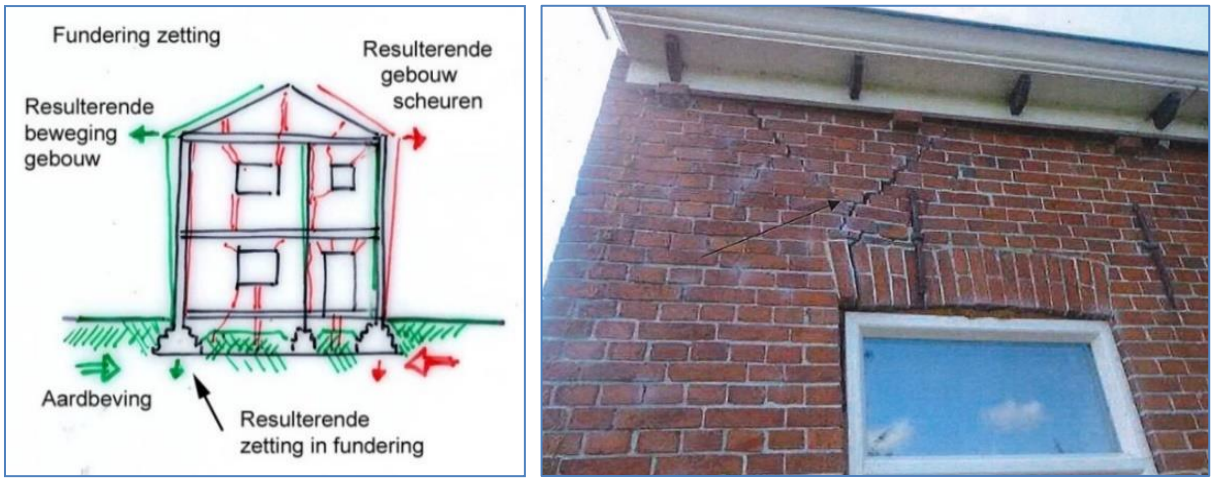


Figuur 4-38. Scheuren naar boven.
Bij een lichte aardbeving zullen de scheuren ook naar boven doortrekken. Wanneer de scheuren eenmaal zijn gevormd kunnen ze niet meer dicht gedrukt worden omdat er gruis van de breuk in de scheur zal vallen.
Bij fasen 3 en 4 is er een verdere verwijding te zien en steeds hoger in het gebouw.

Bij <u>fase 3</u> zal ook de bovenliggende etage gaan scheuren vanuit de raamhoeken wanneer de bovenliggende vloer als **vloerdiafragma het gebouw niet bij elkaar houdt**.

[214] Zie: www.vliz.be/imisdocs/publications/264834.pdf door P. GEUZENS, grondmechanica.

In fase 4 kunnen de buitenmuren gaan verwijden, vanwege de zakking van de buitenmuren ten opzichte van de binnenmuren. Vooral bij lage woningen zonder trek-vaste muurplaat of diafragma op plafond niveau wordt deze verwijding waargenomen. Bij gebouwen met twee of meer etages dient het vloerdiafragma van de etagevloeren met goede verbindingen tussen de vloeren en de muren deze verwijdingskrachten op te nemen.



Figuren 4-39. Toename van scheuren. Links. Door het kantelen van het gebouw tijdens een beving zal de funderingsdruk afwisselend toenemen en afnemen bij het toenemen kan de scheur verder ontwikkelen.
Rechts. In oude gebouwen zitten geen lateien; de togen krijgen scheuren op de hoeken en gaan dan verzakken. De toog produceert een zijwaartse druk die niet door de bovenliggende massa wordt weerstaan. In nieuwere gebouwen zijn de lateien te kort opgelegd om afschuiving te weerstaan, waardoor de muur boven de einden van de lateien scheurt.[215]

In de bovenstaande situaties zijn het de bouwnormen of de gangbare standaard van bouwen uit het verleden die tot dit type fundering hebben geleid en tot scheurvorming. Door zetting en verschillende externe oorzaken zoals verkeersdrempels of aardbevingen zullen deze scheuren groter worden.

Bij voortdurende bevingen zullen deze gebouwen seismisch versterkt moeten worden. Dat is dan niet alleen door het inbrengen van lintvoegwapening in de muren, maar ook in het verbeteren van de fundering, zodat deze niet meer verzakt. Dat kan een verbreding zijn, versterking, opdrukken en perspalen naar een vaster zandpakket. Bij perspalen is ook versterking van de fundering nodig.

4.9. Verduurzamingsopties voor funderingen

Bij scheuren in de buiten- en binnenmuren vanwege aardbevingen hebben een variëteit van bouwkundige omstandigheden die de vergroting van bestaande scheuren of de ontwikkeling van nieuwe scheuren faciliteren. Deze omstandigheden moeten beoordeeld worden en weggenomen om een gebouw te verduurzamen.

In de voorgaande tekst zijn de volgende punten toegelicht.

- Gebrek aan doorlopende en verbindende langs-wapening in alle funderingen.
- Verschillende aanlegdieptes en breedtes van sectoren in de fundering (kelders).
- Verschillende draagkracht van de ondergrond door invloed van vocht.
- Verzakking of verweking van de grond onder het gebouw naast dijklichamen.
- Verschillende perioden waarin aansluitende funderingen zijn aangelegd (aanbouwen).
- Onvoldoende aanlegbreedte van de funderingen en daardoor te weinig draagkracht.

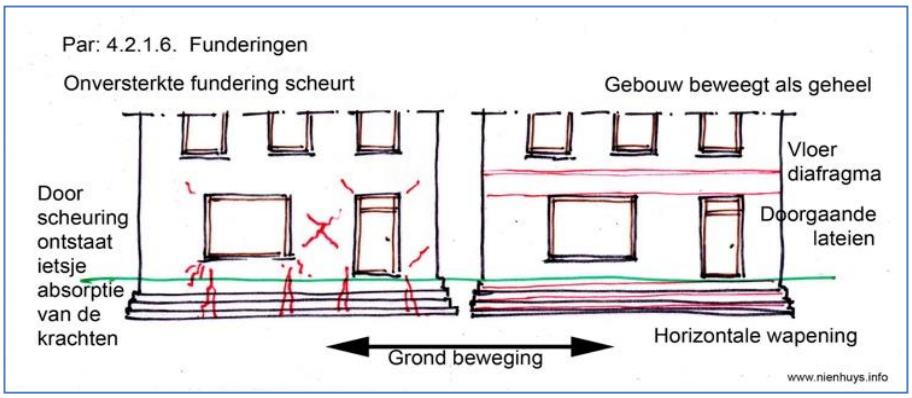
[215] Zie Hoofdstuk 7 dat geheel gaat over de lateien en de aanverwante scheurproblemen.

- Ongelijkmatige belasting op gelijksoortige funderingen, inclusief gewijzigd belastingpatroon.
- Gebrek aan scheidingen tussen gebouwdelen met hun funderingen.
- Zijwaarts wegdrukken van de grond naast het gebouw.

Het verduurzamen van oude gebouwen bij slechte funderingen 'op staal', of bij oude gebouwen (van vóór 1950) met beschadigde funderingen, houdt ook het seismisch versterken van deze funderingen in. Andere gebouwen die 'op staal' zijn gebouwd en geen gewapend betonplaat met doorlopende balk hebben, vereisen daarom twee belangrijke maatregelen.

1. Het verlagen (breder maken) en nivelleren van de gronddruk onder de funderingen inclusief kelders (of palen) waardoor er geen zetting meer kan optreden, ook niet onder de binnenmuren. Hierbij moet de eventuele wijziging van de bevingsbelasting van deze binnenmuren worden meegerekend, wanneer de vloerdiafragma's zijn verbeterd. Dit houdt meestal het verbreden van die binnenmuur funderingen in, of het toevoegen van palen.

2. Het aanbrengen van trekwapening in de lengterichting van de funderingen en over voldoende hoogte (in verschillende lintvoegen) zodat de funderingen plaatselijk niet zullen doorbuigen. Wanneer er *Base-isolation* wordt toegepast zullen beide op elkaar geplaatste funderingen aan dezelfde voorwaarden moeten voldoen.



Figuur 4-40. Ring wapening.
Niet alleen de fundering, maar ook op de etage ter hoogte van de vloerdiafragma's zal het gebouw rondom gewapend moeten worden.

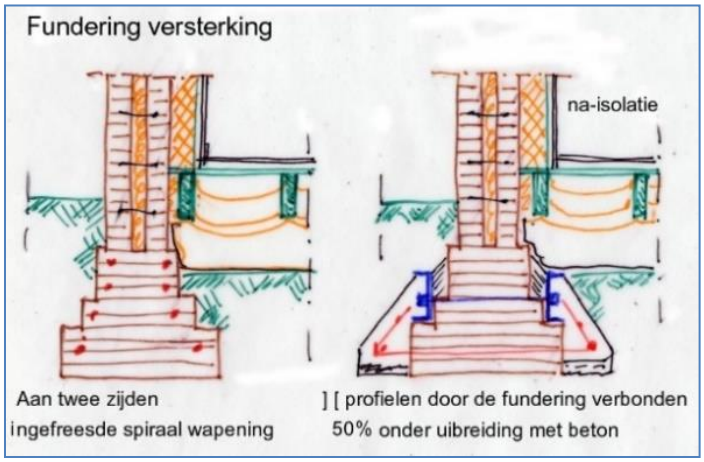
Het wapenen en versterken/verbreden van de fundering rondom het gehele gebouw. Door:

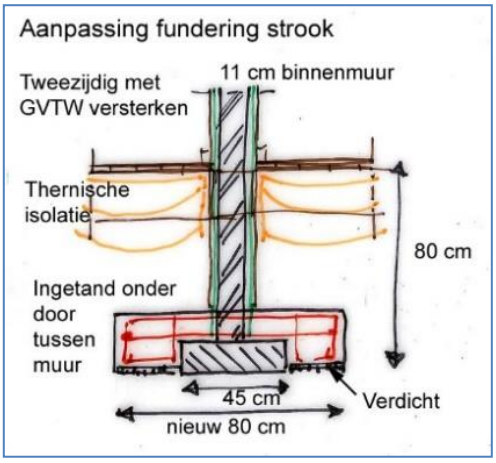
1. Aan beide kanten van de funderingsmuren en binnenmuren inbrengen van verschillende staven spiraalwapening in de lintvoegen; tenminste 1 doorlopende staaf per m^1 gebouwhoogte. Dit houdt echter nog geen verbreding van de fundering in.

2. Het aan weerszijden aanbrengen van hoge stalen U-profiel randbalken en deze door de muur met elkaar verbinden; de stijfheid van de balken is hier van belang.[216] De balken kunnen voor de duurzaamheid ingepakt worden met beton. Dit houdt echter nog geen verbreding van de fundering in, maar dat kan wel van tevoren onder deze balken.

3. Door het aan één of twee zijden aanstorten van een gewapend betonrand. Deze moet intens aan de gemetselde fundering verbonden worden. Bij oud metselwerk is twee balken aan weerszijde aanbevolen; die kunnen goed met elkaar verbinden worden.

[216] Bij het optillen van gebouwen voor het inbrengen van *Base-isolation* worden deze balken ook gebruikt.

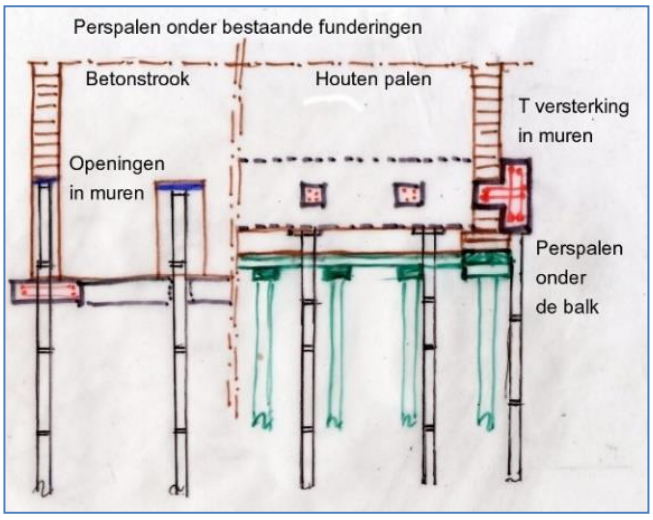




Figuren 4-41. Verbreden van funderingen.
<u>Links</u>. Alleen versterking wanneer de fundering geen scheuren heeft. Verbreding en versterking met ingestorte stalen U-profiel balken.
<u>Rechtsboven.</u> Verbreding met glasvezel versterking van binnenmuren.
<u>Rechts</u>. Eenzijdige verbreding bij een steens-muur (niet te breed). Dit is nuttig bij het aanbrengen van extra isolerende buitengevel die dan op die buitenfundering komt te staan. Hierdoor is de kans op draaiing van de fundering verbreding minder.

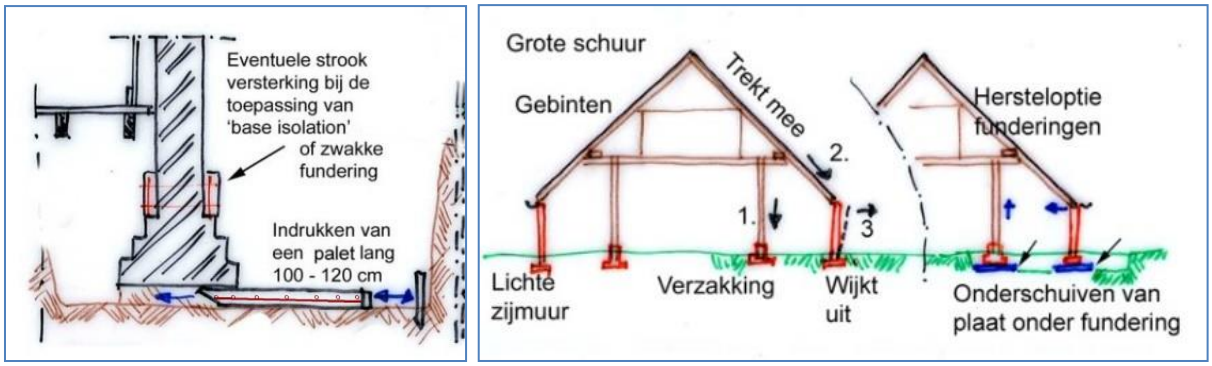
Bij een voldoende hoge en sterke funderingszone zal het gebouw meer als een geheel bewegen, maar de bestaande vervormingen in de gevel zijn daarmee nog niet verwijderd. Gevelherstel is dan nog nodig. Door beweging uit de gescheurde fundering te halen zal deze minder de schokken absorberen, waardoor er weer meer scheuren in het gebouw kunnen komen. Als alleen de draagkracht van de grond onder het gebouw de hoofdfactor is waarom er scheuren in de gevels zitten, kan in sommige situaties die draagkracht verbeterd worden door:

a. Het <u>verdichten van de grondslag</u> door injecteren of stabiliseren van de grond onder het gebouw, waardoor de draagkracht van de grond verbetert en het effect heeft van een vaste kleine zandplaat onder het gebouw. Dit kan echter niet worden gegarandeerd in alle grondsoorten zoals klei en veen.
b. <u>Opvijzelen</u> van alleen het verzakte gedeelte, wanneer de rest van het gebouw goed gefundeerd is. Dit is meestal niet het geval en kan gedeeltelijk opvijzelen andere scheuren veroorzaken.
c. <u>Perspalen onder de hele fundering</u>.



Figuur 4-42. Extra palen onder de fundering. Gespecialiseerde bedrijven (e.g. De Waalpaal) hebben zowel perspalen, buispalen, schroefpalen als heipalen. Afhankelijk van de situatie moet de fundering eerst versterkt worden, en het metselwerk boven de draagpunten.
Perspalen veroorzaken geen trillingen. Het heien in dit soort situaties moet altijd afgeraden worden.

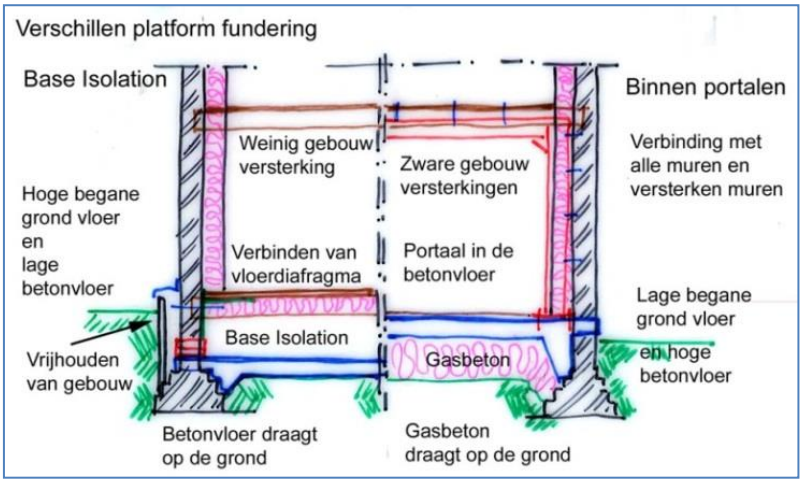
d. Het <u>verbreden van de fundering</u> door onder de fundering brede funderingsplaten in te brengen. Dit moet gefaseerd gebeuren terwijl de het gebouw plaatselijk ondergraven wordt. Dit nieuwe ontwerp kan voor veel gebouwen een praktische oplossing zijn.



Figuren 4-43. Verbreding met vulpaletten.
Het onder de fundering gefaseerd aanbrengen van een bredere plaatconstructie kan een optie zijn wanneer er alleen een bredere fundering nodig is om het draagvermogen van de fundering te verbeteren. De toepassing van lichtgewicht vulpaletten die met beton-grout worden vol geperst is een. De HDPE onderschuif elementen kunnen in verschillende afmetingen gemaakt worden.

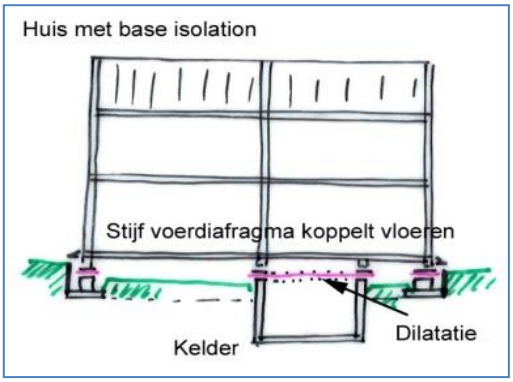
e. Het <u>dieper aanleggen</u> van de rest van de fundering tot op dezelfde diepte van de fundering van de kelder, maar met voldoende brede fundering aanleg, zodat gelijke draagkracht wordt verkregen in vergelijking tot de bestaande kelder.[217]
f. Het aanbrengen van een volledige <u>platformfundering</u> onder het hele gebouw. Hier dragen dan de muren op en wordt het draagoppervlak van de grond aanzienlijk vergroot en kan tegelijkertijd goede isolatie worden aangebracht bij toepassing van schuimbeton. Platformfundering kan ook ondersteund worden met perspalen en een goede basis voor *Base-isolation*.

Figuur 4-44. Platformfundering en Base-isolation.
Bij deze optie is *weinig gebouwversterking nodig.*
<u>Rechter deel.</u> Platformfundering met muur/diafragma versterking. Voor verduurzamen met lichte versterking kan dat houtskeletbouw zijn, ingevuld met thermische isolatie.



g. Het aanleggen van een *<u>Base-isolation</u>* door het verstevigen/verbreden van de bestaande fundering en het verstevigen van de basis van het gebouw als **een tweede fundering[218],** en daartussen het plaatsen van de *Base-isolation*, waarna het hele gebouw ter hoogte van die *Base-isolation* doorsneden kan worden, en los op die *Base-isolation* komt te staan.

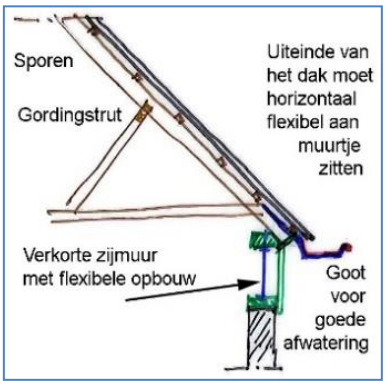
[217] Dit levert ook meer woonruimte op. Een gelijke grondbelasting is belangrijk om scheuren te voorkomen.
[218] De aanleg van een tweede fundering is een van de redenen waarom traditionele *Base-isolation* een hele dure operatie is voor lage gebouwen. Bij het versterken van de bestaande fundering kunnen met een nieuw, klein en lokaal geproduceerd *base-isolation* systeem de kosten veel lager zijn dan bij geïmporteerde systemen.



Figuur 4-45. Onderste fundering stabiel.
Bij Base-isolation *zal het noodzakelijk blijven dat de onderste fundering absoluut geen zakkingen kan ondergaan. In veel gevallen zal bij oude gebouwen daarom eerst de bestaande fundering versterkt of verbreed moeten worden voordat er een* Base-isolation *met tweede fundering eronder kan worden aangelegd.*

h. Herstel van oude lange stalmuren.

Dit is een aparte categorie vanwege hun functie als buitenmuur zonder dragende functie en verbonden aan de grote flexibele schuur. De dunne zijmuur kan geen weerstand bieden tegen een zijwaartse belasting van het dak. De gebinten van de daken zakken, omdat de poeren onder de staanders te licht gefundeerd zijn en vaak omdat ze niet ontworpen zijn voor het moderne zware verkeer in de schuren. Zie Hoofdstuk 10 De Gebintenschuur.



Figuren 4-46. Verzakken van staanders.
Door het zakken van de gebinten worden de lage muren naar buiten gedrukt. De basis oplossing is om de muren los te koppelen van het dak en rechtop te zetten.

In dit geval moet de muur geheel losgekoppeld worden van de kapconstructie. Daarna kan de muur rechtop gezet worden en de fundering verbreed. Apart moeten de funderingen van de poeren onder de gebintpoten verbreed worden. Daarnaast is goed regenwaterafvoer van het dak belangrijk zodat de funderingen niet worden aangetast. Oude zijmuren die al heel erg scheef staan kunnen dan afgebroken worden en opnieuw op een bredere fundering opgemetseld worden.[219]

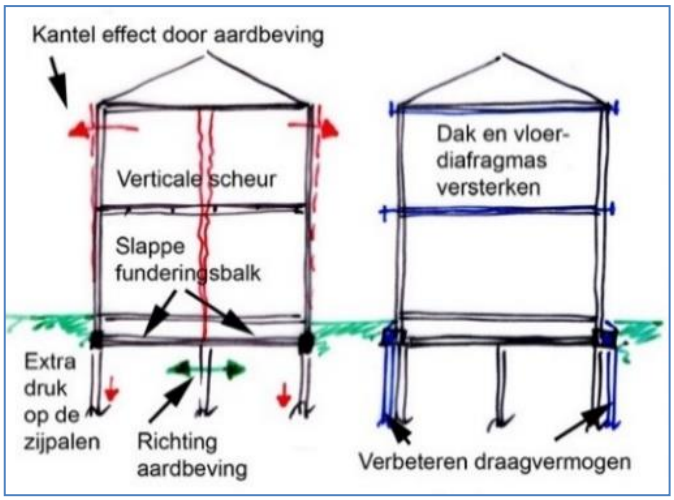
Figuur 4-47. Lage buitenmuren loskoppelen.
Bij monumentale schuren, waarbij aan de buitenzijde niets mag worden veranderd, bestaat de mogelijkheid om de muur los te koppelen van de dakconstructie, zodat deze niet meer tegen de muur drukt. Daarna regels aan de binnenzijde met chemische ankers aan de muur schroeven en aan de binnenzijde een steunconstructie te maken.

[219] Dit is een reeds eeuwenlang bekend probleem. Lang voordat er van aardbevingen sprake was, moesten de eigenaren van de oude gebinten schuren deze lange zijmuren al vaak na een generatie of 50 jaar opnieuw opmetselen vanwege het wegdrukken door de kap en verzakkingen vanwege slechte gebinten funderingen.

4.10. Verticale scheuren in rijtjeswoningen

Door de horizontale grondversnelling van de aardbeving neemt de dwarsbelasting door de gebouw-inertie toe. Hierdoor treedt er een kanteleffect op dat de belasting op de buitengevels verhoogd. Hoe hoger of zwaarder het gebouw, hoe groter die additionele belasting zal zijn. Wanneer een fundering gebaseerd is op een gelijkmatige verticale belasting en onvoldoende samenhang heeft kan dit scheuren opleveren. Hoe hoger in het gebouw hoe breder de scheuren zijn.

Omdat de funderingsbalken gedimensioneerd waren op slechts de statische belasting, en het gebouw geen vloerdiafragma's heeft die de buitengevels (voor- en achterkant) bij elkaar houden, konden de scheuren ontstaan. Het seismisch versterken zou een extra rij palen kunnen inhouden en het versterken van de vloerdiafragma's.



Figuur 4-48. Verticale scheur bij slappe fundering.
Voorbeeld van de rijtjeswoning (Jarino, gesloopt). De midden-paal in combinatie met zwakke funderingsbalk en kantel effect veroorzaakt de midden-scheur.
In theorie is het mogelijk om aan de buitenzijde een rij palen neer te zetten en zelfs de gevel op te drukken. Bij de beoordeling van de te nemen maatregelen moet de waarde van het oude gebouw vergeleken worden met de kosten. Bij jaren '70 rijtjeswoningen is dan vaak sloop en nieuwbouw de uitkomst.

Bij dit type rijtjeswoningen bestond de etagevloer uit betonplaten die op de woning-scheidende muren droegen, maar onderling geen verbinding hadden. Bij het maken van een vloerdiafragma moet in dat geval de voorgevel met de achtergevel verbonden worden zodat de vloer een geheel wordt. Dit kan bijvoorbeeld door verbindingsstaven in de vloer te frezen of carbon fibers op de vloer te plakken.[220]

Bij een verduurzamingsprogramma zouden de huidige voor- en achtergevels verwijderd kunnen worden (lichter) en een nieuwe geïsoleerde en sterke buitengevel op de extra palenrij kunnen worden toegevoegd.[221] In het geval van dit type rijtjeswoningen met grote glasgevels dient de nieuwe buitengevel ook de aardbevingskrachten in de lengterichting van het huizenblok op te kunnen vangen. Dit kan door sterke glaspanelen toe te passen of portalen in de nieuwe gevel te maken.

Na het seismisch versterken/verstijven van vloerdiafragma's en de verbinding met de draagmuren rondom bij vrijstaande woningen, zal ook het belastingpatroon op de binnenmuren veranderen; in de meeste gevallen zal dit groter worden en dus ook de fundering belasting van die binnenmuren. Om midden onder een bestaande midden fundering extra palen te plaatsen kan alleen als de hele begane grond vloer eerst verwijderd wordt.

4.11. Verwijding van buitenmuren bij lage woning

[220] Verschillende van deze toepassingen werden in testwoningen gedemonstreerd. Deze woning was een van de testwoningen, maar hier werd geen nieuwe sterke buitengevel toegepast.
[221] De betreffende Jarino woningen van de afbeelding hadden meer structurele problemen en konden niet op economische wijze hersteld en duurzaam gerenoveerd worden. Deze werden gesloopt en vervangen door goed geïsoleerde nieuwbouw. De bewoners werden tijdelijk ergens anders ondergebracht.

De verwijding (uit elkaar bewegen) van de buitenmuren ontstaat ook wanneer de grond onder de funderingen van de zware steens buitengevels van een gebouw iets meer inklinkt dan de funderingen van lichtere binnenmuren. Wanneer de vloer- en plafondverbindingen (diafragma's) op de etage of zolder onvoldoende sterk en stijf zijn om deze zijgevels vast te houden, kunnen de gevels aan de bovenkant gaan wijken/splijten. Bij gebouwen van vóór 1930 zijn vaak **geen lateien** aanwezig en zal de toog of hanenkam dan openscheuren.

Door de schuin naar beneden gerichte belasting van het dak op de muren[222], zal de zijdelingse vervorming bij trillingen groter worden. Het verduurzamen en seismisch versterken van deze gebouwen zal een combinatie moeten inhouden van een optillen/verbreding/versterking van de fundering en het verbinden van de muren aan het zoldervloer- en dak diafragma.

Figuren 4-49. Wijken van de gevel boven ramen.
Dit gebeurt vanwege het zakken van de funderingen onder de zijgevels en het gebrek aan zoldervloer diafragma's.
Zware schoorstenen en daken met sporen op de muurplaat kunnen dit proces verergeren.
Door verwijdering zakt het metselwerk boven het raam in, maar de kalkvoegen zijn iets vervormbaar.

In de Nederlandse (ook moderne) woningbouw zijn de lateien slechts kort (10-20 cm) opgelegd waardoor de muur langs het uiteinde van de lateibalk kan scheuren. Bij gebrek aan treksterkte in het baksteen metselwerk en tussen de lateien treden hier scheuren op.

[222] Deze situatie komt voor als de dakspanten verouderd zijn en ook iets wijken en wanneer daksporen direct op de zijmuren of de borstwering op zolder zijn geplaatst.

De methode om deze situatie te voorkomen is om boven de lateien een doorgaande trekwapening in de lintvoegen worden ingebracht. Doorgaand betekent rondom het hele gebouw. In het Hoofdstuk 7 Lateien wordt verder ingegaan op deze problematiek.

Het bovenstaande impliceert dat er een verband is tussen de zwakte van de fundering en de schade die boven het maaiveld in de muren, bij de lateien en bij de dakrand zichtbaar is.

4.12. Het verdichten van de ondergrond van het gehele gebouw

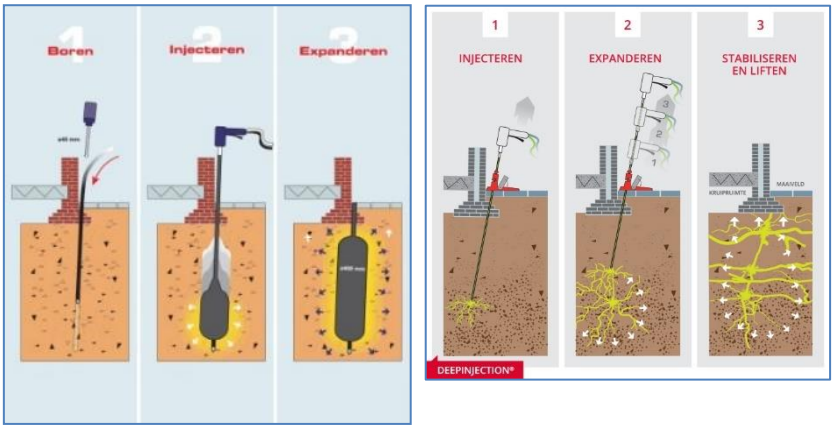
Een verbetering van de draagkracht van de grond onder de fundering van modernere gebouwen met een sterke funderingsbalk-plaat combinatie is vaak voldoende om verzakkingen en daarmee scheuren in de muren te voorkomen. Door de draagkracht en samenhang van de bovenste laag van de grond, direct onder een fundering 'op staal', groter te maken, wordt daaronder de druk over een groter oppervlakte verdeeld. Dit kan gedaan worden door injecteren van een cementmortel of een twee-componenten materiaal dat in de grond verhard. Sommige materialen hebben ook een expanderende werking, waardoor vloeren omhoog gedrukt kunnen worden. Dit werkt echter niet met een fundering of zware boven-belasting of in alle grondsoorten.

Figuren 4-50. Injecties met expansiehars.
Links. Deze hogedruk injecteermortel (epoxy) zet uit onder een verzakkende vloer (en kan deze optillen), en zal de grond onder een fundering verdichten, maar meestal niet de fundering optillen.
Rechts: Uretek DeepInjection® methode met cementmortel. Dit is niet mogelijk in natte kleibodems of veen.

In slappe, cohesieve kleigronden of veen werken deze twee methoden niet. Per grondsoort en fundering dient er een gedetailleerd grondonderzoek plaats te vinden. Deze methoden zijn vooral interessant op zand- en droge gronden waar het grondwater weinig invloed heeft op het draagvermogen van de bestaande fundering.[223]

Figuur 4-51. Naast de fundering injecteren. Uretek Powerpile®. Naast het gebouw komen In de grond gevormde epoxypalen tot een diepte van ongeveer 7m.

[223] Zie de Youtube filmpjes Funderingsherstel". http://uretek.be/methoden/verzakte-fundering



Figuren 4-52. Uretek opblaas powerpiles.
Links. Deze opvul- en verdichting optie met opblaaszakken van Powerpiles® kunnen wel in klei- en veengrond worden toegepast. De huidige maximale diepte voor dit systeem is echter beperkt tot ongeveer 8,5 m. Echter, in Groningen ligt de zandlaag vaak op 10m diepte.
Rechts. Injecteren/verdichten.

Injectiepalen met beton-grout onder de bestaande funderingen of fundering stroken. Bij deze methode van Uretek komt de gebouwbelasting op in de grond gevormde palen te dragen. De funderingsbalk moet voldoende sterkte hebben om de afstanden tussen de palen te overbruggen. Bij een zwakke fundering kan met extra palen de overbruggingsafstand klein gehouden worden.

4.13. Extra funderingspalen, buis, schroef, pers

De toepassing van schroef- of perspalen direct onder een bestaande fundering, vereist dat deze palen onder alle draagmuren worden geplaatst. Bij elke paalmethode moet voorkomen worden dat er verschillende funderingstechnieken onder een gebouw zitten, en dat er grote verschillen bestaan tussen de belasting per paal. Met palen tot aan een vaste zandlaag kunnen hoge puntweerstanden worden bereikt. Perspalen hebben een kleine diameter, waardoor er meerdere palen nodig zijn.

Figuren 4-53. Buis-perspalen (de Waal).
Deze worden direct onder een muur geplaatst worden. Hiervoor wordt er een sleuf uit de muur gezaagd.
Rechts is een voorbeeld waarbij een doorlopende balk buitenom de muur over de perspalen wordt gestort. De balk zit ingekast in de draagmuur van de woning.

Het is belangrijk dat boven de palen **voldoende stevige muurvlakken** aanwezig zijn om de belasting te spreiden. Eventueel kunnen die muren versterkt worden door het inbrengen van spiraalwapening. Dit

betekent dat het niet zonder meer geschikt is voor gebouwen met grote en hoge raamopeningen. Met de buis-palen in en onder de draagmuren, moet enig kantel-effect vermeden worden. Het versterken van het begane grond vloerdiafragma is dan vaak nodig.

Figuren 4-54. Schroefpaal of boorpaal. Deze wordt langs de gevel ingebracht. Rechts een nieuwe en afgewerkte fundering balk rondom het gebouw.

Figuur 4-55. Basis isolerende buitengevel. Op de betonbalk rondom kan eventueel een nieuwe geïsoleerde en sterke buitengevel kan worden geplaatst. Bij een extra buitenzijdige isolatie moet soms het dak-overstek en de goten worden aangepast.

Bij dit oude karakteristieke voorgebouw kunnen ook de binnenmuren versterkt worden met Hout Skelet Bouw (HSB) en goed geïsoleerd.

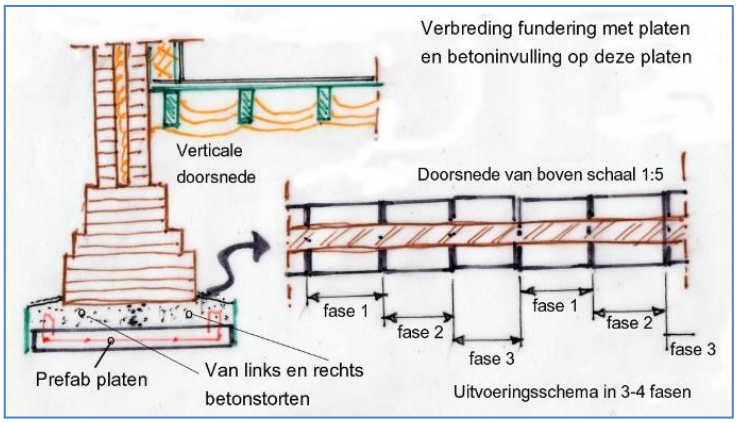
De pers-buispaal wordt in een uitsparing in de buitenmuur geplaatst, of naast de draagmuur waarover dan een betonbalk wordt gestort die in die draagmuur is ingekast. Het draagvermogen van de buispalen is beperkt door de kleine diameter. Deze methode is hoofdzakelijk geschikt voor lichte gebouwen. Bij het plaatsen van buispalen onder dunne dragende binnenmuren zullen deze **binnenmuren eerst tweezijdig versterkt** moeten worden omdat bij een vloer diafragmaversterking de binnen draagmuren zwaarder belast worden tijdens een aardbeving.

De optie met alleen extra palen buitenom is onvoldoende wanneer er dragende binnenmuren aanwezig zijn; deze moeten ook gelijkmatig over de hele lengte ondersteund worden. Het ondersteunen van de binnenmuren is mogelijk wanneer de hele vloer vervangen wordt door een systeemvloer. Wanneer houten binnen vloer van de begane grond toch wordt vervangen door ⊥ balken met EPS-elementen is de operatie vrij eenvoudig.

Figuur 4-56. Verbreding binnenmuur fundering. In combinatie met de toepassing van metalen of betonnen ⊥ balken met EPS invul-elementen. Hierover komt een druklaag van gewapend beton en daarover heen een LTV- vloer verwarming met afwerking.

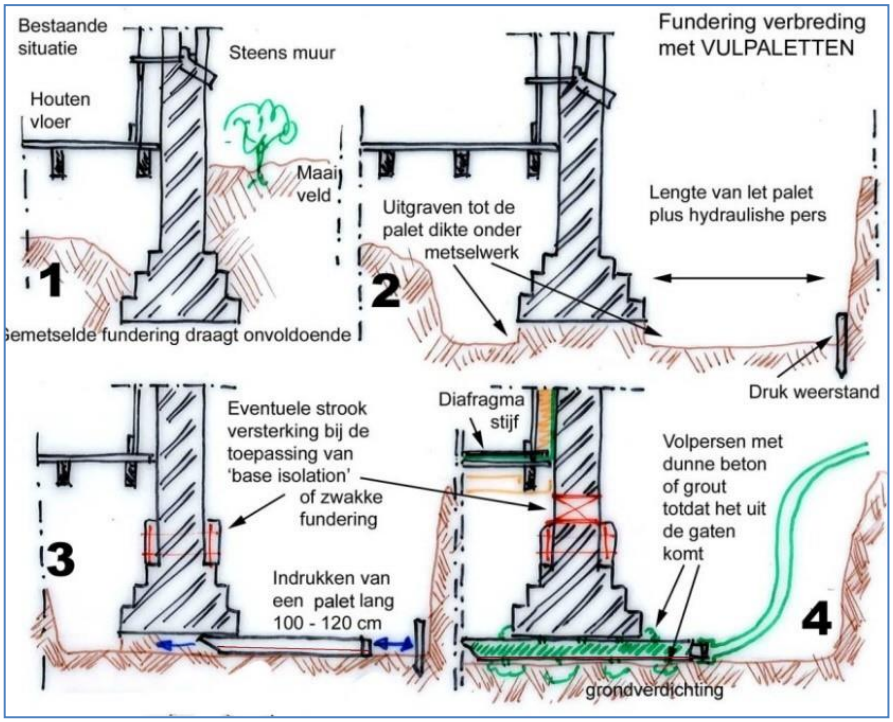
4.14. Verbreden fundering met platen of vulpaletten

Voor de toepassing van prefab betonplaten wordt de fundering tweezijdig uitgegraven en in drie of vier fasen ondergraven om de brede prefab-plaat onder de bestaande fundering te plaatsen, waarna deze van twee zijden wordt aangestort. Deze operatie wordt gefaseerd uitgevoerd zodat er elke keer maar een klein stukje van de fundering ondergraven wordt. Het trasraam van het gebouw moet dan voldoende sterk zijn om die overbrugging te kunnen hebben, anders moet er eerst een lintvoegwapening in de muren onder de ramen en deuren worden aangebracht.



Figuur 4-57. Betonplaten onder fundering.
Deze werkwijze is mogelijk wanneer het gebouw voldoende ondersteund blijft door de nog niet vrij gegraven delen. Eventueel kan de muur ter plaatse eerst worden versterkt met in gefreesde spiraalwapening. Het beton vulmateriaal moet iets uitzetten om zetting te voorkomen.

Als alternatief op deze methode kunnen in plaats van zware prefab betonplaten ook **lichtgewicht HDPE[224] vulpaletten[225]** worden ondergeschoven. Na het van slechts één kant onderschuiven van deze cassettes of pallets, worden ze volgepompt met krimpvrije beton-grout. Hierdoor ontstaat er een goede druk onder de fundering die voorkomt dat er na deze verbreding zetting ontstaat



Figuur 4-58. Nienhuys vulpaletten.
In fasen worden de holle pallets van buitenaf onder de fundering geschoven en met krimpvrije beton-grout vol geperst.
Met openingen onder in de paletten zal er bij het inpersen van het grout druk op de grond ontstaan. Bovenop, met openingen in het midden, zal de ruimte tussen pallet en fundering strak worden opgevuld. Hierdoor kan er geen zetting ontstaan.

De cassettes zijn breder dan de fundering en kunnen in verschillende maten worden gefabriceerd. Deze methode is veel lichter (gewicht ongeveer 15 kg) en sneller werken dan het onderschuiven van betonplaten (> 50 kg) en voorkomt latere zettingen van die verbreedde fundering.

[224] Hoge Dichtheid Polyethyleen (HDPE) wegen < 10 kg en kunnen in verschillende maten worden gemaakt.
[225] In de testwoningen zou het uittesten van deze methode mogelijk zijn. Pallet fabrikanten konden het voorgesteld werk leveren. Met grout oppompen op dezelfde manier als de Uretek Powerpiles.

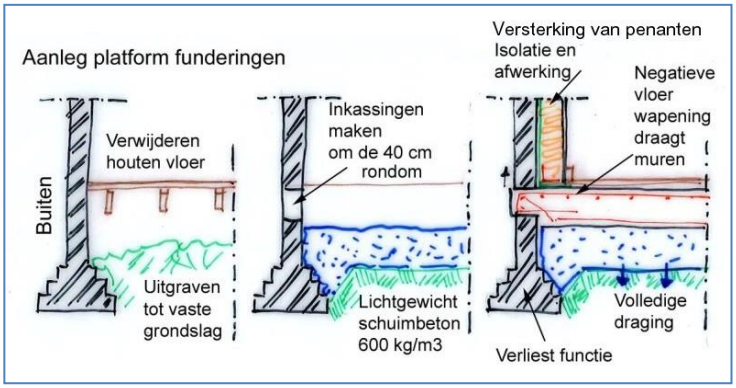
Figuur 4-59. HDPE-pallets 1 m^2.
Deze worden geproduceerd. De productie kan in twee delen en in verschillende vormen. Door de rasteropeningen van het vul-pallet wordt het beton-grout onder de gemetselde fundering en in de grond geperst. Er kan wapening in worden geplaatst.

Wanneer er verzakking/doorbuiging van de oude fundering kan optreden door het uitgraven onder de fundering, moet eerst de bestaande funderingsstrook met trekwapening versterkt worden. Dit kan door het infrezen van lintvoegen en daar spiraalwapening in te verlijmen. Op de uitstekende delen van de vulpaletten zijkanten kan tegen de fundering een versterking van de fundering worden aangestort. Pallets kunnen worden gemaakt van een bodem en deksel van HDPE (*High Density Polyethylene*) dat tot 15 kg kan wegen.[226] In de pallet kan aan de onderzijde betonwapening worden toegepast tegen het doorbuigen van de betonplaat.

Dit systeem is **geschikt voor fundering verbreding in heel Nederland.** Als nieuw bouwelement is er na de aardbevingen in Groningen dus blijvend een grote markt voor vulpallets.

4.15. Plaat- of platformfundering 'op staal'

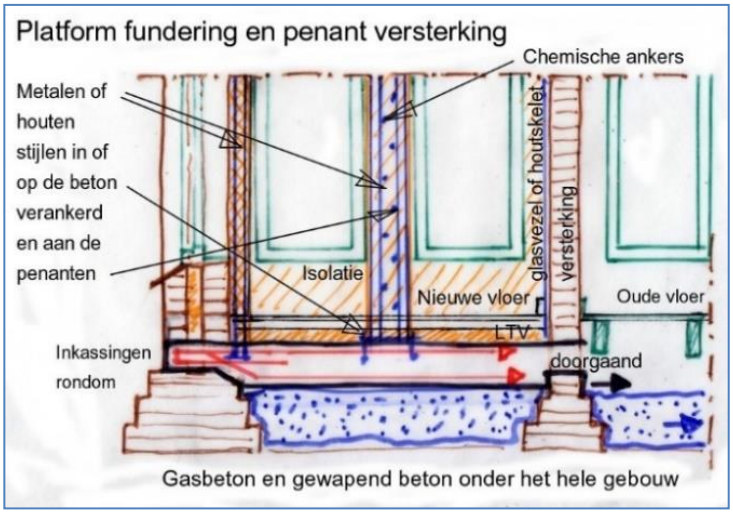
Een volledige plaat- of platformfundering onder het hele gebouw zal de gronddruk van het gebouw erg laag houden. In deze platformfundering kunnen kolommen voor de verdere versterking van het gebouw verankerd worden (portalen). Smalle penanten tussen grote raampartijen kunnen aan de binnenzijde vanuit de platform fundering versterkt worden met stalen frames. Hierdoor kan een stijve en goed samenhangende gebouwconstructie verkregen worden. Door de verstijvings- en versterkingsprofielen aan de betonvloer te verankeren en met chemische ankers aan de binnenmuren, ontstaat een versterkte structuur die niet meer zal scheuren. De staalprofielen lopen door tot aan het plafond/vloer diafragma. Dunne binnenmuren kunnen met houtskelet of glasvezeltextiel versterkt worden. Deze versterkingsoptie is bijvoorbeeld geschikt voor de lichte notaris- of rentenierswoning.



Figuur 4-60. Platformfundering werkvolgorde.
a. Houten begane grondvloer verwijderen.
b. Eventueel muurversterking aanbrengen
c. Grond egaliseren en gasbeton storten.
d. Inkassingen rondom in de bouwmuren maken voor de gewapend betonvloer.
e. Verankering stellen voor stalen frames voor de versterking van raampenanten.
f. Betonvloer storten.
g. Frames aan de betonvloer ankers verbinden. Muren verankeren met chemische bouten. De frames moeten de muurpenanten rondom de ramen voldoende versterken.
h. Thermische isolatie aanbrengen en LTV voor de vloer aanbrengen.

[226] Fabrikanten van kunststof pallets hebben aangegeven dat ze dit HDPE-model makkelijk kunnen produceren. Door het in twee delen te fabriceren kan er ook wapening in worden gelegd, dan afgesloten, onder de fundering geschoven en dan met bestaande apparatuur vol-geperst met betongrout, simpel.

Figuur 4-61. Smalle funderingen 'op staal'. Bij kleine woningen die al verwijding van de bovenste geveldelen tonen, is een platvormfundering een goede oplossing in combinatie met een versterking van de smalle muurpenanten. Deze versterkingen kunnen dan sterk in de nieuwe fundering worden aangebracht.



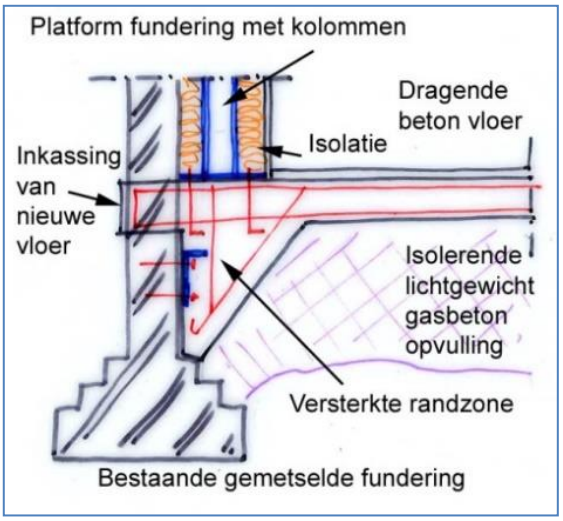
Figuur 4-62. Zonder sterke glaspanelen. Wanneer sterke glaspanelen niet als gevelversterking kunnen worden toegepast geeft de nieuwe betonvloer een solide basis voor de verankering van de versterking van de muurpenanten. Het is wel aanzienlijk duurder.

Bij een platformfundering wordt een uitstekende optie geboden om frames of portalen aan de betonvloer te verbinden. Trillingen uit de ondergrond blijven echter via de platformfundering in het gebouw doordringen. De platformfundering kan ook als basis voor een *Base-isolation* erboven dienen.

Slechts in de situatie waar er binnen in een oud en zwak gebouw geen muurversterkingen en/of diafragma versterkingen kunnen of mogen worden uitgevoerd is een *Base-isolation* een optie om trillingen vanuit de ondergrond te reduceren.

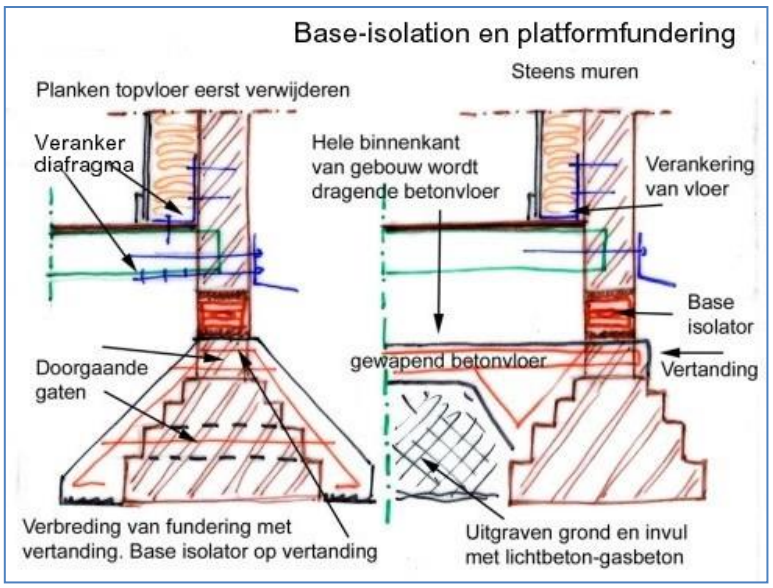
Figuren 4-63. Aanleggen van platformfundering.
<u>Links.</u> Na het verwijderen van de (houten) begane grond vloer de grond egaliseren voor gasbeton storten.
<u>Rechts</u>. Rondom gaten door de hele muur maken overeenkomstig het draagvermogen van het metselwerk.

.
Figuur 4-64. Aanbrengen van wapening.
Afhankelijk van het gebouwgewicht dient de negatieve randwapening te worden aangepast.
Bij kleine kelders onder een gedeelte van het gebouw moet deze kelder vervallen.
Bij een kleine kelder kan deze ook vergroot worden tot onder het hele gebouw. In dat geval moet de platformvloer onder de kelders komen.
Op de platformvloer kan de wand versterking en isolatie geplaatst worden.
Na de wand isolatie kan de vloerisolatie en de LTV-vloer verwarming geplaats worden.



Bij de toepassing van een *Base-isolation* boven op de platformfundering zullen horizontale trillingen vanuit de grond nauwelijks invloed hebben op het gebouw.[227]. Zie Hoofdstuk 5 *Base-Isolation*.

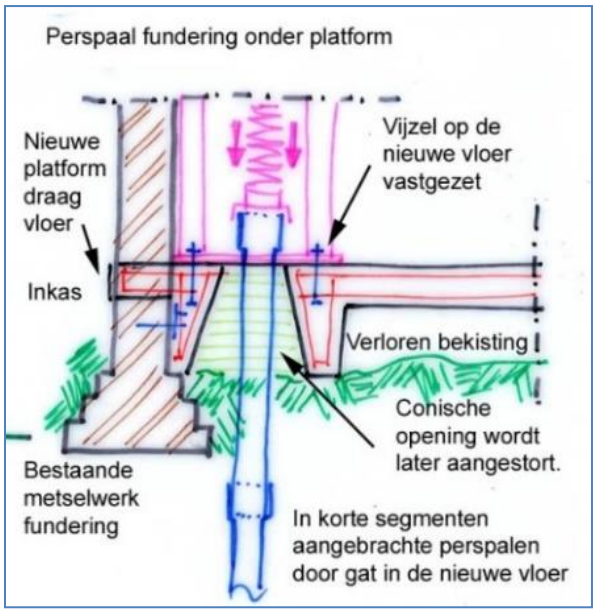
Figuur 4-65. Platformvloer en Base-Isolation.
Bij Base-isolation *moet de onder fundering stabiel en niet-vervormbaar zijn. Bij een platformfundering met* Base-isolation *kan de muurverstijving niet op de betonnen plaat worden verankerd, maar moet op het stijve vloerdiafragma worden vastgezet.*
<u>Links.</u> Versterking van de fundering met zijdelings aanstorten.
<u>Rechts.</u> Versterking van de fundering met betonvloer.



[227] Wanneer de *Base-isolation* 90% van de horizontale belasting opvangt, zal ook de horizontale dwarskracht op het gebouw vanwege een aardbeving met 90% verminderen.

Vanwege de werking van een licht rollend *Base-isolation* systeem is een grote versterking van de binnenmuren bij fragiele monumenten niet meer noodzakelijk. In plaats van een volledig metaal of houtskelet constructie aan de binnenzijde kan aan de buitenkant of binnenkant horizontale lintvoegwapening worden toegepast, met aan de binnenzijde glasvezeltextiel en de extra isolatie.

Om een na-geïsoleerde spouwmuur (Rc = 1,7 m^2.K/W) op te waarderen tot Rc $\geq$ 4,5 m^2.K/W is tussen de 10 cm en 15 cm dikte noodzakelijk afhankelijk van de gebruikte isolatiematerialen.[228] Onder een platformfundering kunnen ook perspalen worden toegepast. Dit is bijvoorbeeld een optie wanneer onder een gedeelte van het gebouw een kelder zit.



Figuren 4-66. Perspalen door uitsparingen.
De platformfundering moet speciaal ontworpen worden om perspalen toe te passen. De palen worden gedrukt door een tijdelijk vastgezette vijzelinstallatie. Rechts. Perspaal aanbrengen. Revac foto.

4.16. De toepassing van *Base-isolation* bij een bestaande palenfundering

Bij een bestaande fundering op betonpalen zijn er drie opties om *Base-isolation* toe te passen:

- Bij zeer stabiele betonpalen die niet horizontaal kunnen bewegen, wordt de paalkop verlaagd en op de nieuwe kop een *Base-isolation* element onder de fundering of ringbalken geplaatst.

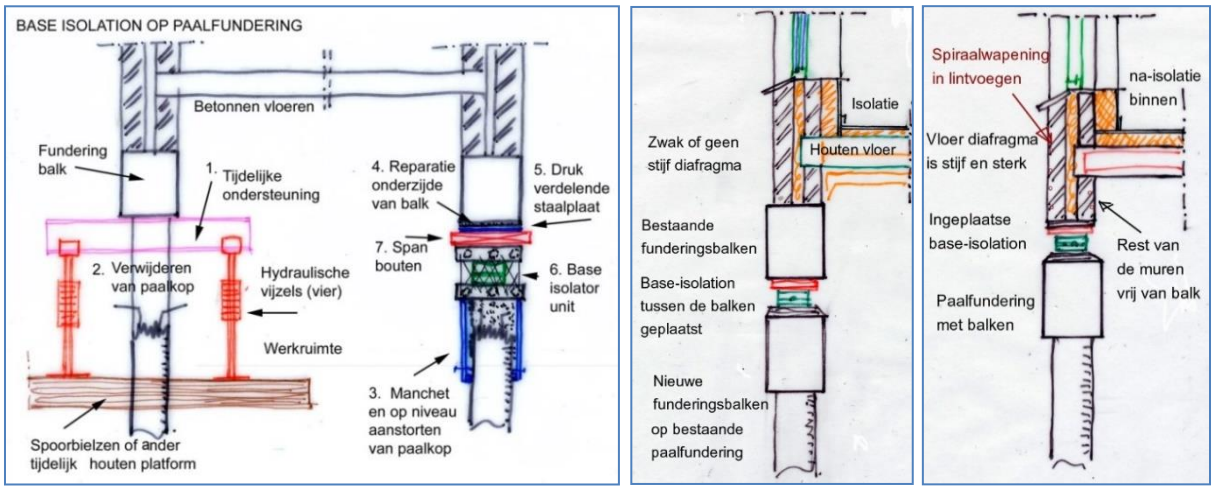
- Bij iets minder stabiele betonpalen kunnen de paalkoppen meer verlaagd worden en aangestort met nieuwe rondlopende funderingsbalken. Op deze nieuwe balken en onder de al bestaande balken worden dan de *Base-isolation* elementen geplaats.

- Bij gebouwen op een betonnen balk en die voldoende plinthoogte hebben onder de begane grond vloer, en die een voldoende stijf en sterk begane grond vloerdiafragma hebben, kan in de plint onder de vloer en op de funderingsbalk de *Base-isolation* worden geplaatst. Hier moet het metselwerk een versterkte zone hebben om de afstanden tussen de *Base-isolators* te overbruggen zonder dat het metselwerk doorzakt/scheurt.

Het bijzetten van perspalen voor extra draagkracht is een extra optie voor de laatste twee.

[228] Dunnere isolatie is mogelijk, maar is duurder per m^2. Duurzame natuurlijke isolatiematerialen vereisen een grotere dikte. Voor technische details voor DUNNE binnenzijdige gevelisolatie zie www.nienhuys.info

Figuur 4-67. Base-isolation *op funderingsbalk.*
Foto impressie van de toepassing van een kleine en later ingebouwde mini Base-isolation *op een funderingsbalk. De balk geeft voldoende stijfheid onder de* Base-isolation*. De muur direct boven de* Base-isolation *is versterkt met doorlopende lintvoeg wapening en het aan de muur gekoppelde begane grond vloerdiafragma.*
Deze optie is hier mogelijk omdat men goed onder het gebouw kan komen. Met een fundering op staal is het erg moeilijk werken.



Figuren 4-68. Mini Base-isolation *op palen.* *Links:* *Ondersteuning van balken, nieuwe paalkop, stellen van mini* Base-isolation*, opspannen tot oude draagvermogen.* *Midden:* *ondersteuning van balken, nieuwe funderingsbalk.,* *Rechts:* *Maken van gat boven de balk, plaatsen mini* Base-isolation*, versterken gebouw plint, doorzagen van gevel tussen* Base-isolators*. Bij zwak metselwerk moeten er meer units geplaatst worden of meer muurwapening.*

4.17. Youtube filmpjes fundering herstel systemen

01 Funderingsherstel REVAC filmpje: Door Robine Hillen.
https://www.youtube.com/watch?v=ikhafeo6VXg& Duur 2:01 min. Datum: 29 mei 2013.

02 Reus Funderingsherstel Verzakt huis.
https://www.youtube.com/watch?v=N80LnNf2oaM Duur 3:43 min. Datum: 27 april 2011

03 Vijzel controller systeem van DS Bouw. Zie www.funderings-herstel.nl
https://www.youtube.com/watch?v=sz4DoJAa2Bw Duur 1:00 min. Datum: 22 sept. 2011

04 Stalen buispalen trillingvrij aanbrengen.
https://www.youtube.com/watch?v=TynzIgS7JHE Duur 0:59 min. Door Puckijskes.

05 Stalen buispalen worden geheid nadat de heimachine door het raam is gegaan.
https://www.youtube.com/watch?v=LpeB83wIeDU Duur 0:38 min. Datum: 16 nov. 2011

06 Nederland Bouwt Funderingsherstel. www.nederlandbouwt.nl
https://www.youtube.com/watch?v=xK8F32yqIpg Duur 5:01 min. Datum: 25 februari 2009

07 Terracon - Terr-Econ-Buispalen met betongrout injectie.
https://www.youtube.com/watch?v=W1SHFxI_Bi0 Duur 2:30 min. Datum 25 mei 2010

08 Uretek. Herstel van verzakte funderingen. URETEK Deep Injection®
https://www.youtube.com/watch?v=UPjQlDnsmDQ Duur 3:35 min. Datum 25 juli 2011.

**********Terug naar het begin van di Hoofdstuk 4**********

**********Terug naar de inhoudsopgave figuren**********

Duurzaam Herstel en Versterking van Woningen in Groningen

Hoofdstuk 5 BASE-ISOLATION

Opties en toepassing in de praktijk

Na de aardbevingsproblematiek en de afbouw van de aardgasproductie

Figuur 5-0. Nieuw-Zeeland parlement gebouw. Auteur tijdens expositie.

Abstract:
Base-isolation is bouwkundig de beste manier om horizontale aardbevingsbelastingen op een gebouw sterk te verminderen. Bij nieuwbouw eenvoudig toe te passen. Bij bestaande kwetsbare baksteenbouw zijn vooral lichtlopende systemen noodzakelijk die makkelijk in bestaande funderingen kunnen worden ingebouwd. Speciaal voor fragiele baksteen-monumenten is dit een optie. Dit document geeft verschillende ontwerpen en opties aan.

Kernwoorden o.a.:
Baksteen, *Base-isolation,* diafragma, duurzaam, fundering, geïnduceerd, kelder, hoofdstructuur, metselwerk, 'op staal,' preventie, seismisch versterken, veiliger maken, verbouwen, vloeren, verduurzamen, zetting.

Hoofdstuk 4 betreft de FUNDERINGEN in de meer algemene zin.

Door: Sjoerd Nienhuys
Bouwkundig, seismisch ingenieur
Juli 2023

5.0. Inleiding.

Bij aardbevingen van PGAg 0,2 en hoger zullen heel veel gebouwen in Groningen of Nederland zwaar beschadigd worden en is het bijna niet mogelijk om het bestaande Nederlandse brosse metselwerk tegen scheuren te versterken. Dat is wel mogelijk met *Base-isolation*. Dit is de beste methode om baksteen en andere gebouwen te beschermen tegen de effecten van (zware) aardbevingen.

Toen eind 2014 het eerste ontwerp van de NPR9998 werd gepresenteerd, met een daarbij behorend dreigingskaartje met een PGAg van 0,42 zou op basis van die Mmax ongeveer de helft van alle 250.000 woningen (350.000 gebouwen) in de provincie Groningen instorten of in ieder geval zeer zwaar beschadigd worden, met tientallen, zo niet honderden doden vanwege die instortingen.

Om te voorkomen dat gebouwen instorten moeten ze volgens de Eurocode 8 en het bijbehorende kaartje seismisch versterkt worden. Echter, de bevolking begreep niet wat seismisch versterken inhield. Een gebouw dat een dergelijke zware maximale beving van PGAg 0,42 ondergaat is bij de juiste seismische versterking dan wel **zwaar gescheurd** of zal gedeeltelijk of geheel ***total loss*** zou zijn. Bovendien, schoorstenen en geveltoppen zouden dan sowieso van de gebouwen afvallen, omdat deze niet tot de primaire constructie onderdelen behoren.

Om overmatige gebouwschade te voorkomen kunnen ze op *Base-isolation* gezet worden. Dit hoofdstuk 5 geeft de principes en methodologie van *Base-isolation* weer en enkele voorstellen voor een Gronings *Base-isolation* systeem dat ingebouwd kan worden in bestaande baksteen bouw. Dit verbeterde en goedkopere systeem werd echter niet ontwikkeld.

Figuur 5-1. Gevel parlementsgebouw. Het historische parlementsgebouw van Wellington New Zealand werden na de aardbeving in Christchurch van 22 februari 2011 met nog 40 andere gebouwen op Base-isolation *gezet. Een ondergrondse tentoonstelling laat de techniek en werking zien.*[229]

Ofschoon er een beperkt aantal fragiele bakstenen monumenten in de provincie Groningen op *Base-isolation* zijn gezet, is het voor lage woonhuizen een erg dure operatie tenzij er een nieuw systeem wordt ontwikkeld zoals is voorgesteld in dit hoofdstuk.

Ofschoon er in de provincie Groningen van 2006 tot 2018 aardbevingen voorkwamen met een PGAg van 0,085 (Huizinge 2012, Richter 3,6) tot 0,11 (Zeerijp 2018, Richter 3,4) komen er met de definitieve vermindering van de aardgasextractie na 2020 geen aardbevingen van dergelijke grootte meer voor, hoewel enkele kleine schokken van maximaal PGAg 0,05 mogelijk zijn[230].

[229] https://wellington.govt.nz/your-council/projects/earthquake-strengthening-projects/town-hall-strengthening/about-the-project/base-isolation en https://www.tepapa.govt.nz/quake-braker

[230] Deze bewering is in tegenspraak met de NPR9998:2020, die een verhoging heeft vanwege verschillende onzekerheidsfactoren. De Mmax is dan PGAg 0,15 (inclusief de grondfactor) over een periode van 475 jaar.

Toen de extreem hoge NPR9998:2015 projecties met PGAg 0,42 (en later 0,36) werd gepubliceerd, zou volgens die PGA-waarde ruim 50% van de 250.000 woningen in de provincie onveilig zijn in de zin dat ze gedeeltelijk of geheel zouden instorten. Met de verdere verlaging in het kaartje van de NPR tot PGAg < 0,10 is het theoretische (gedeeltelijk of geheel) instortingsrisico naar nul teruggebracht. De gebouwen die dan nog enig risico oplopen zijn slecht onderhouden gebouwen die wel een hoog risico hadden (sommigen zijn gestut), maar tussentijds nog niet seismisch of op een andere manier zijn versterkt.

Als de theoretische maximale bevingswaarde van de NPR kleiner is PGAg 0,05 (ongeveer gelijk aan stormbelasting) is er theoretisch geen instortingsgevaar meer en dus is seismische versterking volgens de NPR niet meer nodig[231]. Volgens de NPR zijn de gebouwen dan veilig, **want ze storten niet in**. Echter, met dergelijke bevingen zal zich wel aanzienlijke scheurschade aan gemetselde gebouwen voordoen en zal er economische en vervolgens emotionele schade bij de bevolking ontstaan.

De bevolking zit niet te wachten op meer scheuren of verergering van scheuren; die wil helemaal geen scheuren en ook geen waardedaling van hun woning. De laatste NPR-norm is voor hen geen waarborg voor schadevrij wonen, terwijl er bij de bevolking geen begrip bestaat voor het zogenaamde veiligheidsaspect van “net niet instorten”. De bevolking wil geen scheuren meer, zo eenvoudig is dat.

Tegelijkertijd is er de nationale behoefte om alle (6 miljoen) woningen in Nederland te verduurzamen met het oog op de beperking van de gasconsumptie en de vermindering van energieconsumptie. Deze met het oog op de voortdenderende klimaatopwarming, veroorzaakt door de excessieve CO_2-uitstoot voor woningverwarming en de consumptiemaatschappij. Dat betekent dat er in de provincie Groningen bij meer dan 200.000 woningen veel extra thermische isolatie toegepast moet worden om aan de nieuwe en toekomstige milieueisen te voldoen (BENG).

Het volgende kan gesteld worden:

A. Het realiseren van muurherstel na een schaderapport zou voldoende gebouwversterking moeten inhouden, zodat er in de toekomst niet opnieuw scheuren optreden[232].

B. Het toepassen van betere thermische isolatie van de buitenschil van een gebouw is een bouwkundige ingreep waarbij het verstandig is om tegelijkertijd muurschade van zettingen en bevingen weg te werken en nieuwe scheuren in de toekomst te voorkomen. Het isoleren van woningen zou dus moeten samengaan mét scheurpreventie.

C. Slechts met deze twee maatregelen samen (seismisch en thermisch) is er echt sprake van verduurzamen. Om ze los van elkaar uit te voeren is economisch een slechte oplossing.

[231] Men gaat er van uit dat de huidige 2015 bouwnormen voldoende gebouwsterkte waarborgen. De maximale stormbelasting heeft ongeveer hetzelfde niveau heeft als de PGAg 0,05 belasting (bij vrijstaande woningen).
[232] In de praktijk is dit niet het geval. Muurherstel bestond meestal uit het dichtsmeren van scheuren, die bij de eerstvolgende kleine beving weer tevoorschijn kwamen en opnieuw “reparatie” behoefden.

5.1. Fragiele gebouwen en monumenten

De Nederlandse baksteenbouw werd vóór 2015 nooit ontworpen op aardbevingen, hoewel het huidige Bouwbesluit constructief adequate bouw oplevert die kleine schokken (PGAg < 0,05) zonder schade kan doorstaan, met uitzondering van doorzon- en rijtjeswoningen in stapelbouw. Oudere gebouwen van vóór 1980 zijn zwakker, en de vooroorlogse woningbouw is nog fragieler. Deze categorie zal dus gemakkelijk scheurschade oplopen, zoals is gebleken bij ongeveer 200.000 gebouwen sinds 2006.

Wanneer men van al deze gebouwen ook duurzame gebouwen wil maken, die minstens nog enkele generaties of >>100 jaar dienst blijven doen, is een combinatie van scheurpreventie en goede thermische isolatie van belang[233]. Voor scheurpreventie zullen betere funderingen nodig zijn, smalle raampenanten moeten versterkt worden, en de etagevloerdiafragma's versterkt en goed aan alle wanden verbonden. Dit betekent aanzienlijke interne of externe verbouwingen. Om gebouwen goed te isoleren moeten de buitenschil, het dak en de begane grondvloer buiten- of binnenzijdig geïsoleerd worden, hetgeen eveneens ingrijpende bouwkundige maatregelen zijn.

Ofschoon buitenzijdig isoleren en versterken voordelen heeft ten opzichte van binnenzijdig, mag bij monumenten vaak niets aan de buitenkant worden veranderd, terwijl bij sommige monumenten er ook aan de binnenzijde niets mag worden veranderd. Bij zowel buitenzijdig als binnenzijdig versterken is de maatvoering voldoende om daar dikke muurisolatie in aan te brengen, reden om dit tegelijkertijd in hetzelfde verbouw- of renovatieproces uit te voeren.

Bij de toepassing van de juiste vorm van *Base-isolation* is andere seismische versterking van een fragiel metselwerk gebouw niet meer nodig, en kan uitsluitend aandacht gegeven worden aan de verduurzaming van het gebouw in termen van thermische isolatie en vermindering van CO_2-uitstoot.

> Om B*ase-isolation* toe te passen moet een fundering 'op staal' vaak verbreed en versterkt worden. Ook moet een tweede fundering worden aangelegd die boven de B*ase-isolation* komt, of de hele gebouwplint met het begane grond vloerdiafragma versterkt. Het is dus niet zo dat B*ase-isolation* geen versterkingen behoeft of dat het goedkoop is. Hoe lager het gebouw is, hoe duurder B*ase-isolation* is t.o.v. de gebouwwaarde.

Figuren 5-2. Rijksmonumenten. De bestaande thermische isolatie van oude van voor 1920 gebouwen is vaak heel slecht. Binnenzijdig versterken levert vaak kostenverhogende complicaties op vanwege de decoraties.

[233] Voor het thema van dit document wordt niet gekeken naar de technische installaties die vaak nodig zijn bij een verduurzamingsproces en voor eigen energieopwekking. Elektrische leidingen, LTV, riolering en ventilatie met WTW vereisen eveneens veel binnenwerk.

5.2. Kosten afwegingen vóór maatregelen

Base-isolation is erg duur per m^2 grondoppervlakte, omdat de hele fundering dubbel moet worden uitgevoerd. De bestaande woning moet bij de huidige methoden in haar geheel opgetild worden om de *Base-isolation* eronder te krijgen. Met meerdere etages worden de kosten van *Base-isolation* per m^2 grondoppervlak lager. De kosten voor de thermische isolatie van de buitenschil volgens de minimum nieuwbouwnorm 2015 (inclusief glas en dak) per m^2 en de kosten van het verder verduurzamen tot NOM (Nul op de Meter) of BENG (Bijna Energie Neutraal Gebouw, 2021) zullen per m^2 vloeroppervlakte ongeveer gelijk blijven.

Figuur 5-3. Boven-fundering 1 m opgetild. Deze jaren '30 pastorie-woning in Garrelsweer[234] werd in 2017 voorzien van een boven fundering en daarna opgetild(250 ton). Hierna werd een platform onder-fundering aangelegd en een Base-isolation *op korte palen geïnstalleerd. Dit houdt nog geen thermische isolatie in, of opwaarderen naar NOM of BENG. Over de kosten werden geen mededelingen gedaan. Deze acties waren eigenlijk meer dure testcases om te kijken in hoeverre* Base-isolation *bij woningen kon worden toegepast. Praktisch gesproken was het niet noodzakelijk, gezien de werkelijke PGA.*

In de provincie Groningen werd sinds 2014 een aantal rijksmonumenten van *Base-isolation* voorzien, die aardbevingen volgens de toen geldende NPR9998:2015 aardbevingen met een PGAg 0,36 konden absorberen, waardoor er slechts weinig schade aan het gebouw zou ontstaan[235]. De operatie van het installeren van dit type *Base-isolation* kost een meervoud van de waarde van het gebouw.[236]

Met de blijvende en doorgaande verlaging van de aardbevingen en het aantal trillingen is seismisch versterken niet meer relevant, maar scheurpreventie nog wel, vooral voor monumenten en oude of zwakke gebouwen. Bovendien wordt thermisch isoleren en verduurzamen vanwege de klimaat opwarming steeds meer relevant. Bij een kostenanalyse van de te nemen maatregelen zou dus verduurzamen de prioriteit moeten hebben, maar de werkelijkheid is anders[237]. Om de verduurzaming te bewerkstelligen is een toegankelijk financieringssysteem zoals een speciaal bouwfonds nodig.

---

[234] Zie: https://www.cultureelerfgoed.nl/onderwerpen/praktijkvoorbeelden/overzicht-praktijkvoorbeelden/pastorie-opgetild
De kosten zullen méér zijn dan de waarde van het gebouw, waarna het gebouw nauwelijks meer waard is.

[235] Afhankelijk van het systeem zal meer dan 80% van de aardbevingskrachten door het systeem geabsorbeerd worden, hetgeen ook betekent dat de resterende <20% toch nog door het gebouw moet worden weerstaan.

[236] Zie: https://www.cultureelerfgoed.nl/onderwerpen/praktijkvoorbeelden/overzicht-praktijkvoorbeelden/pastorie-opgetild#:~:text=Monumentaal%20erfgoed%20heeft%20in%20Groningen,monumentale)%20gebouwen%20is%20een%20opgave.

[237] Veel oude woningen in de provincie hebben energielabel G. Veel eigenaren zien er tegenop om deze gebouwen op te waarderen naar energielabel A+ of BENG, hetgeen makkelijk 75% van de gebouwwaarde kan betekenen. Zonder extra fondsen die dit mogelijk maken wordt er dan niet verduurzaamd.

Figuur 5-4. Vrijstaand, bouwjaar 1905. Energielabel G. Woningwaarde 120 m² ≈ € 100.000 zonder grond.
Met steens muren, enkel glas en een niet-geïsoleerde vloer of zolder zal een dergelijke woning tussen de 40.000 en 50.000 euro kosten om te verduurzamen.

Om *Base-isolation* (dubbele fundering) toe te passen kost met een toepasselijk systeem uit Italië ten minste € 200.000. B*ase-isolation* vereist dus een extra groot budget in vergelijking met licht versterken en wordt daarom alleen toegepast voor monumenten en volledig op kosten van de schadeveroorzaker. Bij een toekomstig hoge PGA is het daarom relevant om lokaal een goedkoper, effectiever systeem te ontwikkelen dat aangepast is voor de kleine korte geïnduceerde aardbevingen en lage lichte woningen en niet op lange en brede tektonische aardbevingen en grote, hoge zware gebouwen.

5.3. Maximale horizontale verplaatsing

Er bestaan verschillende methoden van *Base-isolation* die elk toepasbaar zijn op verschillende gebouwmassa's en op verschillende wijze de overdracht van krachten doen verminderen. De volgende aspecten zijn relevant voor de bepaling van het type *Base-isolation*.

a. De trillingsfrequentie van de aardbevingen, in combinatie met de eigen frequentie van het gebouw. Er moet voorkomen worden dat er resonantie op kan treden wanneer de eigen frequentie van het gebouw gelijk is aan de trilling frequentie van de aardbeving.

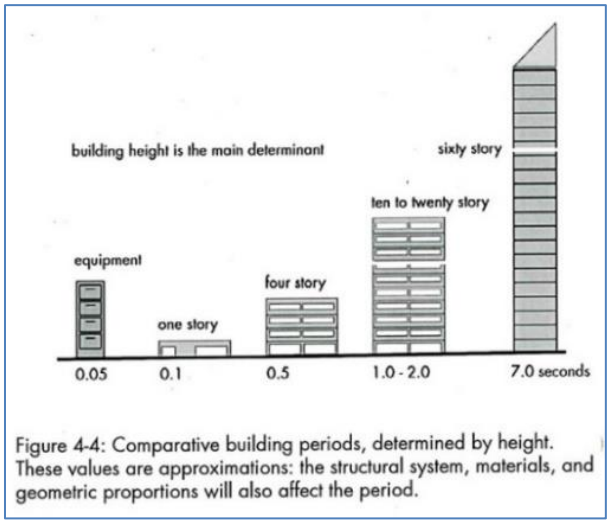
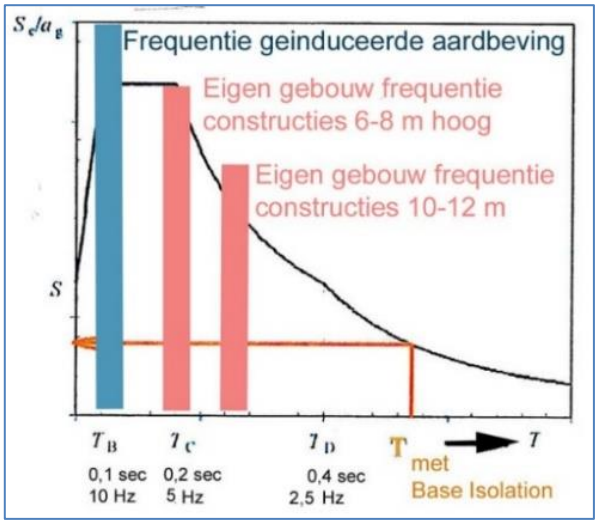


Figure 4-4: Comparative building periods, determined by height. These values are approximations: the structural system, materials, and geometric proportions will also affect the period.

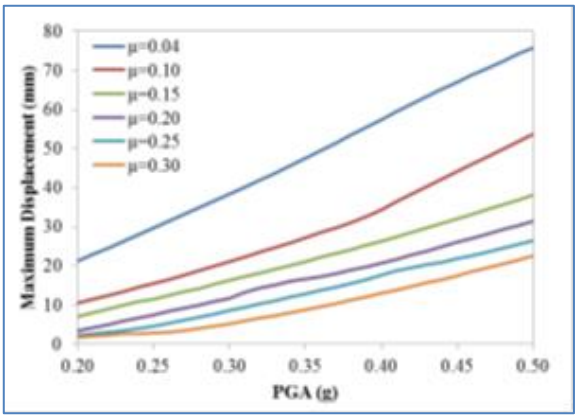


Figuren 5-5. De trillingsfrequentie. Deze wordt langer naarmate het gebouw hoger is.
Bij flexibele gebouwen wordt de eigen trillingsfrequentie langer, bij brosse baksteen gebouwen korter. Bij lage gebouwen van een of twee etages is deze ≈ 0,1 tot maximaal 0,2 seconde hetgeen ook de frequentie is van Groningse geïnduceerde bevingen (ongunstig!!!). Een licht-lopend Base-isolation *systeem dat al bij PGAg 0,03 werkt stopt deze horizontale trillingen.*

b. De maximale horizontale grondbeweging. Deze is gerelateerd aan de maximaal optredende PGA. Een *Base-isolation* systeem moet een maximale horizontale uitslag toelaten die iets groter is dan de maximale horizontale verplaatsing bij de aardbeving. Het *Base-isolation* systeem moet een progressief remmende of dempende functie hebben, tot aan een volledige stop iets voorbij de maximale uitslag.

Uit vele metingen van tektonische aardbevingen blijkt dat de horizontale verplaatsing van gebouwen kan oplopen tot enkele **decimeters** op funderingsniveau. Uit de huidige metingen van de geïnduceerde aardbevingen in de provincie Groningen lijkt het dat de maximale horizontale verplaatsing van de funderingen < 10 mm kan worden bij een PGAg 0,1 bij de laagste glijweerstand. Als de maximale PGAg < 0,3 is, dan is die horizontale verplaatsing **< 30 mm.** Uitgaande van de meest nadelige PGA zou de beweging in een *Base-isolation* systeem ongeveer 2 cm en maximaal 3 cm kunnen zijn.

Figuur 5-6. Gebouw ductiliteit μ. Deze is afgezet tegen de horizontale verplaatsing.
Bij de grootste stijfheid μ = 0,04 (bovenste blauwe lijn) en PGAg 0,2 is de verplaatsing 20 mm en klimt bijna lineair met de PGA. Dit betekent in de andere richting dat bij PGAg < 0,1 de maximale verplaatsing = <10 mm.[238]
Dat betekent dat de maximale horizontale verplaatsing van een Base-isolation *mechaniek voor Groningen ook erg klein is met ongeveer 2 cm.*



c. De waarde van de PGA en de uitslag is afhankelijk van de bovenste 30 m grondsoort onder het gebouw. Bij slappe gronden zal de maximale horizontale uitslag groter kunnen zijn dan bij vaste gronden, maar de PGAg kleiner. Bij paalfunderingen op een diepere zandlaag zal er daarom verschil zijn (kortere uitslag) met funderingen die 'op staal' zijn gebouwd.

d. De sterkte van het metselwerk van het gebouw. Het *Base-isolation* systeem gaat pas werken als er een bepaalde basis acceleratie is. Bij lichte gebouwen zal er dan nog een gebouwbelasting blijven bestaan van ongeveer 10% tot 20% en wordt 90% tot 80% van de krachten geabsorbeerd. Uitgaande van scheurpreventie moet het metselwerk heel blijven bij de resterende krachten. De metselwerk constructie moet dan de start 10% tot 20% kunnen weerstaan. De zwakste plaatsen in het metselwerk moeten daarom bepaald worden. In sommige situaties zullen dan toch versterkingen aan dat zwakke metselwerk getroffen moeten worden om scheurvorming te voorkomen.

Het bovenstaande betekent dat vóór het realiseren van een *Base-isolation* systeem er een uitgebreide gebouwanalyse gemaakt moet worden om te bepalen wat de massa en frequentie van het gebouw is, waar de zwakke constructies in het gebouw zitten, en wat de configuratie van het systeem moet zijn. Bij het uitgraven van de fundering moeten de bewoners vaak meer dan een jaar elders worden ondergebracht. De verschillende kosten samen overstijgen ruim de gebouwwaarde (nog zonder het te isoleren of verduurzamen).

[238] Berekeningen uitgevoerd door Arup in 2012-2013 gaven bij een PGAg 0,36 (op basis van de toenmalige NPR) een horizontale verplaatsing van <35 mm aan. Het Italiaanse model *Base-isolation* dat onder het gemeentehuis van Loppersum werd aangelegd heeft nog 15 cm bewegingsruimte op basis van de 2015 PGAg 0,42. Die operatie heeft > €4 miljoen gekost en is meer dan de totale gebouwwaarde.

Figuren 5-7. Geen seismische versterking. Niet bij alle gebouwen is dit mogelijk.
<u>Links:</u> Het kop-gebouw moet worden losgekoppeld van het achterliggende geouw en de kelder moet voor een Base-isolation *doorsneden worden of uitgebreid tot onder het hele gebouw.*
<u>Midden</u>: Dit gebouw met sousterrain staat ingeklemd tussen andere gelijksooortige zwakke gebouwen. Om een gebouw wel op Base-isolation *te zetten en de anderen niet is niet logisch.*
<u>Rechts:</u> De scheve toren is extra zwaar en massief ten opzichte van het schip en heeft meer steunpunten nodig. Om splijten tussen toren en schip te voorkomen moet onder het hele gebouw eenzelfde systeem komen.

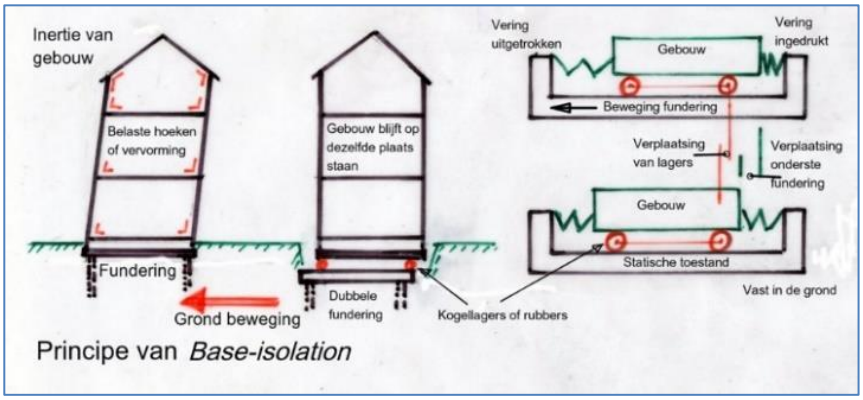
Figuren 5-8. Base-isolation *toepassing.*
Voorbeeld met inclusief de kelder van de Borg Rusthoven (1686) in Wirdum.
<u>Midden.</u> De beneden raamopeningen werden versterkt vóór het uitgraven. Er werd eerst een nieuwe dragende betonvloer onder het hele gebouw gemaakt.
<u>Rechtsboven</u>. Door de betonvloer heen werd met 40 vijzels op drukpalen het gebouw 1 m opgetild. Een nieuw platform onder-fundering werd aangelegd. Na montage van Base-isolation *kon het gebouw weer zakken. Twee jaar voorbereiding en 1,5 jaar bouwtijd. Dit waren interessante testcases over de toepassing onder oude gebouwen of monumenten.*

5.4. Technische Randvoorwaarden *Base-isolation*

A. Het *Base-isolation* systeem moet zodanig <u>licht-beweegbaar</u> zijn dat bij een versnellende horizontale grondbeweging van een aardbeving, het gebouw door haar inertie slechts heel weinig meebeweegt en daardoor niet belast wordt.[239] Hoe makkelijker en lichter het systeem beweegt, hoe kleiner de krachten op het gebouw worden.

[239] De zware stijve Italiaanse systemen met rubber en metaalplaten zijn ontworpen voor zware gebouwen en zijn ongeschikt voor lichte bakstenen woningen omdat ze dan nauwelijks een schok kunnen opvangen.

Het effect is slechts kleine aardbevingsbelastingen op de muren (10% tot 20%). De verticale aardbevingskrachten worden door de meeste *Base-isolation* systemen niet verminderd.



Figuur 5-9. Vermindering van belasting.
Bij een aardbeving ontstaan belastingen in twee horizontale richtingen.
In het vlak van de muren en loodrecht op het vlak van de muren en kolommen.
Bij base-isolation *zijn deze belastingen sterk gereduceerd met wel 80% tot 90%.*

B. Een *Base-isolation* moet centrerend (terugkerend) zijn, dat ervoor zorgt dat na de horizontale schok met verplaatsing van het gebouw, dat gebouw weer gecentreerd op haar fundering blijft staan. Een gebouw dat géén zelf-centrerend vermogen heeft, zal naast die fundering vallen. Het centrerend vermogen zit in het *Base-isolation* element of is apart van de *Base-isolation* geregeld door de onderste fundering en het gebouw met de bovenste fundering met een schokdemper te verbinden.

Figuren 5-10. Centraal elastisch rubber.
Kleine woning op Base-isolation met rondom glij-elementen.
Hier is centraal aan het frame een enkel rubberen element verbonden dat de horizontale bewegingen dempt en het gebouw weer centreert.

Omdat er meestal kleine trillingen zijn na elke grotere aardbeving, zullen de kleine trillingen ervoor zorgen dat het gebouw met het veersysteem weer centreert. Bij gelijktijdige verticale trillingen verlaagt de horizontale glij- of rolweerstand.

C. Het *Base-isolation* systeem moet in alle richtingen precies waterpas liggen, en mag niet beïnvloed raken door het eventueel kantelen van het gebouw. De onderste fundering mag daarom absoluut geen (plaatselijke) zakkingen ondergaan vanwege de verticale trillingen of andere oorzaken. Een fundering zal daarom bijna altijd eerst versterkt moeten worden, zodat deze niet kan zetten.

D. De boven de *Base-isolation* interface staande gebouwen mogen niet meer dan een paar mm horizontaal bewegen bij zware storm, windkracht Beaufort 10 ≈ 100 km/uur. Een erg licht lopende *Base-isolation* met rolmechanisme kan 'zeeziekte' van de bewoners in het gebouw te veroorzaken.[240]

[240] Dit is een potentieel probleem in Groningen want de aardbevingen of schokken komen niet meer uit boven de PGAg 0,05. De laatste schok, die als flink werd beschouwd (Loppersum 14 juli 2020, Richter 2,7 en PGAg 0,044) is al onder de limiet van de NPR9998:2020. De rol- of glij-start van een *Base-isolation* zou dan moeten beginnen op PGAg 0,02 en afremmen tot PGAg 0,1 bij een afstand van < 1 cm.

Het advies is dat het gebouw niet gaat rollen of schuiven bij een horizontale windbelasting tot ongeveer PGAg 0,02.[241] Hoe hoger de remming op de horizontale beweging is, bijvoorbeeld door een rubberen *Base-isolation*, hoe groter de krachten op het gebouw. Hoe zwaarder het gebouw, hoe groter de frictie bij een glij of glij-pendule systeem.

Figuur 5-11. Toepassing perspalen. Het rijksmonument de Maarlandhoeve te Uithuizen (1839).Dit gebouw werd als eerste Base-isolation *project met perspalen opgekrikt. Daarna werd er op de* Base-isolation *en nieuwe platformfundering gezet, waarna de perspalen werden verwijderd. De plaatfundering garandeert een waterpas en geheel zetting-vrije basis.*

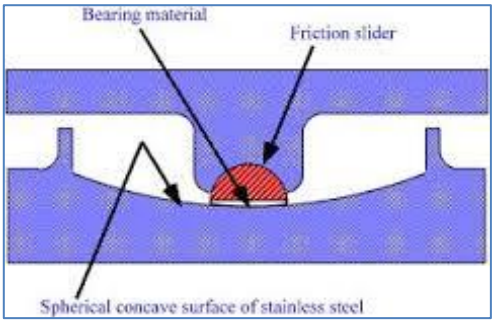
Figuren 5-12. Schokdempers (viscose weerstand). Tussen de onderste en de bovenste fundering. Deze horizontale schokdempers voorkomen dat stormwinden lichte of hoge gebouwen te veel doen trillen of bewegen. De sterkte van de schokdempers kan worden bijgesteld.

E. De belasting op elke unit moet ongeveer gelijk zijn.[242] Bij de meeste schuif en pendulum *Base-isolation* systemen is dit vooral belangrijk, want hier is de oplopende horizontale weerstand gebaseerd op het zijwaarts opdrukken van het glij-element of pendule binnen in de *Base-isolation* unit. Een gewoon pendulum systeem zal het gebouw dan iets optillen. In dat geval moet de belasting op elke *Base-isolation* unit eenheid gelijk zijn en de funderingen stijf om de eventuele drukverschillen te nivelleren.

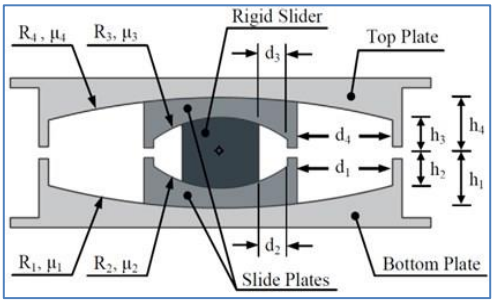
F. Bij fragiele gebouwen zoals oud metselwerk is het aanbevolen dat er geen opwaartse beweging in de *Base-isolation* units ontstaat tijdens de bevingen. Bij sommige *Base-isolation* systemen kan dit.

[241] Dit betekent dat het gebouw niet mag gaan scheuren bij een horizontale belasting van een PGAg 0,03. Voor nieuwbouw is dat geen enkel probleem; het ligt lager dan windbelasting. Voor erg oude bouw moeten er plaatselijk versterkingen worden aangebracht.

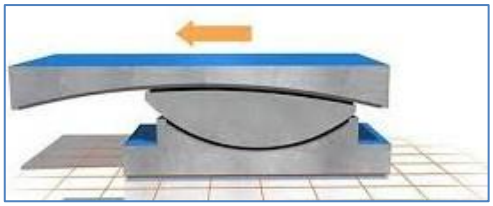
[242] Dit betekent dat bij een gebouw met verschillende massa's in de hoogte, de afstanden tussen de units onder het gebouw aangepast moeten worden zodat ze allemaal ongeveer dezelfde belasting hebben.



Figuur 5-13. Pendulum glider.
Deze schuift omhoog bij zijwaartse beweging
Hierdoor neemt de weerstand toe naarmate de helling in de kom steiler wordt. Het glij-element draait daarbij in de pendulum.



Figuur 5-14. Dubbele pendulum glider.
Bij de dubbele endulum-slider hebben de twee sets glijplaten (buiten en binnen) verschillende krommingen waardoor de zijwaartse en verticale beweging kleiner is dan bij de bovenstaande figuur, maar de zijwaartse weerstand bij een verdere verplaatsing wel vergroot wordt door de grotere hoek van de binnenste pendulum.



Figuur 5-15. Maurer dubbel concave slider.
Hier is er geen opwaartse beweging meer, maar verhoogt het binnen element wel de verhoogde zijwaartse weerstand. Voor animatie zie: Maurer dubbele pendulum
https://www.youtube.com/watch?v=bcbq1Bv19IE

Figuur 5-16. Roller systeem, vlak.
Bij sommige rollersystemen is er geen opwaartse beweging. De oplopende zijwaartse weerstand moet dan op een andere manier worden gecreëerd, bijvoorbeeld door veren of rubbers. Deze veren moeten ervoor zorgen dat het gebouw na de schok weer centreert. Dit is het optimale systeem voor baksteen woningbouw.

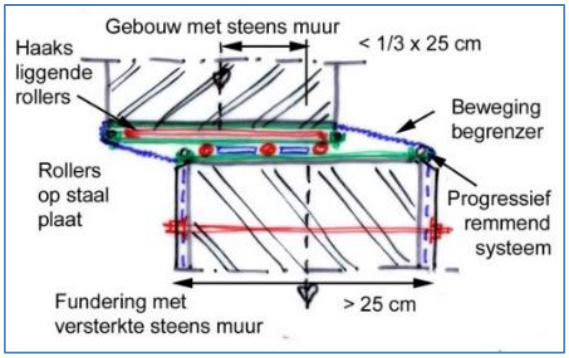
G. De maximale zijwaartse uitslag van het bovenliggende gebouw ten opzichte van de breedte van de *Base-isolation* mag niet groter dan 1/3de van het draagvlak van die *Base-isolation*. Er moet daarom een absolute begrenzing zijn binnen 1/3de van de breedte van de oplegging.

Figuur 5-17. Gemeentehuis Loppersum 2014.
Overheidsgebouwen moeten een hogere veiligheidsfactor hebben volgens de seismische code.
Bij een van de eerste ervaringen met Base-isolation *werd in 2014 het gemeentehuis van Loppersum aangepakt. Geïmporteerd* Base-isolation *systeem. Rechts: De kosten van deze operatie met uit Italië geïmporteerde* Base-isolation *units waren ongeveer 4 miljoen euro. Foto Dagblad vh Noorden*

Openbare en essentiële gebouwen (zoals een gemeentehuis) moeten een extra veiligheidsfactor hebben. De dikke kleilagen zouden bij langdurige zware tektonische aardbevingen een opslingereffect kunnen hebben (komt niet voor in Groningen). Op basis van de extreem hoge NPR9998:2015 werd toen een maximale horizontale uitslag (verplaatsing) van 15 cm bepaald. Het gebouw bleef tijdens de operatie in gebruik en het werk werd opgeleverd in december 2019.[243]

Figuur 5-18. Maurer systeem toegepast. Bij de pastorie-woonhuis in Garrelsweer en de Maarlehoeve werd een veel kleiner Maurer systeem toegepast dat een veel kleinere horizontale uitslag heeft, en geen verticale verplaatsing. De maximale horizontale verplaatsing is hier minder dan ¼ van de breedte van het inwendige dragende element.

Wanneer er in een versterkte steens gemetselde funderingsmuur (24 cm breed) een *Base-isolation* ingebouwd kan worden, dan mag de horizontale verplaatsing van het bovenstaande gebouw niet groter zijn dan een-derde of 24 cm/3 = 8 cm, anders komt de verticale gebouwbelasting naast de fundering en kan knik ontstaan[244]. De maximale zijwaartse verplaatsing kan 1/5de van de oplegbreedte zijn en zal bij voorkeur al optreden bij een PGAg ≈ 0,02 eerst makkelijk en dan geremd.



Figuur 5-19. Verplaatsing >1/3de oplegbreedte. Dit is al te groot, want dan zal de zwaartelijn van de bovenbouw aan de rand van de oplegging komen en een kanteling in de funderingsmuur kunnen veroorzaken. De maximale verplaatsing moet daarom < 1/4de van het draagoppervlak zijn (< 6 cm bij 25 cm breedte). Bij veel verplaatsing moet er dus een extra brede oplegging zijn. Bij PGAg 0,15 is de verplaatsing slechts 15 mm.

H. De horizontale beweging moet vanaf PGAg 0,02 worden afgeremd tot een stop aan de maximale horizontale afstand van het systeem. Dat wil zeggen dat de horizontale weerstand lineair of progressief tot de maximum uitslag moet oplopen tot een stop. Het gebouw mag dus niet met een harde schok tot stilstand komen bij het einde van horizontale verplaatsing.

I. Direct boven de *Base-isolation* moet zich een versterkt en stijf vloerdiafragma bevinden, of een stijve balkenstructuur, die ervoor zorgt dat het bovenstaande gebouw als geheel en eenvormig beweegt en kan worden opgetild. Het vloerdiafragma voorkomt dat de onderkanten van de muren niet afzonderlijk loodrecht op het vlak van de muren kunnen bewegen.

[243] Het is niet duidelijk of bij de kleine bevingen tot PGAg 0,05 het toegepaste glijsysteem gaat werken.
[244] Omdat de maximale horizontale verplaatsing bij PGAg 0,3 ongeveer 3 cm is en bij PGAg 0,1 slechts 1 cm, is een rol- of glijbreedte van 3 cm ruim voldoende en valt binnen toelaatbare marge van een smalle oplegging. In tegenstelling tot deze analyse van Arup wordt bij de Huizinge beving een horizontale grondverplaatsing tot 8 cm vermeld. Dit zou betekenen dat de systemen een verplaatsing van 9 cm moeten kunnen hebben.

Figuren 5-20. Aanleg platformfundering villa. Bij een villa in Loppersum werd eerst een volledige betonplaat onder het gebouw aangelegd en daarna het gebouwtje opgevijzeld.
Bij de Maarlandhoeve te Usquert (Figuur 5-11 en 5-21 beneden) werd een dragend stalen frame met ringbalken aangelegd. Dat werd daarna met perspalen omhoog gedrukt.

J. Direct <u>onder</u> de *Base-isolation* moet een sterk en stijf en <u>niet-verzakkende fundering</u> liggen. Omdat de meeste oude gebouwen die *Base-isolation* behoeven 'op staal' zijn gebouwd, is de aanleg van een platformfundering die ook 'op staal' onder het hele gebouw draagt een goede optie.

Figuren 5-21. Aanleg platformfundering hoeve.
Met een sterke balken fundering.
De Base-isolation *kan ook op de kolommen worden aangebracht*
<u>Rechts</u>: Platform fundering onder Maarlandhoeve.

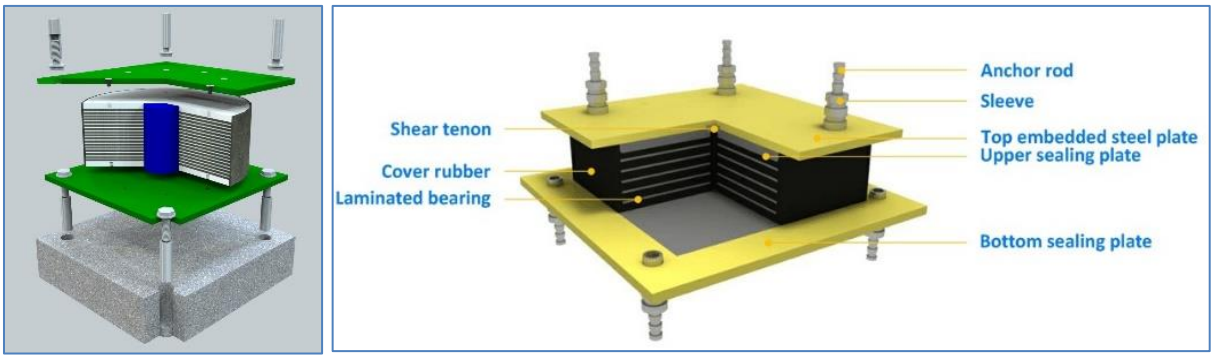
K. De huidige *Base-isolation* systemen wordt slechts door grote, gekwalificeerde ingenieursbureaus, architecten en aannemers uitgerekend en aangebracht. Deze werken moeten dan volgens de laatste versie van het kaartje van de NPR9998 aangegeven maximale aardbeving worden ontworpen en uitgevoerd.[245] Scheurvoorkomend versterken is volgens die NPR niet verplicht. De NPR-richtlijn voorkomst slechts instorting. Echter, omdat deze NPR-belastingen tot 2020 nog altijd groter zijn dan de werkelijk optredende maximale PGAg-waarden, zal onder deze omstandigheden seismisch versterken of *Base-isolation* ook scheuren voorkomen.

De in Groningen toegepaste *Base-isolation* systemen komen allemaal uit het buitenland en zijn op zich kostbare mechanieken, ontworpen voor zware (meerdere etages) gebouwen, tot hele hoge/zware gebouwen. Bij de grootste gebouwen gaan ze pas werken bij grote aardbevingen. *Base-isolering* die werkt met een lage startbelasting (< PGAg 0,03) en een kleine verplaatsing (< 2 cm) zijn het meest aangewezen voor Groningen. Voor kleine (lichte) nieuwe gebouwen zijn kleine rubberen systemen geschikt op stijve stalen fundering frames.

[245] Werkvoorbereiding inclusief de betalingsovereenkomst en berekeningen zijn voor de grote gebouwen vaak meer dan een jaar gemoeid. De al uitgevoerde projecten zijn daarom op oude NPR-normen gebaseerd. Het laatste kaartje van de NPR liep tenminste een half jaar achter bij de werkelijkheid. Met een half jaar bouw voorbereiding en een jaar uitvoeringstijd, is er samen ten minste twee jaar verschil tussen de NPR-waarden.

Gezien de lage aardbevingsbelastingen is het economisch niet relevant om deze dure systemen onder een bestaand gebouwtje aan te brengen. Nieuwbouw kan zonder extra kosten voldoende sterk gerealiseerd worden voor een PGAg < 0,05. Het aanbrengen van een *Base-isolation* onder nieuwbouw is daarom weinig relevant en heeft meer als doel om systemen en de uitvoering te testen.

Figuur 5-22. Nieuwbouw met stalen frame.
Na de Huizinge 2012 beving werden een paar noodklaslokalen op rubberen dempers (en metalen frames) geplaatst om aan de NPR9998:2015 waarde (PGAg 0,42) met verhoogde veiligheidseisen te voldoen. Om na 2020 nieuwbouwwoningen op Base-isolation *te zetten is overbodig.*
Foto van nieuwbouwwoning eind 2016.



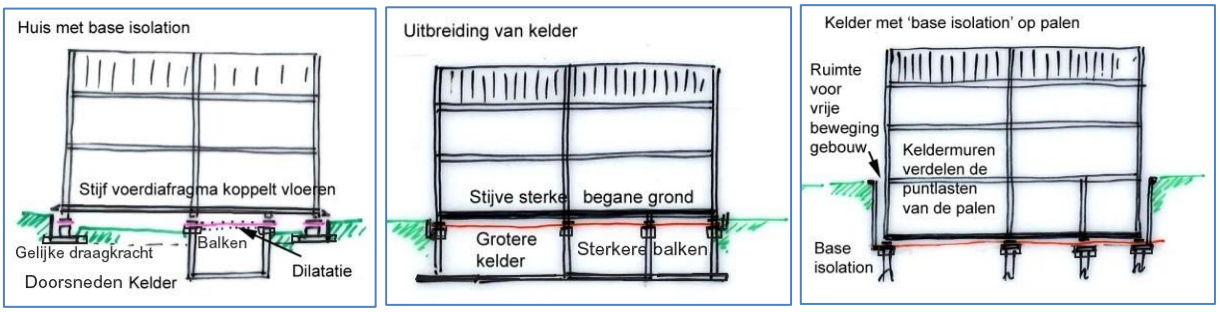
Figuren 5-23. Lead Rubber Bearing system.
Dit *LRB-systeem heeft een vervormbare loden kern die de demping van de beweging geeft. HDR of* High Damping Rubber *heeft alleen een stapel metalen platen met rubber ertussen. Het rubber is het elastische element dat het gebouw weer terug doet keren naar de start positie*

L. Het aanbrengen van een *Base-isolation* systeem onder een gebouw is precisiewerk en moet met zorg uitgevoerd worden. Vooral de glijsystemen moeten met 1/10de millimeter-nauwkeurigheid geplaatst worden en mogen absoluut geen zetting ondervinden. Bij verschillende druk gaan ze anders niet gelijktijdig bewegen, tenzij het bovenliggende diafragma heel sterk is en dat forceert.

M. De *Base-isolation* constructie moet roestvrij en waterdicht zijn en blijven. Omdat deze onder het gebouw zit kan grondwater en regenwater zo hoog komen dat de mechanismes onder water komen te staan. Dit mag op de lange duur geen vermindering van de eigenschappen veroorzaken. De materialen van de *Base-isolation* units mogen niet worden aangetast door water, zure grond, zuur grondwater, insecten, schimmels of knaagdieren. Een oplossing is om het systeem zo hoog mogelijk, net onder de begane grond vloer aan te brengen. Een andere oplossing is om ze in het duurzame EPDM butyl-rubber in te pakken.

Figuur 5-24. Voldoende beweegruimte. Het gebouw moet in de twee horizontale richtingenvrij kunnen bewegen, zonder dat de grond of infrastructuur een extra weerstand creëert. Foto Maarlandhoeve met platformfundering en hoge plint.

N. Het gebouw moet in de twee horizontale richtingen <u>vrij kunnen bewegen</u> voor de maximale uitslag van de *Base-isolation (<3 cm)*. Dit betekent dat de infrastructuur zoals riolering, elektra, gas, water, glasvezel riolering, telefoon, regenwaterafvoer en dergelijke <u>flexibele aansluitingen</u> moeten hebben. De kantplanken of andere constructies zoals afdekkingen moeten de vrije beweging van het gebouw toelaten. De afdekkingen van het *Base-isolation* systeem buiten rondom het gebouw, moeten voorkomen dat regenwater, bladeren en begroeiingen tussen het gebouw en de beweegzone kunnen komen. De afsluiting moet periodiek schoongemaakt kunnen worden. Deze afdekkingen moeten volledig weersbestendig zijn en voor de locatie voldoende mechanische sterkte hebben.



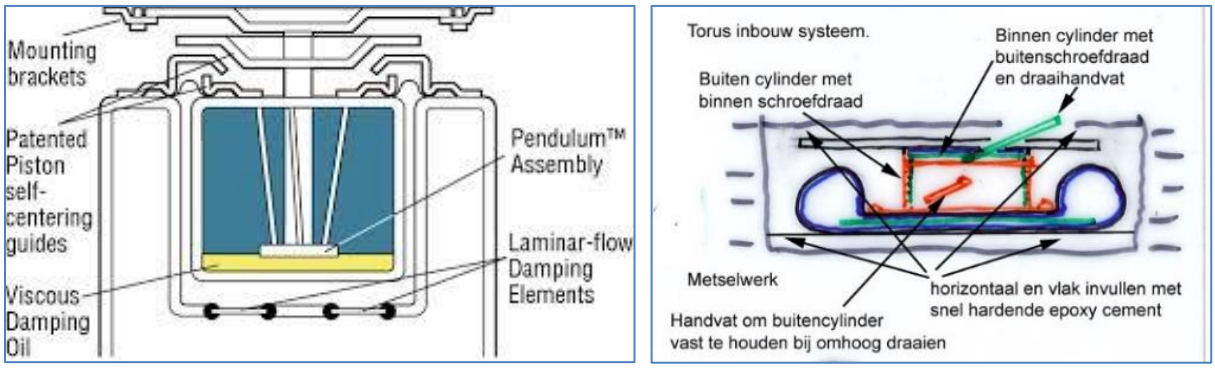
Figuren 5-25. Base-isolation *met kelders.*
<u>Links</u>. Alleen de plaatselijke kelder doorsnijden. De draagcapaciteit onder de funderingen moet hetzelfde zijn als onder de kelder en moet dan vergroot worden.
<u>Midden</u>. De kelder vergroten en dan de kelder doorsnijden; hierbij moeten de keldermuren versterkt worden.
<u>Rechts.</u> Base-isolation *onder de hele kelder, waarbij de paalkoppen horizontaal met balken moeten zijn verbonden om onafhankelijke horizontale beweging te voorkomen.*

Figuren 5-26. Flexibele waterleiding. De gele gasleiding moet langer zijn om de noodzakelijke beweging toe te laten.
<u>Onder</u>: Fernco flexibele koppeling vervaardigd uit een PVC-elastomeer, die in positie wordt gehouden door een RVS-klembanden. PVC Elastomeer heeft een zeer sterke trek- en scheursterkte, is enorm flexibel en niet onderhevig aan veroudering ("verrubberen").

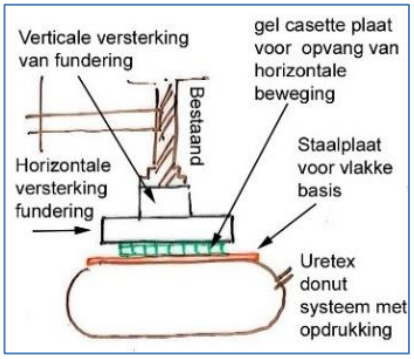
5.5. Overige *Base-isolation* systemen

Behalve de vier systemen die onder paragraaf F zijn genoemd en de twee systemen van Figuren 5-23 zijn er nog een groot aantal systemen op de markt die aangeven dat *Base-isolation* op veel verschillende manieren kan worden gecreëerd.

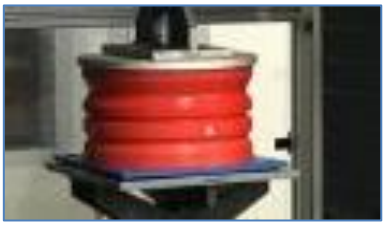
Figuren 5-27. Andere Base-isolation *systemen.*
Van links naar rechts: Spring-rubber diabolo, hoog veersysteem, enkele kogel in kom, strutpatent.



Figuren 5-28. Meer Base-isolation *systemen.*
<u>Links</u>. Piston-pendulum, bestaat ook met hangende platen.
<u>Rechtsboven.</u> Torus buffer, een rubber ring (autoband) gevuld met vloeistof door Hendrik Lenten uit Friesland (patent).
<u>Rechts</u>. Donut systeem toegepast onder enkele nieuwbouwprojecten in Groningen van Pieter de Bruin. In deze schets moet de balkenfundering een sterk netwerk vormen.



Figuren 5-29. Springveren en damwand.
<u>Links:</u> springsysteem. <u>Midden.</u> Japans springsysteem ook met bovenliggende rubber kern. <u>Rechtsboven</u>. Diepe dubbele damwand om een terp eiland. <u>Rechts</u>. Klein systeem van De Ruwbouw Groep voor lichte gebouwen in testopstelling (verticaal iets samendrukbaar), geschikt voor staalbouw.



Figuur 5-30. Eenvoudige montage.
Onder nieuwe gebouwen vereisen ze bij weinig steunpunten zware balkconstructies van beton of staal.
Units om de 3 m met zware balken.
Het rode systeempje (Figuur 5-29 boven) wordt om de 60 cm toegepast en kan voor versterkte kalkzandsteen binnenmuren worden toegepast.

Voor nieuwbouw is het aanbrengen van een *Base-isolation* systeem vrij eenvoudig, maar zal voor sommige systemen een zware balkenstructuur boven de onder-fundering vereisen. Dit zijn verhogingen in de bouwkosten. Hoe lager de woning, hoe meer deze extra bouwkosten op de begroting drukken. Bij een lage aardbevingsbelasting is *Base-isolation* voor nieuwbouw niet nodig. Het probleem in Groningen is dat een eventuele *Base-isolation* onder bestaande bakstenen gebouwen moet worden toegepast die van zichzelf al zwakke funderingen hebben.

5.6. *Base-isolation* voor bestaande bouw in Groningen

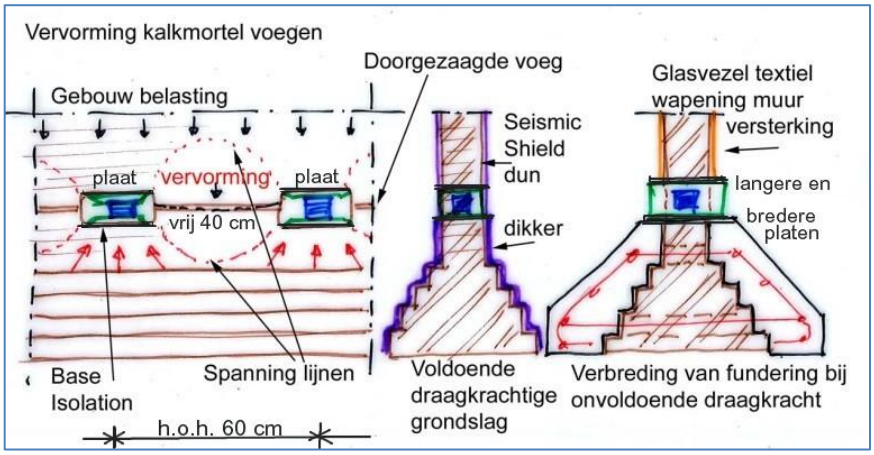
Tot op heden werden in de provincie Groningen uit Italië geïmporteerde *Base-isolation* systemen toegepast, die ontworpen zijn voor tektonische bevingen. Hiervan is het Maurer dubbele pendulum systeem (*Figuur 5-15*) de gunstigste oplossing is, omdat deze geen opwaartse beweging heeft[246]. Hieronder volgen een aantal voorwaarden waar een lokaal geproduceerd Gronings *Base-isolation* systeem moet voldoen en suggesties voor het ontwerp.

Op de eerste plaats moet elk systeem aan de in paragraaf 5.4 punten A tot en met N (Technische Randvoorwaarden) vermeldde voorwaarden voldoen. De volgende voorwaarden zijn belangrijk om de kosten bij bakstenen gebouwen laag te houden:

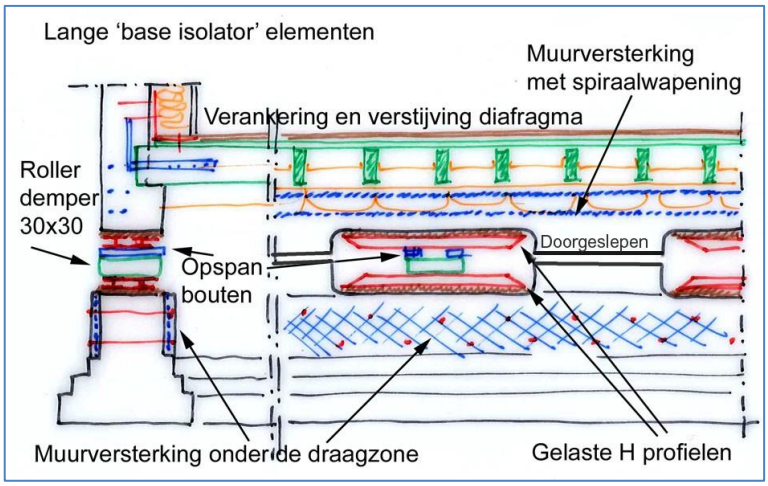
O. Bij muren van baksteen zal de onderlinge vrije afstand tussen de dragende platen van de *Base-isolation* eenheden beperkt zijn, zodat er geen grote puntlasten in de gemetselde muren optreden. De vrije overspanning tussen de draagplaten bij een gebouw (maximum twee etages plus zolder) zou bij baksteen of kalkzandsteen (< 60 cm, 3 strekken) of bij kalkmortel metselwerk van oude gebouwen (< 40 cm 2 strekken) moeten zijn. Door de onder- en bovenliggende oplegplaten van het systeem breed te houden, kan de afstand tussen de systeempjes groter gehouden worden. Dit betekent een afweging tussen metselwerk versterken (met lintvoegwapening), de draagplaat breedte en het aantal *Base-isolation* eenheden bij elke variatie. Bij minder gaten boren zullen de kosten lager worden, maar fundering versterking zal de kosten verhogen. Bij een serie productie van een eenvoudig systeem kunnen de kosten van het systeempje laag blijven. Aan de hand van de praktijk moet bepaald worden wat het beste evenwicht is tussen materiaal en arbeidskosten.

   Bij een draagplaatlengte van 40 cm, wordt bij kalkmortel metselwerk dan de hart-op-hart afstand tussen de systeempjes 40 + 40 = 80 cm. In een gevelbreedte van 4m zijn dat dan 6 systeempjes (inclusief de hoeken). Onder een gebouw met 40m^1 fundering zouden er dan ongeveer 50 systeempjes nodig zijn.

[246] Sinds 2012 werd > €100 miljoen aan onderzoeken besteed, maar niet aan de mogelijkheid om lokaal een geschikt *Base-isolation* te ontwikkelen dat makkelijk onder de bestaande baksteen bouw kon worden toegepast. De design competitie omvatte slechts technische ontwerpen voor boven het funderingsniveau.



Figuur 5-31. Vrije overspanning opening. Afhankelijk van het soort metselwerk, de gebouwbelasting en de mogelijke versterking van het metselwerk, moet de maximale vrije overspanning van het metselwerk bepaald worden.



Figuur 5-32. Verbreden van de draagplaten.
Door het metselwerk te versterken en/of de draagplaten te verbreden kan de h.o.h. afstand tussen de Base-isolation *eenheden groter worden, zodat het totale aantal units onder het gebouw minder wordt. Dat houdt dan ook een kleiner aantal units in. De keuze hangt af van de verschillende operationele kosten.*

De karakteristieke minimumwaarde voor metselwerk $f_{m,min}$ = 5,0 N/mm^2 voor gemiddeld cementmortel metselwerk (NPR 9998:2015). Kalkmortel metselwerk is $f_{m,min}$ = 2,5 N/mm^2.
De karakteristieke druksterkte van cementmortel metselwerk f_k = 6,2 N/mm^2.
Bij het maken van de openingen voor de installatie van de *Base-isolation* units mag de resulterende drukkracht in de overgebleven pieren niet hoger zijn dan deze waarde. Na het installeren van de *Base-isolation* units, en het doorzagen van de muur tussen de *Base-isolation*, mag de druk in het metselwerk direct onder en boven de units ook niet hoger zijn dan deze f_k = 6,2 N/mm^2, of de veel lagere waarde voor kalkmortel metselwerk f_k = 2,5 N/mm^2.

P. De funderingen 'op staal' moeten in bijna alle situaties verbreed en versterkt worden. Zij mogen geen zettingen meer ondergaan met een *Base-isolation*. Tegelijkertijd kan de muurzone boven de *Base-isolation* versterkt worden.

Q.

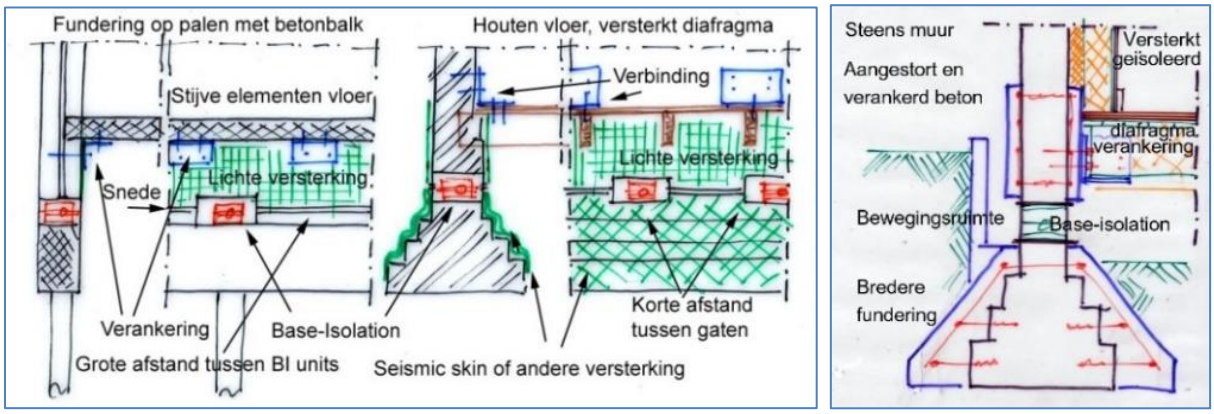
Verschillende methoden bestaan:

a. Het in-frezen en verlijmen van spiraalwapening in verschillende voegen aan de binnenkant en buitenkant van de muur.

b. Het toepassen van Seismic Skin™ of Eagle Skin™ glasfiber epoxy, binnen en buiten, of het beplakken met een strook Glasfiber of Carbonfiber met epoxylijm. De muur moet hiervoor goed schoongemaakt worden om goede hechting te garanderen.

c. Het met chemische ankers bevestigen van een U-profiel aan het metselwerk.

d. Het aanstorten van een verticale mantel van gewapend beton, met ankers in/door de muur.



Figuren 5-33. Carbon fundering wapening.
Bij een goede draagsterkte van de fundering kan deze aan beide zijden worden versterkt door SeismicSkin™ of Carbon-/glasfiber dat met een epoxy op de schone muur wordt geplakt.
Rechts. Een gewapende betonstrook aan weerszijden van fundering en steens muur. De keuze van versterken zal ook afhangen van de bereikbaarheid en de eenvoud van werken. Direct boven de Base-isolation *zal het begane grondvloer diafragma goed aan alle muren bevestigd moeten worden. Het vervangen van de hele begane grondvloer door een sterke en geïsoleerde vloer is vaak een van de opties.*

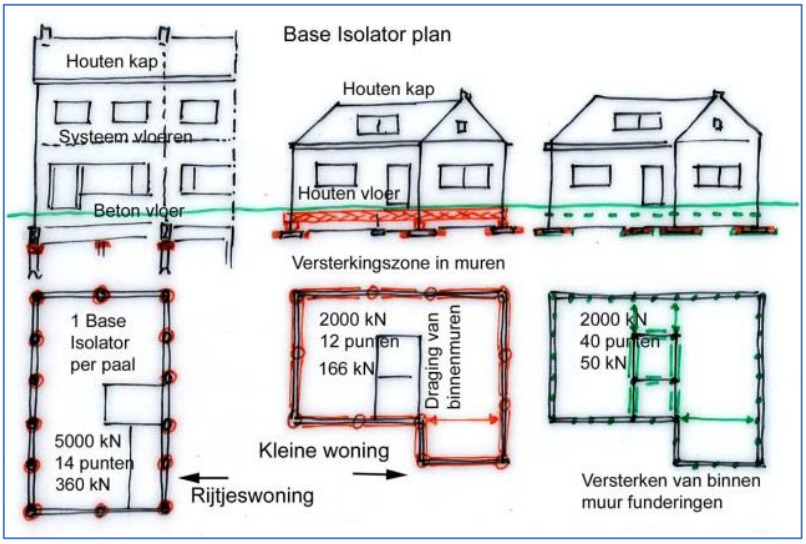
De hierboven geschetste voorwaarden zijn de ingrediënten voor een nieuw ontwerp voor een *Base-isolation* systeem dat in Groningen geproduceerd kan worden, zonder afhankelijk te zijn van dure geïmporteerde systemen die praktisch gesproken veel te breed zijn voor de mogelijke horizontale verplaatsingen en belastingen die bij de Groningse geïnduceerde bevingen voorkomen.

Er zijn twee onderdelen voor een klein Gronings *Base-isolation* systeem nodig:
(1) het rol- of glijmechaniek (licht-lopend, klein, centrerend, waterdicht) en
(2) het inbouw mechaniek (eenvoudig, klein gewicht, opspanbaar).
Beide componenten moeten goedkoop lokaal te fabriceren zijn door metaalbedrijven.

R. De *Base-isolation* units moeten zowel voor lage als hogere verticale belastingen kunnen werken, waarbij de horizontale weerstand (centreerkracht) voor verschillende situaties aangepast kan worden voor verschillende belastingmodellen. Bij weinig units onder een gebouw zal de verticale belasting per unit hoog zijn, terwijl voor veel kleine units onder een gebouw de unitbelasting laag zal zijn en ook de horizontale veerkracht.

Figuur 5-34. Belasting opties.
Onder een rijtjeswoning met betonvloeren kan de verticale belasting per Base-isolation *ongeveer 400 kN /unit zijn.*
Onder een lage woning met houten vloeren is dit ≈ 200 kN/unit.

Bij kalkmortel metselwerk en kleinere afstanden, kan de verticale belasting slechts 50 kN/unit zijn.
Een standaard unit zou tot 500 kN moeten kunnen dragen, terwijl de horizontale weerstand vier versies bij waarden van 50 kN, 100 kN, 200 kN en 500 kN kan hebben.



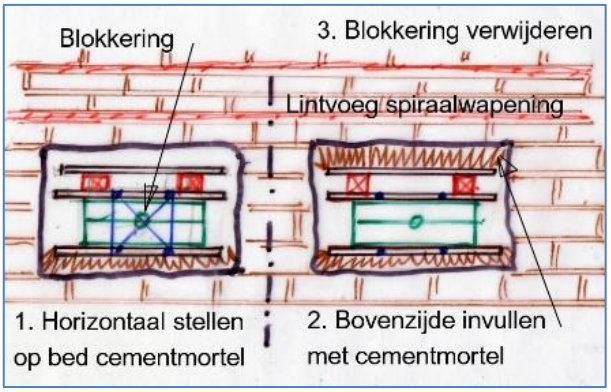
S. Wanneer het kalkmortel metselwerk erg zwak is (bij woningen van vóór 1900) zal vóór het maken van de gaten de muurdelen onder en boven de locatie van de Base-isolation **eerst het metselwerk tweezijdig goed versterkt moeten worden, inclusief het verbreden van de fundering.**

Het plaatsen van de *Base-isolation* units kan samengaan met het maken van een platform fundering. Door de gaten in een platformfundering hoger te maken kunnen direct daar, op de uitstekende nokken die in de muur gaan, de *Base-isolation* units geplaatst worden. Direct boven de *Base-isolation* units moet dan het sterke vloerdiafragma komen. De onderkanten van de muren moeten stijf bij elkaar gehouden worden.

Figuren 5-35. Platformfundering Base-isolation.
Wanneer de muur tussen de Base-isolation *units wordt doorgezaagd moeten de muurdelen boven en tussen de* Base-isolation *units de breedte overspannen en niet vervormbaar zijn. De kwaliteit van het metselwerk, de afstand tussen de units en de versterking van de muur met het diafragma zijn dan bepalend.*

T. De samengestelde onderdelen van de *Base-isolation* units, moeten per stuk lichter zijn dan 10 kg, zodat ze makkelijk met handkracht in één keer in de funderingen geplaatst kunnen worden, zonder de noodzaak van speciale til- en hijsapparatuur.

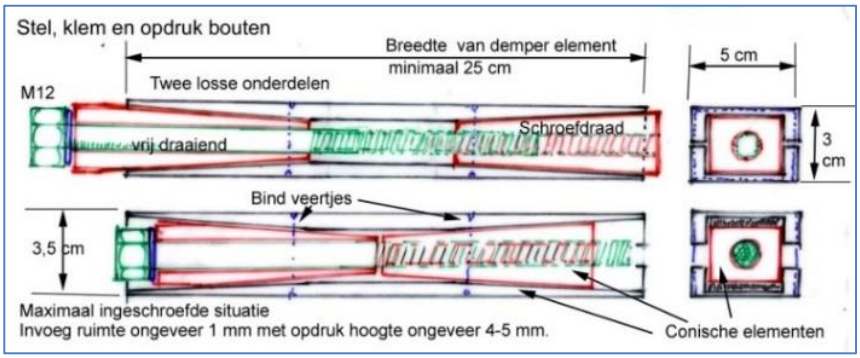
Figuur 5-36. Inbouwunit precies horizontaal.
Fase 1-3.
De units worden op een mortelbedje gesteld terwijl de horizontale beweging tijdelijk geblokkeerd is.
De 2de dag wordt de bovenkant met mortel goed uitgevuld met krimpvrije mortel.
Na verharding van de mortel wordt de blokkering verwijderd en de unit op volle spanning gebracht met wigbouten. Nadat alle units zijn opgespannen wordt de baksteen muur doorgeslepen.



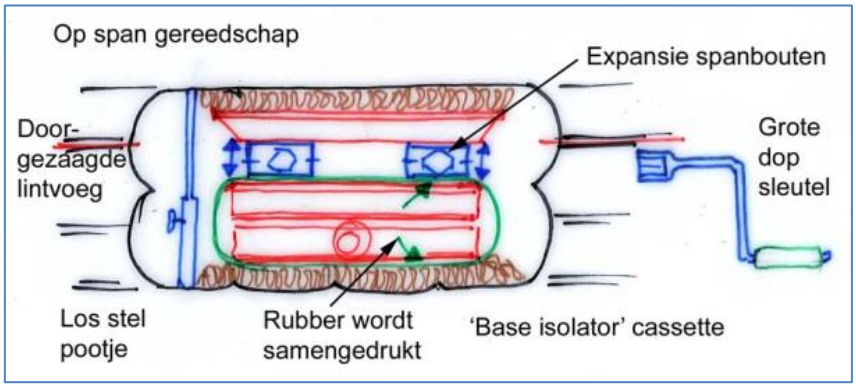
U. Wanneer na het plaatsen van de *Base-isolation* unit de stelmortel goed verhard is (minimaal een week) kan de unit op spanning gebracht worden. Met een schroefmechanisme wordt het metselwerk omhoog gedrukt totdat het tussen de openingen gaat scheuren.

Voordat men begint aan het opspannen van de *Base-isolation* cassette in de opening, kan men een uitschuif stelpootje verticaal in de opening plaatsen. Wanneer men de wiggen van de spanbouten aandraait (naar elkaar toe trekt), begint het systeem de baksteen muur boven de *Base-isolation* te dragen. Wanneer de bovenliggende muur volledig draagt en iets hoger wordt getild door het verder aandraaien van de spanbouten, zal het stelpootje vrijvallen. Hierna kan de lintvoeg tussen de openingen met de *Base-isolation* worden doorgeslepen (3-5 mm Corund slijpschijf) zodat het gebouw geheel vrij en alleen op de *Base-isolation* staat.

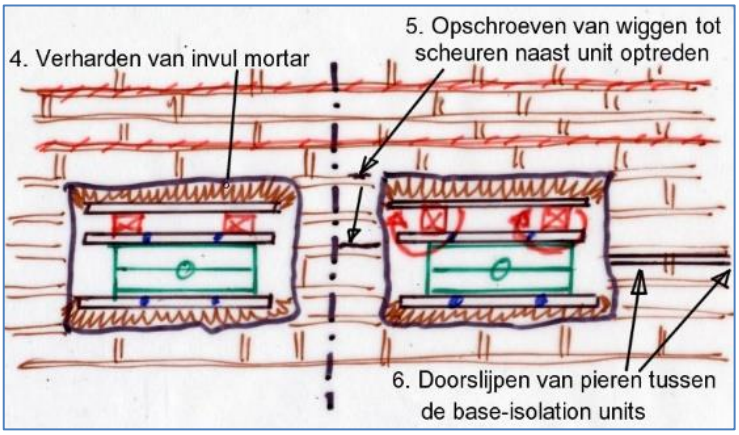
Figuren 5-37. Spanbouten mechaniek.
Door de bouten aan te draaien worden ze op spanning gebracht, net totdat het metselwerk van de penanten tussen de units gaat scheuren. Daarna kunnen deze penanten volledig worden doorgeslepen (3-5 mm slijpschijf dikte).



Met een powertool kunnen de bouten op de juiste spanning worden gezet.



Figuur 5-38. Inbouw unit.
Stappen 4-6.
Omdat bij versterking van de muren en een begane grond vloerdiafragma geen dubbele fundering nodig is kost dit 10% - 15% van de geïmporteerde systemen.

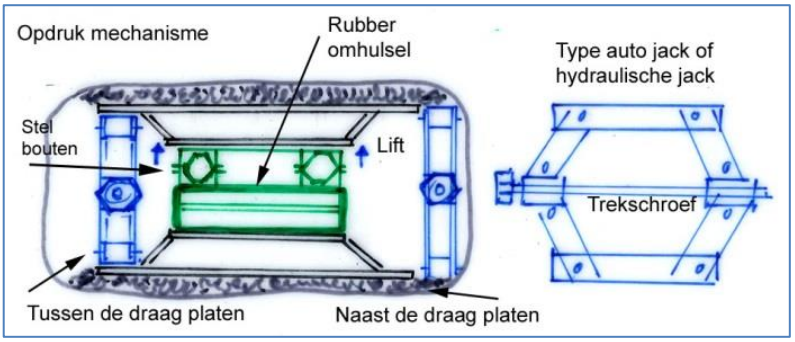


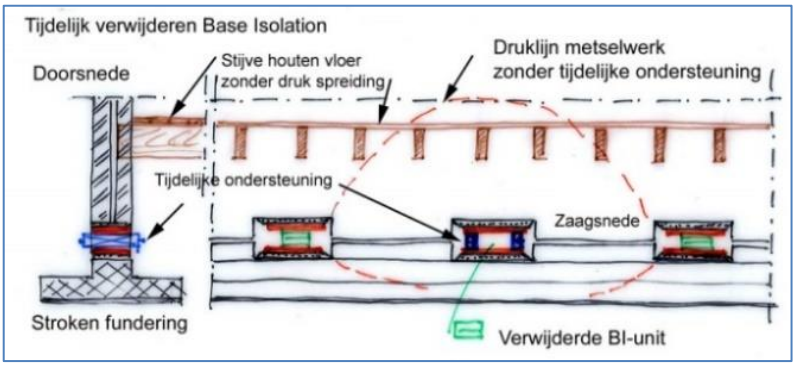
V. De dimensionering van de onder- en bovenliggende verdeelplaten en de klembouten hangt af van de totale kracht die nodig is om het metselwerk 0,1 tot 0,2 mm op te tillen. Bij bredere of grotere *Base-isolation* eenheden zullen de platen breder/langer zijn en misschien 3 bouten hebben.

W. In theorie is het mogelijk om dit model *Base-isolation* units na een verloop van een aantal jaren weer te verwijderen, bijvoorbeeld voor onderhoud of vervanging of permanente verwijdering. Dit kan door eerst de open gezaagde lintvoeg strak in te vullen en dan de bouten boven de *base-isolation* units weer terug te draaien, waardoor de druk op de units verdwijnt, waardoor deze uit de opening gehaald kunnen worden, en de opening dichtgemetseld.

Van dit ontwerp met zowel het rolmechanisme als het opschroef mechanisme werd een werkend model gemaakt.

Lokale metaalbewerkingsbedrijven in Groningen konden dit model produceren, maar van een test serie om het in 2014-2015 toe te passen in een testwoningen is het niet gekomen.



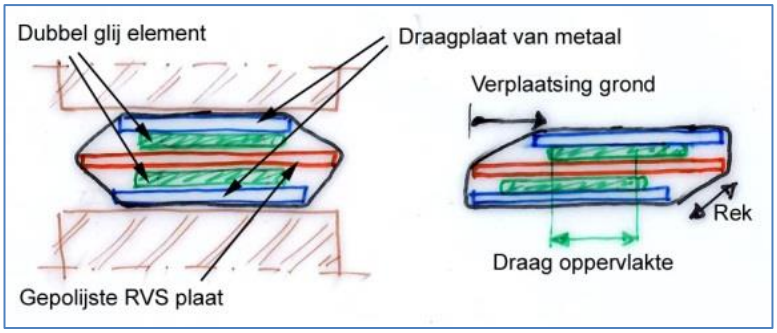


Figuren 5-39. Tijdelijke ondersteuning.
Dit kan met het type auto jack of hydraulische vijzel.
Er kan een tijdelijke metselwerk ondersteuning worden gemaakt door een vijzel (jack) naast het element in de opening te plaatsen. Door de stelbouten terug te draaien komen de units dan los. De stelbouten zitten aan de bovenzijde vast aan de ondersteuningsplaten.

Bij het beoordelen van de mogelijkheid om een dergelijk systeem toe te passen, moet er voldoende werkruimte zijn. Wanneer de oude houten vloeren uit de woning worden verwijderd om daarna vervangen te worden door een prefab elementen vloer met LTV-vloerverwarming is dit het geval. De nieuwe vloer moet een stijf diafragma aan de muren worden.

Wanneer de *Base-isolation* units na verloop van een flink aantal jaren een onderhoudsbeurt nodig zouden moeten hebben, zal de inbouwconstructie zodanig moeten zijn dat onderhoud op eenvoudige wijze mogelijk is, en niet opnieuw de gehele fundering uitgegraven hoeft te worden[247].

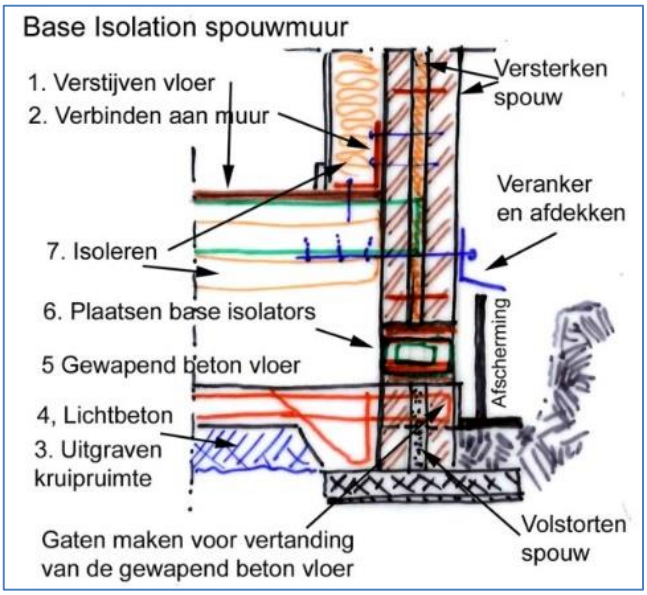
X. De *base-isolation* units moeten minimaal een 30-jarige technische levensduur hebben voor de mechanische onderdelen, het glij-element en het elastische rubber[248].



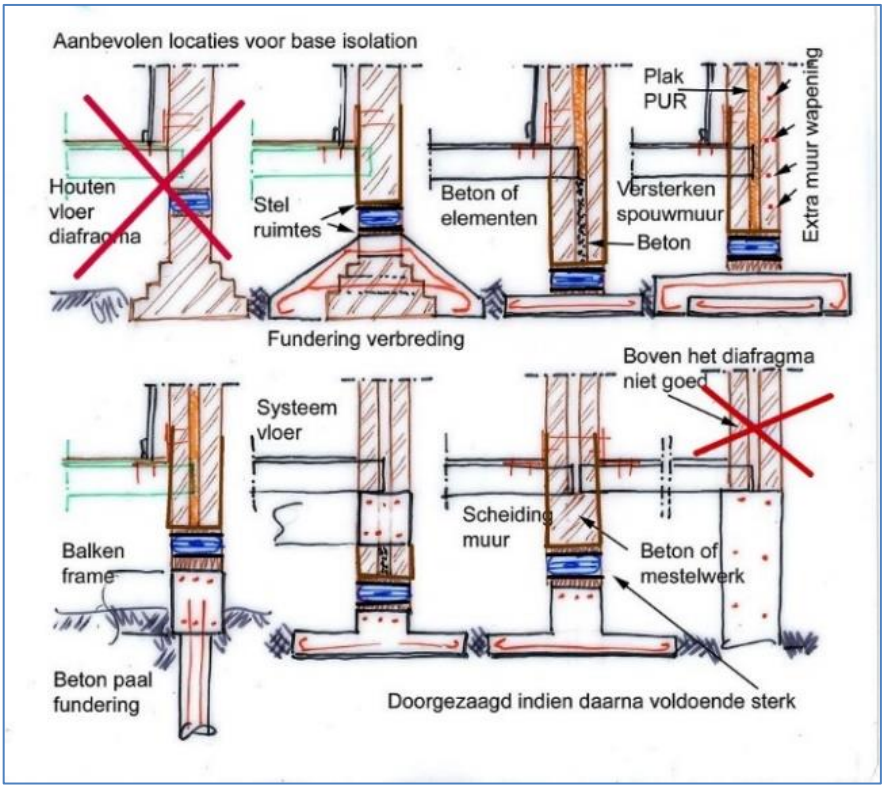
Figuur 5-40. In elastisch rubber ingepakt.
Een waterdicht en rekbare rubber omhulsel (EPDM) moet minstens 30 jaar goed blijven werken. Het Teflon binnen glijwerk moet goed blijven. De gladheid van de roestvrij stalen platen moet gegarandeerd zijn.[249]

[247] Bij het aflopen van de gas exploitatie zullen er na 2030 geen voelbare bevingen meer vooromen en zijn de toegepast *Base-isolation* elementen in feite niet meer nodig.
[248] Zie: http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_1492.pdf Replacement of Old Rubber Bearings of the first Base Isolators in the World. The expected lifetime is 40 years, related to the durability of the rubber.
[249] Wanneer de totale duur van de gasexploitatie niet meer dan 30 jaar zal zijn, moet het mogelijk zijn om *Base-isolation* units te maken die deze gehele periode geen onderhoud nodig hebben. Ontwerp vereiste.

Door slechts één enkel eenvoudig roller- of glij-ontwerp te maken dat lokaal geproduceerd kan worden en voor verschillende belastingen en gebouwen toegepast kan worden, zijn de fabricagekosten laag.
De meeste woningen met fragiel metselwerk zijn slechts één of twee etages hoog, eventuele met een zolder, waarvoor slechts één enkel type *Base-isolation* geschikt kan zijn. Voor grote kopgebouwen van oude boerderijen die dikke muren hebben, kan een maatje groter gemaakt worden. Voor elk type woning (vorm en massa) kan eenmalig een berekening gemaakt worden, waarna al diezelfde woningtypes (dus per typologie) op dezelfde seriematige en productieve manier van *Base-isolation* kunnen worden voorzien.



Figuur 5-41. Opvolgende stappen 1-7. Voorbeeld van een spouwmuur, waarbij het begane grond vloerdiafragma dicht boven fundering zit. In deze optie is de gehele fundering verbreedt door de toepassing van een platformfundering. Direct boven de Base-isolation *units moeten de twee bladen van de spouwmuur intensief met elkaar verbonden worden. De dragende plaat op de* Base-isolation *unit functioneert ook als spouwmuur verbinding.*

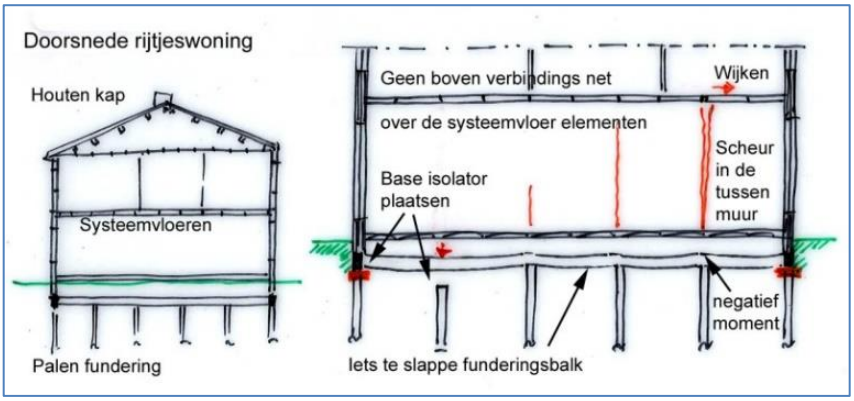


Figuur 5-42. Opties Base-isolation *plaatsen.*

Onderste schets rechts. Boven het vloerdiafragma kan het niet worden toegepast omdat de muren onvoldoende sterk zijn.

Wanneer bij een rijtjeswoning met zwakke funderingsbalken een *Base-isolation* tussen de paalkop en de funderingsbalk wordt geplaatst, moet deze balk tijdelijk goed ondersteund worden. Wanneer een rijtjeswoning betonnen systeemvloeren heeft, waar geen verbindend krimpnet overheen ligt, kan bij een verhoogde puntbelasting (door een aardbeving) de balk doorbuigen en de draagmuur doen scheuren en daardoor de etagevloer gaan wijken.

Figuur 5-43. Verticale scheuren op palen.
Bij een verhoogde punt of paalbelasting en slappe balken, kunnen verticale scheuren in de draagmuren ontstaan en de etage vloer gaan wijken wanneer deze uit niet-gekoppelde prefab elementen of een diafragma bestaat.



Bij het inbouwen van een *Base-isolation* op een paalkop, moet de funderingsbalk zettingsvrij ondersteund worden en de bovenkant van de paal onder de funderingsbalk worden afgehakt. Om de afgehakte paalkop en de aangepaste wapening wordt een verloren bekisting gebonden van hoge dichtheid EPS. Hierin wordt beton gestort, zodat een vlakke basis wordt verkregen voor het precies horizontaal plaatsen van de *Base-isolation* unit. Pas wanneer het beton van de paalkop en de epoxy mortel onder de *Base-isolation* zijn uitgehard, kunnen de schroefwiggen op spanning worden gesteld.

Figuren 5-44. Paalkop Base-isolation. *De vrij gegraven paalfundering is toegankelijk voor het aanpassen van de paalkoppen wanneer de fundering tijdelijk ondersteund wordt.*

Voor een mogelijk ontwerp van een klein, licht-lopend Gronings *Base-isolation* systeem komen de volgende opties in beeld:

I. Een glij-schuif systeem met Teflon glijders, waarschijnlijk het goedkoopste. Het probleem hierbij kan zijn dat de schuifweerstand te groot zal zijn en het gebouw bij een PGAg schok van > 0,03 niet gaat schuiven. Wanneer het gebouw pas met PGAg > 0,6 gaat schuiven dan zal de gebouw belasting toch weer ongeveer hetzelfde zijn als de geleden aardbevingen en de hele *Base-isolation* overbodig tenzij er hele zware aardbevingen worden verwacht.

II. Een rolsysteem met staaf rollers in twee orthogonale richtingen. Het voordeel van de rollende staven is dat de materialen weinig kosten en overal te vinden zijn.

III. Een rolsysteem met een laag kogelrollers. Kogellagers met een hoge druksterkte zijn alom beschikbaar, maar de plaat waarop ze rollen moet ook een erg hoge druksterkte hebben.

Alle drie met een start van het rol/glijsysteem bij een PGAg van 0,02.
Alle drie met een maximale uitslag van 3-4 cm en progressieve of lineaire remming tot PGAg 0,1.

5.7. De voor- en nadelen van de Teflon glijder

De Teflon[250] *Base-isolation* is een glij- of schuifsysteem. De werking hangt af van vijf aspecten:

- De mate van gladheid van het dragende oppervlak en de blijvende gladheid;
- Het soort materiaal van de schuiver;
- Het eventuele smeermiddel;
- De druk op de schuiver en daarmee de eerste glijweerstand;
- Het veer- en centreermechanisme;

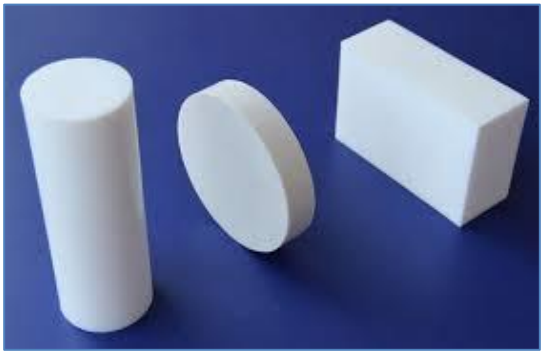
In Groningen is er na 2020 meestal slechts sprake van een enkele schok met kleine natrillingen, afhankelijk van de grondsoort en het gebouw[251]. Bij die eerste aardschok mag de schuiver niet blijven plakken op het draagoppervlak. Hoe kleiner de belasting op de *Base-isolation* is, hoe kleiner de schuifweerstand zal moeten zijn.

- In vergelijking met een rollersysteem zal een glij- of schuiversysteem wel initieel een iets hogere horizontale start-weerstand hebben. Dit is een voordeel, omdat het gebouw niet mag gaan bewegen bij sterke wind of een PGAg < 0,02 om ongemak voor de bewoners te voorkomen.

- De productiekosten van een Teflon schuifsysteem zal waarschijnlijk lager uitvallen dan een roller systeem omdat de materialen een Teflon systeem goedkoper zijn en minder materiaal vragen, terwijl de techniek van het maken ook eenvoudig is.[252]

- De draagkracht van de Teflon systeem kan zeer hoog zijn, waar bij een hoge belasting de schuifweerstand ook hoog zal zijn. De afstanden tussen de draagpunten kan echter bij metselwerk niet te groot zijn, waardoor de belasting laag blijft en de schuifweerstand klein.[253]

- Met grote onderlinge afstanden in de fundering, zullen de onder en boven draagplaten sterker en daardoor dikker moeten worden. Ook zal metselwerkversterking in meerdere lintvoegen nodig zijn. Een bredere opening stelt eisen aan het omringende metselwerk. Hier moet dus een balans gevonden worden tussen de kosten van het aantal units en hun installatie enerzijds, en de kosten van het versterken van het metselwerk anderzijds.



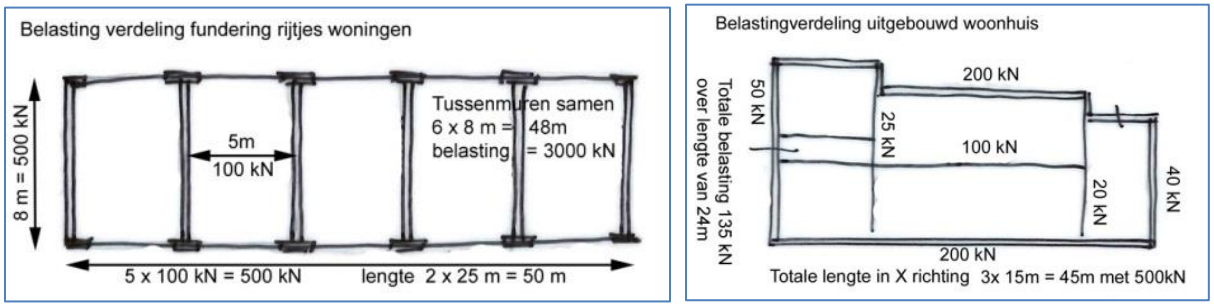
Figuur 5-45. Teflon producten.
Van DuPont.
Smeltpunt: 326,8 °C.
Formule: (C2F4)n.
Dichtheid: 2,20 g/cm³.
Druksterkte 25 N/mm²

[250] Wikipedia**:** Teflon is de merknaam van polytetrafluorethyleen (PTFE), een chemische verbinding die in 1938 ontdekt is door Roy Plunkett in het Jackson Laboratorium van de firma DuPont in de Amerikaanse staat New Jersey. IUPAC-naam: poly(1,1,2,2-tetrafluoroethylene).
[251] Alleen bij de aardbeving van 16 augustus 2012 te Huizinge was er duidelijk sprake van twee schokken die vlak na elkaar plaats vonden, waardoor de aardbeving langer duurde. Dit kwam daarna niet meer voor.
[252] In een gebouw met een oppervlak van 80 m^2 zijn al gauw 20-40 *Base-isolation* units nodig.
[253] In een research activiteit van het RUG, waarbij een schuifsysteem onder de hele muurlengte werd getest moest de PGAg worden opgevoerd tot 0,3 voordat er beweging in het systeem kwam. Dat is 3X zo zwaar als de zwaarste aardbevingen die zich in Groningen hebben voorgedaan.

Alternatieven zijn 'High Density Polyethylene' (HDPE) wat een beetje vettig aanvoelt en een soortgelijke druk kan weerstaan als Teflon[254]. Nylon (polyamide), kan een zeer hoge druk weerstaan tot 80 N/mm^2, hetgeen het ook zeer geschikt maakt als glijder. Bij het gebruik van Thermo-elastische kunststoffen zoals HDPE of Polypropyleen (PP) mag de maximale toelaatbare druk niet overschreden worden want dan zal blijvende vervorming optreden. De maximale druk van HDPE is 32 N/mm^2. Het iets hardere PP kan ook gebruikt worden. Hard Polyvinylchloride (PVC) kan ook een grotere druk weerstaan (80 N/mm^2) maar heeft mindere glijeigenschappen dan HDPE. Van de thermo-elastische kunststoffen loopt de toelaatbare druksterkte sterk terug bij temperatuurverhogingen, echter in de fundering zal de temperatuur onder de 20^o C blijven. Teflon kan versterkt worden met glasvezels waardoor het slijtage beter kan weerstaan, terwijl Nylon versterkt kan worden met Kevlar.

Figuur 5-46. Gepolijst marmer. Marmer[255] heeft een wrijvings-coëfficiënt van μ 0,05 tot 0,2 onder een druk van 1,6 to 3,8 N/mm^2 of Mpa.

Een rijtjeswoning met betonbalk/vloeren (massa ≈ 5000 kN) kan een verticale belasting op de tussen- of scheidingsmuur hebben van 4000 kN. Bij een 8 m lange fundering is dit 500 kN/m^1.
Met 1 *Base-isolation* per meter is de belasting 500 kN = 500,000 N. Bij een toelaatbare druk van < 20 N/mm^2 zou een glij-element van 25,000 mm^2 voldoende zijn (160 x 160 mm = 25,600 mm^2).
Dit element kan ≈ 3 cm aan weerszijden uitschuiven bij een constructie breedte van 24 cm. Meer glijders op kortere afstand en een lagere belasting zijn een optie.



Figuren 5-47. Belastingen rijtje en woonhuis.
Een balans moet per typologie woning gevonden worden tussen het aantal, de productie kosten en de kosten van het aanbrengen van het systeem.

Voor een woning met houten vloeren is totale massa bijvoorbeeld 1000 kN, met een maximale belasting per gevel van ongeveer 20 kN/m^1. Met 1 *Base-isolation* per 0,5 meter is de belasting 10 kN = 10.000 N. Bij een toelaatbare druk op de kunststof glijder van slechts 10 N/mm^2 zou een glij-element van 1000 mm^2 voldoende zijn (40 x 40 mm = 1600 mm^2). Minder glijders met een langere onderlinge afstand zijn een optie.

[254] De sterkste HDPE is PE 80 en 100 gas is conform de NEN-EN 1555/Gastec QA-merk geel dat in buisvorm een gasdruk kan weerstaan van 25 Bar. Zie http://www.concept.utwente.nl/exams/Samenvatting%20dictaat.pdf en http://www.onkenhout.nl/media/useruploads/files/nl/productinfo/draad_en_kabel/kunststofeigenschappen.pdf
[255] Zie document: http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/14_09-02-0017.PDF

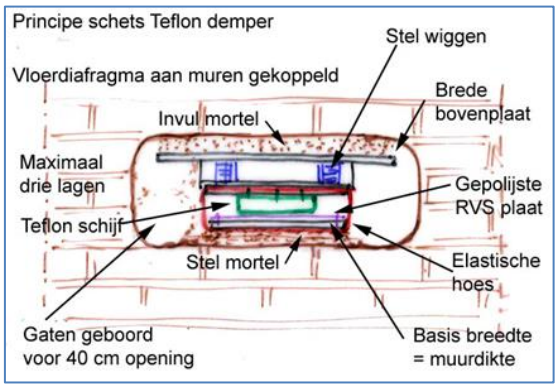
De twee berekeningen geven aan dat er voor de verschillende woningtypes een lage-druk en een hoge-druk Teflon *Base-isolator* voor de provincie Groningse gemaakt kan worden.

5.8. Detaillering van de voorgestelde Teflon *Base-isolation*

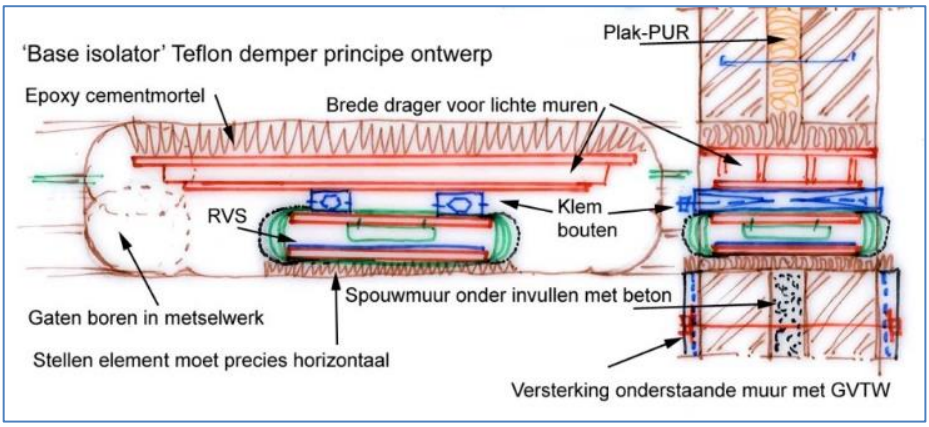
Dunne Teflon/Nylon schijf (≈ 2 cm dik) van maximaal Ø 15 cm of een vierkant, die op een gepolijste roestvrij stalen plaat schuift/glijdt. Twee stalen draagplaten zorgen voor de overdracht van de krachten op de gemetselde constructie. Een versterkte steens muur is minimaal 24 cm, een versterkte spouwmuur is minimaal 27 cm. Op de bovenste cassetteplaat en onder de boven draagplaat bevindt zich het verstelbare wig mechanisme, Figuur 5-30.

De gepolijste plaat is in de hoeken op de onderste drager plaat geschroefd. De twee metalen platen zijn langs de randen afgerond zodat het strak omsluitende rubber (EPDM, Butyl of Latex) niet beschadigd wordt bij een zijwaartse elastische vervorming.

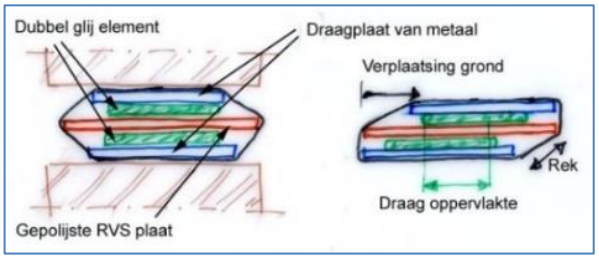
De randen van de rubberen envelop zijn aan elkaar geplakt (gevulkaniseerd) zodat de twee haaks op elkaar liggende rubbers een gesloten doos vormen. De dikte en sterkte van de rubbers moet bepaald worden volgens de gewenste rekweerstand. Als alternatief kunnen aparte schokabsorberende verbindingen tussen de twee funderingen gemaakt worden. Dit *Base-isolation* systeem kan met een enkele of dubbele glijder worden gemaakt.



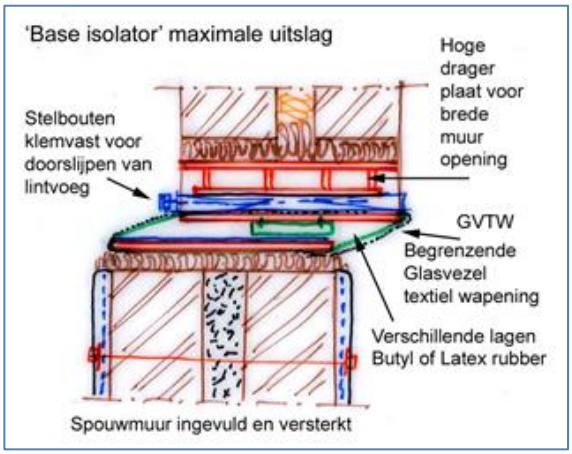
Figuur 5-48. Glijder en inbouwelement.
De breedte kan worden aangepast door het inbouwelement en de onderliggende dragende plaat breder te maken. Het geheel kan in drie lagen metselwerk worden uitgevoerd.



Figuur 5-49. Spouwmuur constructie.
Hier zullen de spouwbladen op en onder de drager met elkaar verbonden zijn. Het is ook mogelijk om de spouwbladen te verbinden met ingeboorde spiraalwapening.

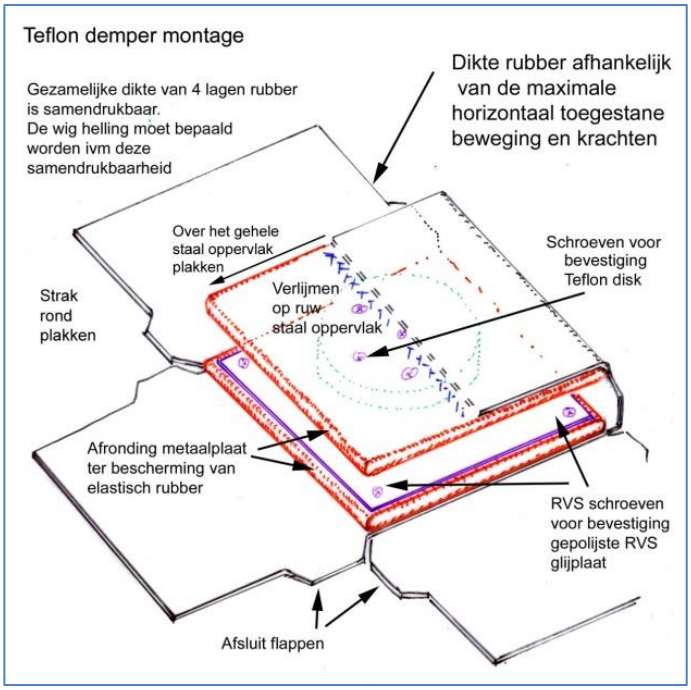


Figuur 5-50. Dubbele teflon glijders. Deze zijn duurder dan enkele glijders.
Optie met twee teflon platen is moeilijker te maken, daardoor duurder en daarom een minder logisch ontwerp dan de enkele glijder.



Figuur 5-51. Horizontale uitslag.
De brede stroken elastisch rubber geven in de twee loodrecht op elkaar staande horizontale richtingen de oplopende trekweerstand van de bovenste plaat ten opzichte van de onderste plaat.

Inbouw van Base-isolation *unit.*
Maximale uitslag inde fundering
< 3 cm bij PGAg 0,3

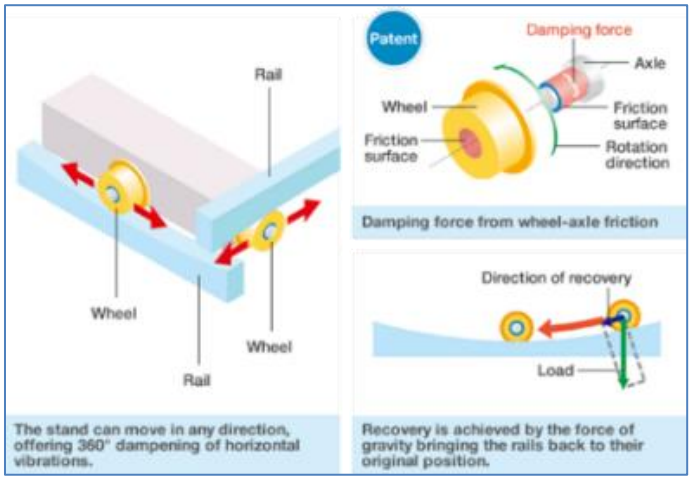


Figuur 5-52. EPDM elastisch omhulsel.
Vanwege een mogelijk hoge grondwaterstand zal het beweegbare pakket waterdicht moeten zijn.

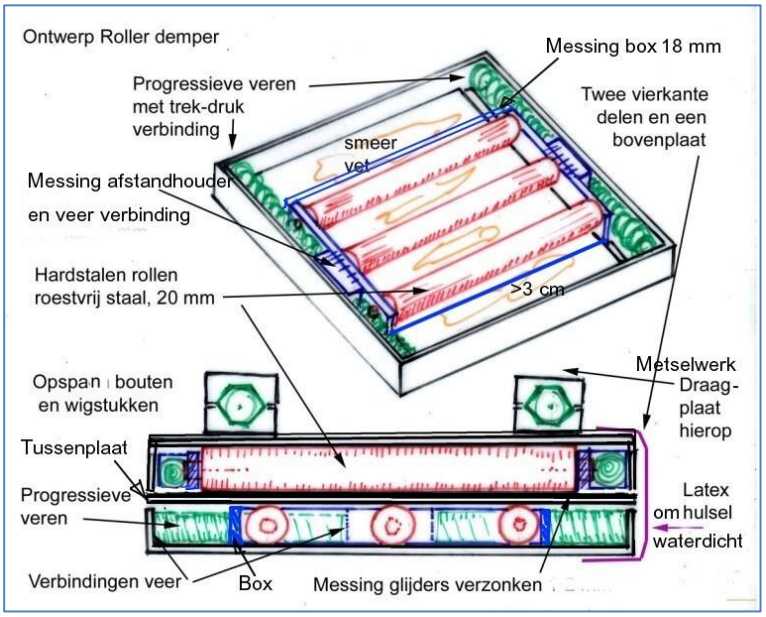
5.9. Detaillering van het voorgestelde naaldrollersysteem

Een naaldroller *Base-isolation* heeft naast de eerdergenoemde algemene criteria het volgende:

- Hoe harder en gladder het oppervlak van het draagvlak en de rollers zijn, hoe kleiner de rolweerstand. De keuze van de materiaalsoorten en de afwerking is belangrijk.
- Naaldrollers zijn in twee loodrecht op elkaar staande richtingen aangebracht met een plaat ertussen. De constructie hiervan is daarom ingewikkelder dan het enkele glij-mechanisme.
- De draagkracht van een rollersysteem kan heel groot zijn. Het contactoppervlak van de lange lijnen is redelijk groot. Bij kogellagers is dat kleiner.
- De dragende platen van de naaldroller *Base-isolation* mogen niet doorbuigen door de belasting. Bij doorbuiging moeten ze een helling oprollen waardoor de weerstand vergroot.
- Hoe hoger de belasting, hoe groter de rolweerstand zal zijn, maar dit is minder significant dan bij een glij-mechanisme. De weerstand kan met veren worden gemaakt of door het rubberen omhulsel worden verkregen.
- De naaldrollers moeten bij de geleidingen aan de zijkant blijvend gesmeerd zijn.
- Er zijn in elk van de twee lagen drie naaldrollers nodig, die haaks op elkaar bewegen.
- Ronde staven voor naaldrollers zijn in de markt verkrijgbaar en het systeem is daarom eenvoudig te fabriceren door lokale metaalbedrijven.

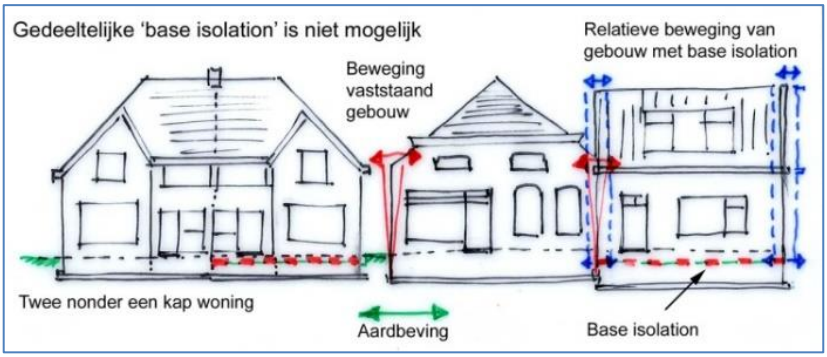


Figuren 5-53. Licht lopend rol-systeem.
Deze wiel systemen gaan al werken bij een PGAg van 0,02 en kunnen geschikt zijn voor de Groningse fragiele baksteen woningbouw.
<u>Links.</u> Systeem van twee keer drie wielrollers, elk op een holle basisplaat. Door de kromming zal het systeem weer naar het centrum terugkeren. Dit is moeilijker te maken dan naaldrollers op vlakke plaat.



Figuur 5-54. Drie parallelle naaldrollers.
Samen in een messing houder.
Deze zijn met trek-druk veren aan het om-frame zijn bevestigd. De twee sets rollers staan haaks op elkaar. De doosafmeting kan ongeveer 24 cm x 24 cm zijn (steens uur). Dikte 4 cm.

Het hier aangegeven naaldrollersysteem kan door elk metaalbewerkingsbedrijf worden gemaakt. De sterkte van de veren kan bepaald worden naar aanleiding van de gebouwmassa. Een standaard systeem kan verschillende belastingen hebben door de afstanden tussen de inbouw elementen aan te passen aan de belasting van het gebouw.



Figuur 5-55. Scheidingen tussen gebouwen.
Aan elkaar gebouwde woningen moeten allebei op eenzelfde systeem gezet worden of goed gescheiden.

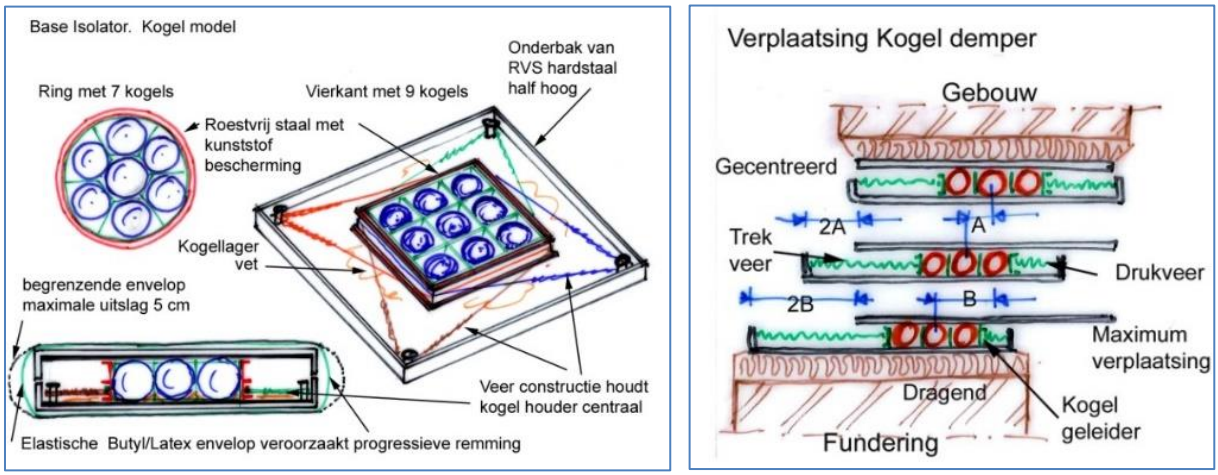
5.10. Kogelroller *Base-isolation*

Het ontwerp van een kogelroller base-isolator heeft de volgende overwegingen:

- De rolweerstand van de kogels hangt af van de hardheid en gladheid van het oppervlak van het draagvlak en van de kogels. De keuze van de metaalsoorten en de afwerking/polijsten zijn hier belangrijker dan bij een roller. Kogels voor kogellagers zijn in veel maten verkrijgbaar. Bij een hogere hardheid en gladder polijsten van de plaat zijn de productiekosten hoger.
- Hoe groter de kogels hoe minder de weerstand. Een enkele kogel is mogelijk, maar met meer kogels kan met een mindere hardheid volstaan worden. De opties zijn 4 (in vierkant), 7 (zeshoek met 1 centrumkogel) of 9 kogels (3 x 3).
- Met meer dan een kogel moeten er schotjes van kunststof (HDPE, Teflon of Nylon) tussen de kogels zitten, of een geleidende kap hebben, zodat ze niet tegen elkaar aan rollen.[256]
- De horizontale afstand waarop de eerste elastische remming aanvangt, hetzij door ingebouwde of externe veren, hetzij door een rubber omhulsel, moet per gebouwtype bepaald worden. Als alternatief kan er een standaard ontwerp gemaakt worden en de inbouwafstand in het gebouw gevarieerd woorden naar gelang de gebouwbelasting.
- Kogelrollersystemen zijn eenvoudig te fabriceren door lokale metaalbedrijven.

Figuren 5-56. Kogelroller- systemen. Rechts. Met 9 kogels in een vierkant.

Overeenkomstig met het glij *base-isolation* systeem is slechts een enkele laag kogel(s) nodig om in beide orthogonale richtingen de beweging toe te laten. Door de kogels in een kunststof houder te plaatsen en deze met veren aan de rand van de container te verbinden zal het systeem centreren. De sterkte van de veren is dan afhankelijk van de gebouwbelasting.



Figuren 5-57. Kogel Base-isolation *ontwerp.*
Vanwege het eenvoudige ontwerp kan dit lokaal gemaakt kan worden.

Vooral het inbouwmechanisme, dat in verschillende afmetingen (breedtes) kan worden gefabriceerd is een interessante optie voor oude baksteen metselwerk gebouwen zoals fragile monumenten.

[256] In sommige ontwerpen heeft elke kogel haar eigen lager: http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/13_439.pdf

5.11. Toepassing bij Groningse woningbouw

De versterkte gebouwfundering met begane grond vloerdiafragma moet op de *Base-isolation* komen te staan en die zelf op een stabiele onderliggende fundering ligt. Deze onderliggende fundering kan bestaan uit een volledige plaatfundering of een balkenfundering (op palen).

De combinatie van de bovenstaande maatregelen en de keuze van een geïmporteerd (tektonisch met grote uitslag) systeem voor grote gebouwen is erg kostbaar voor kleine gebouwen en vergeleken met de gemiddelde waarde van dergelijke gebouwen. Het is economisch zelden relevant om deze maatregelen te ondernemen, omdat de extra kosten > 100% meer zijn dan de toekomstige waarde van de woning. Hier meestal gaat over kleine woningen van het type rentenierswoning van één etage of anderhalve etage, soms over grotere.

Figuren 5-58. Kalkmortel gemetselde woningen.
Woningen met slechts één of anderhalve etage, waarbij het maken van een platformfundering al ongeveer evenveel kost als de waarde van het gebouw.
De additionele kosten van een tweede fundering én een geïmporteerd Base-isolation *zullen de totale kosten van het gebouw mét* Base-isolation*, de gebouwwaarde zwaar overstijgen.*
Als er een goedkope methode van Base-isolation *ontwikkeld kan worden, zal het voor meerdere karakteristieke gebouwen mogelijk zijn dit toe te passen en economisch relevant zijn.*

Van gebouwen met een in **cementmortel gemetselde fundering op staal** geldt eigenlijk hetzelfde, maar in dit geval zou de verbetering van de draagkracht van de funderingen vergroot kunnen worden met het eveneens voorgestelde Vulpaletten systeem. Het voorkomen van elke vorm van ongelijke zetting is een basisvoorwaarde voor het goed functioneren van het *Base-isolation* systeem.

Figuren 5-59. Cementmortel woningtypen.
In de provincie Groningen zijn veel woningen met steens muren die in cementmortel zijn opgetrokken. Het trasraam heeft vaak een hardere baksteen en mortel. De nettowaarde van de woningen zonder de grond is meestal niet erg hoog. Een dubbele fundering aanbrengen is erg kostbaar.

Gebouwen met **gewapend betonnen balkenfundering en ⊥ plaat verbreding op staal** die volledig onder alle muren doorloopt en aan elkaar gekoppeld is, kunnen een inbouw *Base-isolation* systeem krijgen volgens een van de voorgestelde systemen. Al deze opties worden meer rendabel met een goedkoop lokaal geproduceerd systeem.

Figuren 5-60. Historische villa. Deze heeft een goede metselwerk kwaliteit. Dit gebouw kreeg een tweede betonnen fundering. Bij een PGAg 0,1 was er echter nauwelijks iets aan de hand.[257]

Echter, wanneer er geen grotere bevingen meer komen dan PGAg 0,05, zoals de projectie voor 2021 en later is, is het seismisch versterken niet erg relevant. Aan de andere kant, als er wordt besloten dat het restant gas (ongeveer 1/4de) alsnog uit het Groningse gasveld gehaald moet worden, dan kunnen er weer lichte bevingen verwacht worden van rond die de sterkte van PGAg < 0,07 wanneer men dat heel gespreid én geleidelijk doet. In dat geval is een *Base-isolation* systeem wel geschikt voor een aantal monumenten en een flink aantal karakteristieke panden.

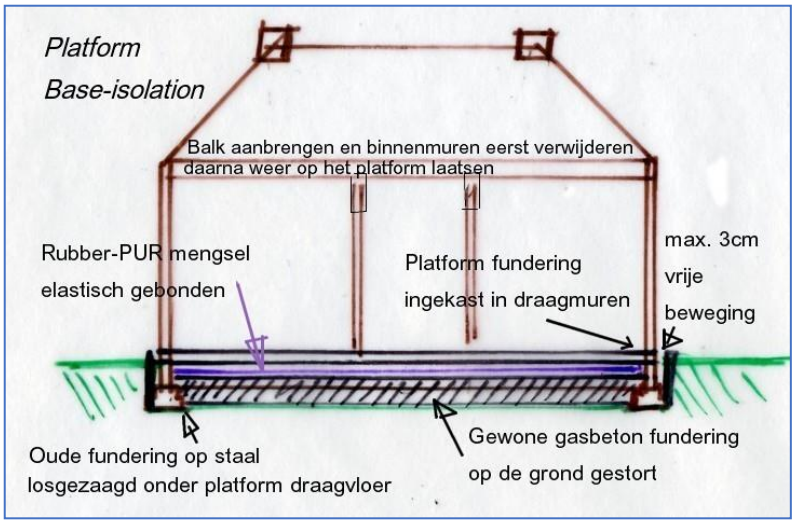
Figuren 5-61. Groningen monumenten.
Ook zijn er een zeer groot aantal karakteristieke panden die allen een fragiele constructie hebben. Een 1000-tal gebouwen met elk 25 Base-isolation *eenheden betekent al een productie van 25.000 stuks.*

Voor de toepassing van *Base-isolation* onder duizend of meer gebouwen is het nuttig om lokaal een goedkoper *Base-isolation* systeem te ontwikkelen dat makkelijk in oudere metselwerk gebouwen kan worden toegepast.

5.12. Verdere ontwikkelingen met rubber-PUR

Niet uitgewerkt **Elastische Rubber-PUR platform *Base-isolation.*** Er bestaat de optie om een platform *Base-isolation* systeem te maken door laag elastische PUR te produceren die gevuld is met rubber snippers (gesnipperde autobanden) en die als tussenlaag in die platformfundering aan te brengen.

[257] Het plaatsen van dit soort van (als monument aangewezen) gebouwen op een geïmporteerd *Base-isolation* systeem is met een maximale PGAg < 0,1 niet nodig, en kan gezien worden als een testcase om de techniek van het in haar geheel optillen van een klein gebouw goed te ontwikkelen en te begroten.

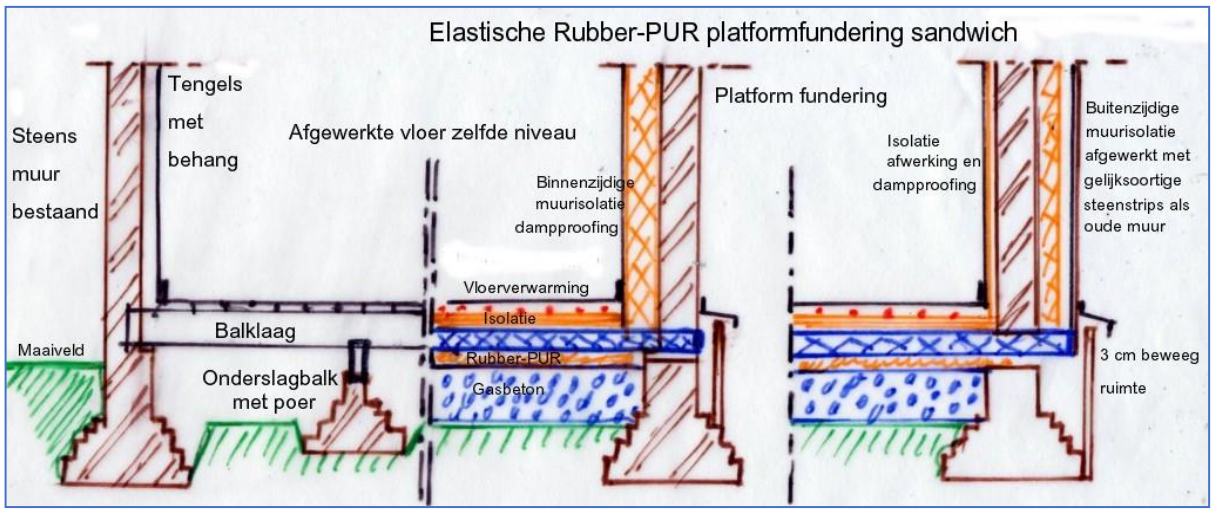


Figuur 5-62. Sandwich Base-isolation.
Met een laag *super-elastische PUR*[258] *houdt de rubber snippers bij elkaar.*
Het systeem wordt aangebracht zonder dat het gebouw eerst opgetild hoeft te worden en de gaten on de muren worden van buitenaf of van binnenuit aangebracht. Een dergelijk systeem is eenvoudig aan te brengenen.

Onder een kleine woning met 100 m^2 (vloeroppervlak) kan een schuimbeton fundering worden aangelegd (30 cm dik), daarop een laag elastische Rubber-PUR (10 cm dik?) en daarop een gewapend betonnen vloerplaat (12 cm dik) die in de draagmuren rondom het gebouw is ingekast. Dat laatste is een standaardoplossing voor woningen met een zwakke fundering. Na verharding van de bovenste betonplaat wordt de bakstenen muur onder de plaat doorgezaagd. Door de plaatfundering draagt dan het hele gebouw op de hele beton en schuimbetonplaat en blijft de gronddruk erg laag.

Een laag gebouw weegt misschien 50.000 kg. Met een oppervlakte van 100 m^2 is dat 500 kg/m^2 of 5 kg/dm^2. De Rubber-PUR moet onder die belasting dan goed elastisch blijven. Het elastische rubber-PUR wordt dan wat samengeperst onder de gebouw belasting, maar mag niet haar horizontale elasticiteit verliezen. Het is een kwestie van de juiste samenstelling van het mengsel te vinden.

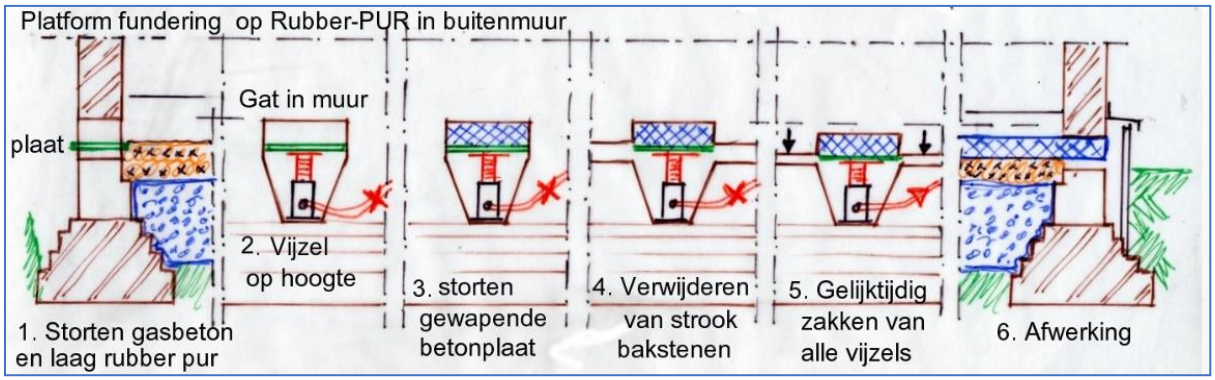
De reeds uitgevoerde platformfunderingen in de testwoningen hebben als effect dat de grondtrilling volledig op het gebouw worden overgebracht en dat het gebouw dan meer kan scheuren krijgen dan wanneer het al een gescheurde fundering heeft. Een gescheurde fundering heeft namelijk enige schokabsorberende werking.



Figuur 5-63. Rubber-PUR wordt samengedrukt. De gebouw-belasting en moet een horizontale beweging van 1 tot 2 cm toelaten. Dit kan met eenvoudige testen bepaald worden.

[258] Door de mengverhoudingen aan te passen heeft Pluimers een super elastische PUR-soort gemaakt. Door een CO_2-neutraal drijfgas te gebruiken of Icynene-PUR is het product minder milieubelastend.

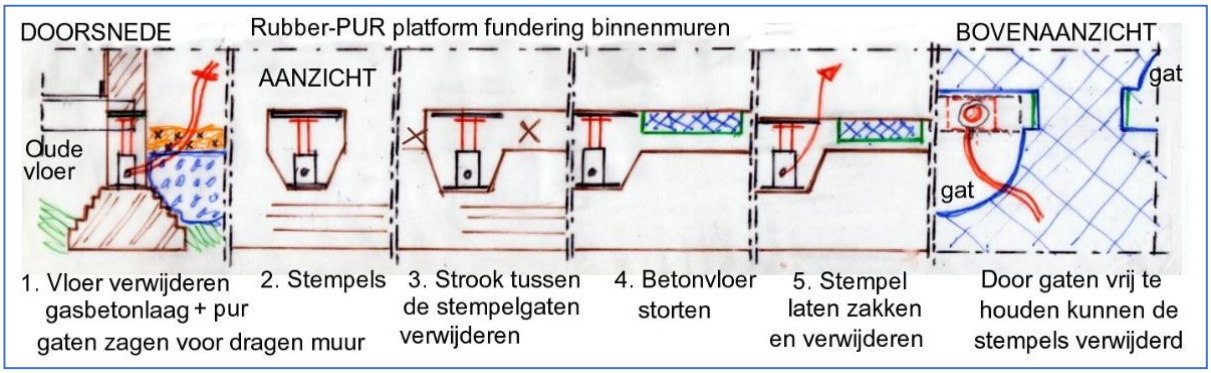
De rubber-PUR zal zonder grote indrukking de gestorte betonvloer kunnen dragen. De gewapende betonvloer moet echter tijdelijk ondersteund worden bij het doorzaken van de muur. Na het doorzakken van de muur kan het hele gebouw dan op de rubber-PUR afgezakt worden. De volgende schetsen geven schematisch aan hoe de betonvloer op het vijzelsysteem en de rubber-PUR gestort wordt, verhard, de muur doorgezaagd en daarna afgezakt.



Figuur 5-64. Stappenplan voor storten. Het naar beneden vijzelen van de verhardde vloer.
Na het verharden van de betonvloer wordt de muur tussen de vijzels doorgeslepen, waarna de vijzels kunnen zakken totdat de vloerplaat volledig op de rubber-PUR draagt. De vijzels worden steeds opnieuw gebruikt.

De vijzels staan onder de betonvloer. Deze moet dus eerst verhard zijn voordat de buitenmuren erop dragen. Daarna wordt de buitenmuur van buitenaf tussen de vijzels doorsneden en een paar cm verticaal afgezakt, totdat de betonvloer op de Rubber-PUR draagt.

Bij dragende binnenmuren dragen de vijzels die muren, en moeten ter plaatse van de vijzels openingen in de vloer gehouden worden om deze later te kunnen verwijderen. Ook moeten hier eerst de muren worden doorgezaagd, terwijl deze op de vijzels staat voordat het beton gestort wordt.

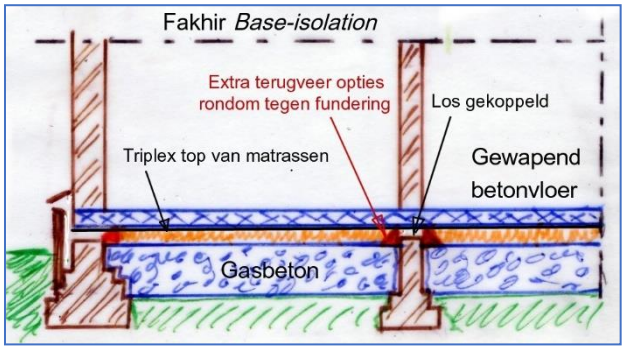


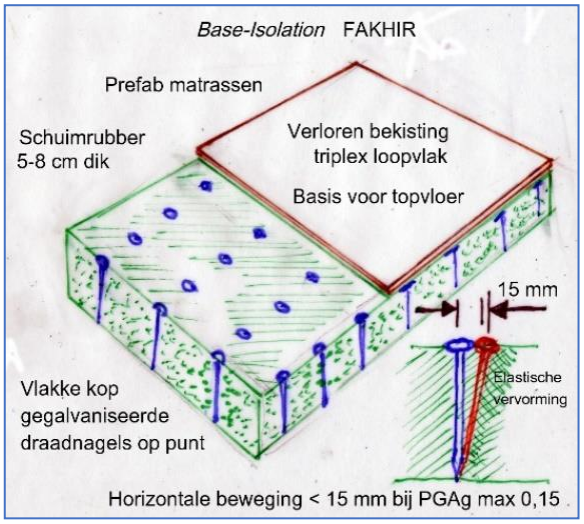
Figuur 5-65. Dragende binnenmuren. Langs de binnenmuren moeten openingen gehouden worden om de vijzels na het afzakken van de vloer weer onder de betonvloer uit te halen.

<u>Fakhir sandwich *Base-isolation* variant.</u>

Het mogelijk dat op de duur het gewicht van het gebouw de rubber[259]-PUR laag toch gaat indrukken, waardoor het wat van de elasticiteit kan verliezen. Dit indrukken kan voorkomen worden door het rubber-PUR op een spijker/staafjes mat te storten. Rondom tegen de fundering kan ook een elastische rubberen laag gemaakt (om het centreren te bevorderen). Doordat de staafjes in de rubberen-PUR matras zitten, zullen deze door de het rubber bij een trilling rechtop gedrukt worden.

[259] Rubber pulp kan geproduceerd worden van oude autobanden (ook gebruikt als toevoeging bij kunstgras).





Figuren 5-66. Fakhir Base-isolation.
De staafjes zorgen dat de matras niet ingedrukt wordt. Het rubber in de matras en langs de zijkant zorgt ervoor dat de staafjes steeds rechtop komen. De hoek verdraaiing van de staafjes moet gering zijn.

Het systeem heeft de volgende aspecten:

- De toplaag van het schuimbeton moet goed vlak zijn. De staafjes zullen iets in het onderliggende schuimbeton drukken waardoor de verloren bekisting vlak komt te liggen.
- De maximale horizontale beweging aan de top van de staafjes mag niet meer dan 10 boograden zijn, waarbij de zijwaartse druk van het schuimrubber toeneemt en gedurende de trilling het staafje weer rechtop houdt.
- De hoogte van het staafje kan worden aangepast naar gelang de maximale horizontale uitslag van de beving. In Groningen is dat bij PGAg < 0,1 ongeveer < 1 cm.
- Ter verbetering van het centreervermogen van de matras kan langs alle zijkanten tegen de fundering een extra rubber laag (veren) worden aangebracht die elastische tegendruk geeft.
- Op de triplexplaat (verloren bekisting kan de gewapend betonnen vloer worden gestort.
- Bij binnenmuren is tijdelijke ondersteuning nodig, die na het storten verwijderd wordt.
- Per gebouw moet een massaberekening gemaakt worden. Bij hogere gebouwbelasting kunnen meer of dikkere staafjes per m^2 worden toegepast.
- Bij de toepassing van Icynene dampopen PUR is er minder milieubelasting.

Omdat voor het bovenstaande systeem geen mechanische glij- of rol-units noodzakelijk zijn en de elastische rubber-PUR op eenvoudige wijze is aan te brengen (en thermisch isoleert). Ook is een dergelijk systeem gunstig voor oude ‘op staal’ gebouwde woningen vanwege de doorlopende platformfundering.

**********Terug naar het begin van dit Hoofdstuk 5**********

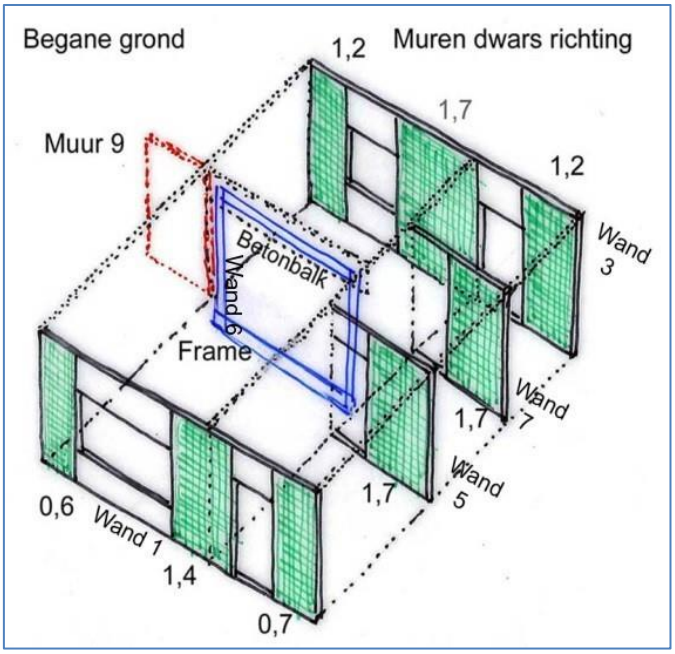
********** Terug naar de inhoudsopgave figuren**********

Duurzaam Herstel en Versterking van Woningen in Groningen

Hoofdstuk 6 MUREN VERSTERKING

Belasting loodrecht op het vlak van de muur en in het vlak van de muur.

Na de aardbevingsproblematiek en de afbouw van de aardgasproductie



Abstract: Het verloop en de verdeling van de krachten in de muren wordt uitgelegd en de voor- en nadelen van de verschillende versterkingsmethoden. Verscheidene oplossingen voor portalen en het schadeherstel en (seismische) versterking van ongewapende bakstenen muren in de Groningse woningbouw. Observaties over belastingen loodrecht op het vlak van de muur en in het vlak van de muur, met behoud van het algemene aanzicht van de gevels.

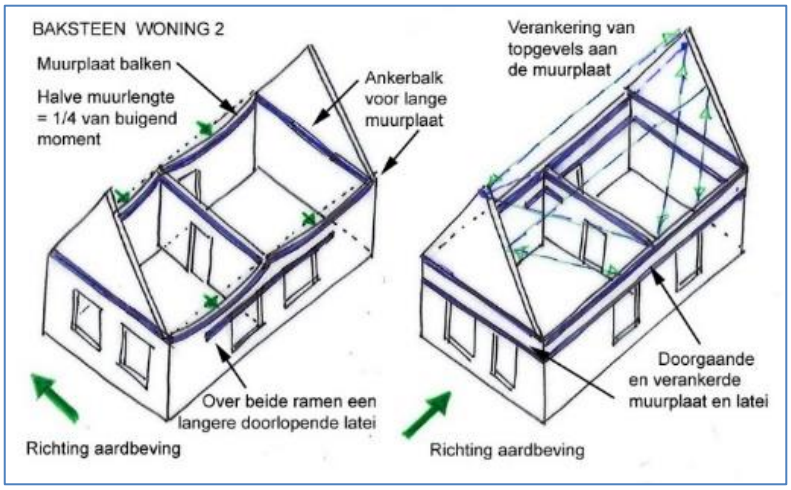
Kernwoorden: aardbevingen, baksteen, belastingen, binnenmuren, diafragma, constructieve glaspanelen, gevels, Groningse woningbouw, lintvoegwapening, muren, muurherstel, muurschijven, portalen, ringbalken, schadepreventie, seismisch versterken, wokkels.

Door: Sjoerd Nienhuys
Bouwkundig, seismisch ingenieur
Juli 2023

6.0. Inleiding

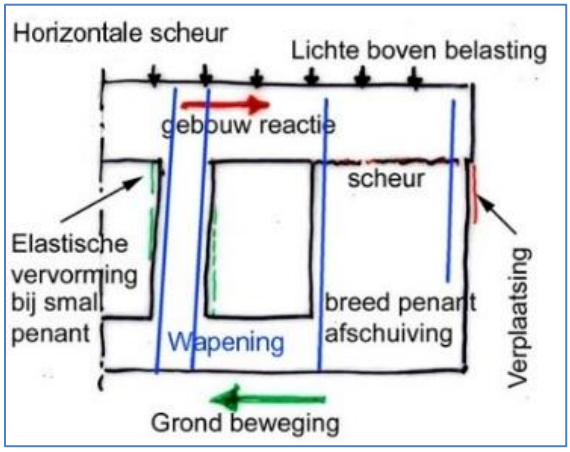
De scheuren in de muren zijn met stip het meest zichtbare effect van de aardbevingen en een duiding van de geringe sterkte van de typisch Nederlandse baksteen woningbouw tegen seismische belastingen. Om beschadigde woningen te herstellen of versterken is het noodzakelijk om alle muren rondom het gebouw te versterken met trekwapening **EN** de etage vloeren te veranderen in goed aan alle muren verbonden en stijve diafragma's. Dit is om te zorgen dat die vloeren de bevingskrachten in het vlak van de zijmuren naar de fundering kunnen overbrengen.

Het blijft noodzakelijk dat de funderingen niet kunnen verzakken door trillingen van aardbevingen of verkeer, ook niet onder de (eventueel) versterkte binnenmuren. Verbreding van funderingen onder binnenmuren is soms wenselijk. (Hoofdstuk 4). Versterken van de muren is geen alternatief voor het versterken van de funderingen wanneer deze ongelijk zetten.



Figuren 6-1.
Versterkingsmaatregelen.
Ringbalken in alle muren, ook de dragende binnenmuren. Daaraan gekoppeld (versterkte) diafragma's.
Beneden. De smalle raampenanten moeten versterkt worden met verticale wapening.

Rechts. Als alternatief op penanten versterking kunnen smalle raampenanten technisch verbreed worden door de ramen dicht te metselen of er sterke constructieve glaspanelen in aan te brengen.



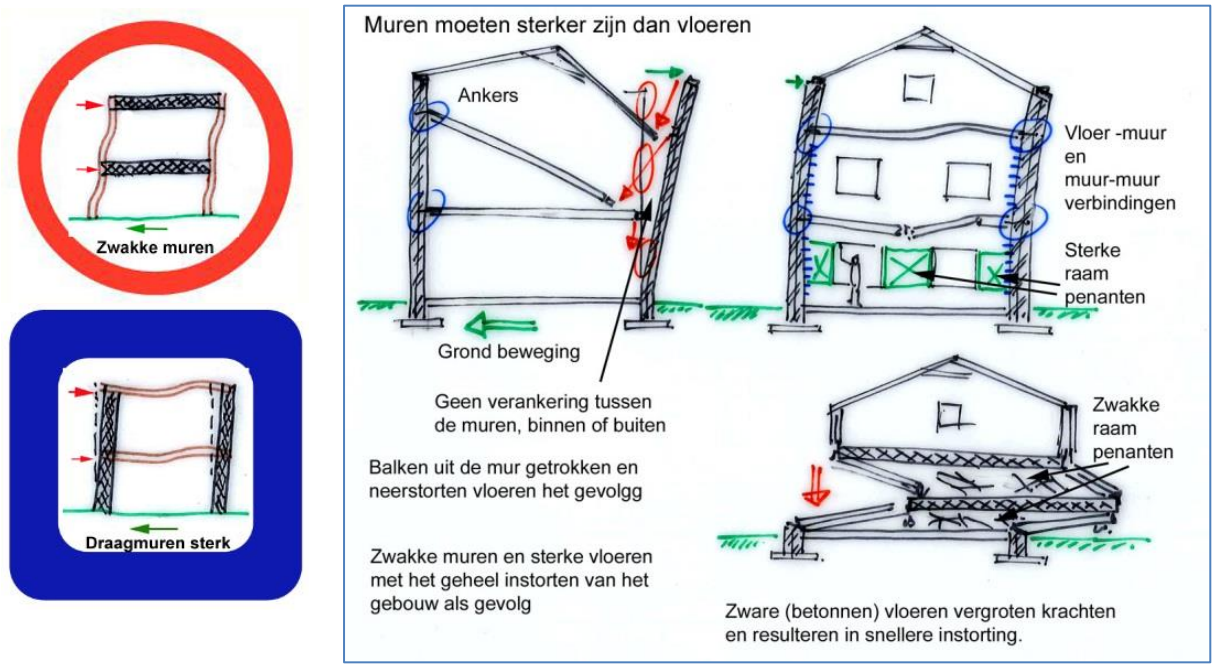
Tenslotte zal naast het technisch/sterkte verduurzamen van de woning ook de woning in algemene zin verduurzaamd moeten worden (onder andere met goede isolatie), iets wat het beste tegelijkertijd gedaan kan worden met de muurversterking om op kosten te besparen.

6.1. Muren en kolommen dragen de constructie

Muren en kolommen dragen het gewicht van het gebouw en brengen de horizontale aardbevings-belastingen van het dak en de vloeren over op de fundering. Vloeren en balken dragen hun eigen gewicht en de nuttige belasting, maar genereren bij aardbevingen extra horizontale belastingen op de muren langs die vloeren. Stormwind belast via druk en zuiging de buitenschil (gevels en dak) van de woning en die belasting wordt via de muren ook op de funderingen overgebracht. Afhankelijk van de gebouwvorm kan aardbevingsbelasting aanzienlijk groter zijn dan de hoogste stormbelasting.

Bij een aardschok veroorzaakt de horizontale grondversnelling een gebouwbelasting die gerelateerd is aan de massa, hoogte en elasticiteit van het gebouw. Deze aardbevingsbelasting komt boven op de normale belastingen waar de Nederlandse woningbouw traditioneel op is geconstrueerd. Oude bakstenen woningen zijn brosse constructies en vaak niet bestand tegen deze schokken, waardoor er makkelijk scheuren in de muren kunnen ontstaan of bestaande scheuren kunnen verergeren. De verticale trillingen die hierbij voorkomen kunnen ook extra zettingen in de fundering veroorzaken, waarbij een 2 mm fundering zetting ook een scheur in de buitenmuur van 2 mm kan opleveren. Bakstenen muren worden door de scheuren verzwakt, speciaal tegen afschuivingskrachten.

Wanneer een muur of kolom bezwijkt, heeft dat grotere gevolgen in een gebouw dan het bezwijken van een vloer. Het principe van een sterke kolom- of muurconstructie (verticaal) in combinatie met een flexibele balken- en vloerconstructie (horizontaal) is daarom belangrijk in een aardbevingsresistent ontwerp. De Nederlandse steens-muren en halfsteens spouwmuren zijn echter slecht bestand tegen krachten loodrecht op het vlak van de muur. Bij onvoldoende steun of verankering tijdens een horizontale aardbevingsbelasting kunnen ze knikken of omvallen, c.q. instorten, waardoor ook de vloeren naar beneden storten.



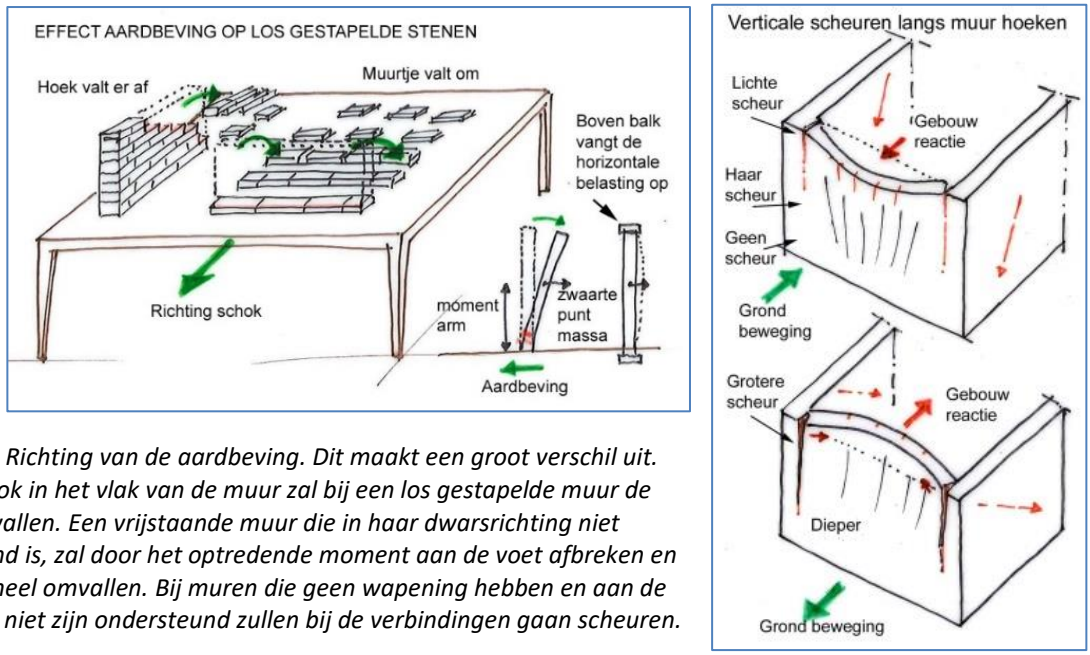
Figuren 6-2. Instorten van muren. Dit kan bij slechte verbindingen en excentrische belasting (knik). De verbindingspunten van de muren moeten momentsterker zijn dan die van de vloeren. Verbindingen moeten ductiel zijn. Wanneer de kolom of muur bezwijkt, stort het hele gebouw in.

Het versterken van muren is pas zinvol wanneer de funderingen voldoende sterk zijn en voldoende draagkracht hebben zodat geen partiële of plaatselijke verzakkingen kunnen optreden. Ook bij het voor lange termijn technisch verduurzamen van de woning heeft een **goede fundering dus prioriteit**.

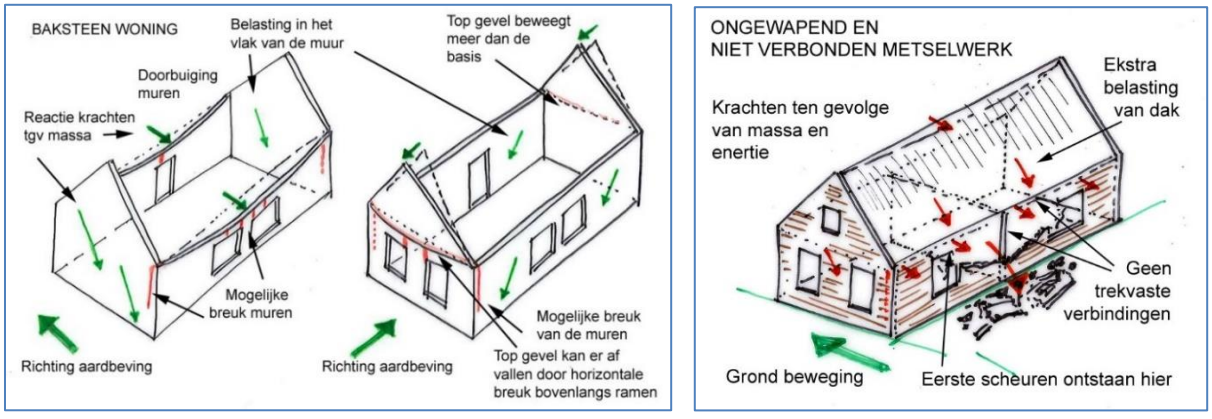
Hoewel bij een PGAg < 0,05 de horizontale bevingsbelastingen klein zijn[260], zullen oude bakstenen gebouwen op hun constructiedetails beoordeeld moeten worden en zwakke muurdelen versterkt. Door de grote massa en stijfheid van betonnen vloeren in rijtjeswoningen (risico) zal deze categorie extra aandacht moeten krijgen om scheurvorming en verdere schade te voorkomen.

6.2. Voorkom krachten loodrecht op de bakstenen muur

De aardbevingsbewegingen van de grond worden via de gebouwfundering op het bovenstaande gebouw overgebracht. De massa van het gebouw heeft een traagheid waardoor er bij een beving extra spanningen in de constructie optreden. De belastingen moeten weer naar de fundering worden teruggevoerd. Dit kan via sterke binnenmuren, (versterkte) raampenanten, kolomconstructies, portalen of frames en sterke glaspanelen. In de provincie Groningen zijn de meeste gebouwen van het doosmodel. Echter, dat is een doosmodel waar er aan twee zijden meestal geen dragende muren zitten, maar grote (of veel) ramen die geen krachten kunnen opnemen.



Figuur 6-3. Richting van de aardbeving. Dit maakt een groot verschil uit. Bij een schok in het vlak van de muur zal bij een los gestapelde muur de hoek eraf vallen. Een vrijstaande muur die in haar dwarsrichting niet ondersteund is, zal door het optredende moment aan de voet afbreken en in haar geheel omvallen. Bij muren die geen wapening hebben en aan de bovenzijde niet zijn ondersteund zullen bij de verbindingen gaan scheuren.



Figuren 6-4. Gebouwmassa. De krachten vanwege de gebouwmassa moeten via de muren (in het vlak van die muren) naar de fundering worden afgevoerd. Er moet voorkomen worden dat die belastingen loodrecht op de muren komen te staan. Vrijstaande muuronderdelen moeten daarom kort/laag blijven of speciaal versterkt.

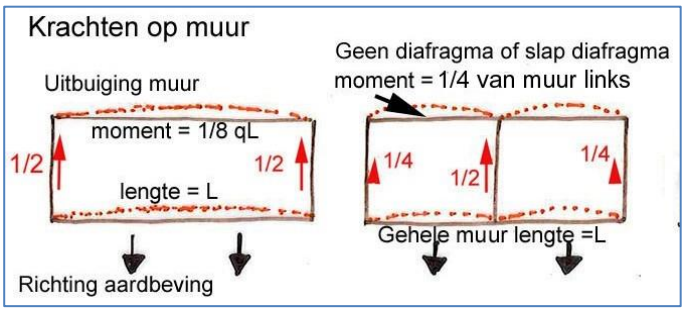
[260] Op basis van de sterke vermindering en uiteindelijk stoppen van de aardgas exploitatie van het Groningse aardgasveld zullen de aardschokken vanaf 2020 niet boven de PGA*g* 0,05 uitkomen.

Wanneer de belastingen loodrecht op de muur staan, ondergaat die muur een buigend moment, waar deze in Nederland niet op is ontworpen. Hoe hoger het muurvlak, hoe hoger de belasting aangrijpt en hoe groter het moment, en hoe sneller de muur zal breken en bezwijken. Bij een aardbeving worden de belastingen veroorzaakt door de eigen massa en zijn dus geen externe krachten. Daar bovenop kunnen belastingen komen van andere gebouwonderdelen, bijvoorbeeld van de vloer of het dak.

Indien een woningmuur niet aan de bovenkant wordt ondersteund dan kan deze worden beschouwd als een vlak dat aan **drie** kanten ondersteund is. De belasting loodrecht op het vlak van de muur veroorzaakt doorbuiging- en inklemmingsmomenten die vergelijkbaar zijn met een vlak dat driezijdig is opgelegd. Slechts een gedeelte van de belasting wordt dus direct naar de basis (de onderste van de drie zijden) van de muur afgevoerd en naar de fundering.

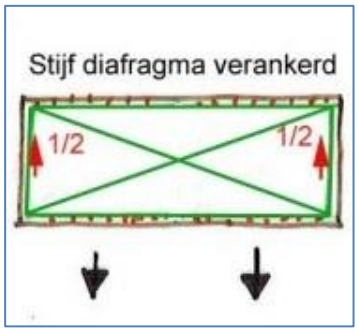
Extra horizontale gebouwbelastingen van een vloer of een dak zullen de belasting op de vrije bovenzijde vergroten. Verticale aardbeving trillingen geven een belasting van een schuin dak op de muurplaat. Die muurplaat verdeelt deze belasting in verticale en horizontale belastingen op de vloer (vloerdiafragma) en de onderstaande muur.

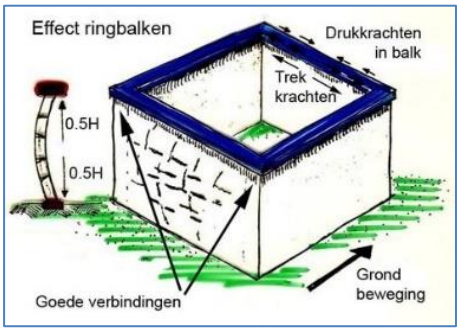
Te grote belastingen op de muren kunnen voorkomen worden door de muurvlakken korter te maken, of ze rondom te ondersteunen door goede verbindingen aan de vloeren (vloerdiafragma's).[261]



Figuur 6-5. Halve muurlengte. Op deze manier wordt het moment in die muur ¼. (Moment = 1/8 ql^2). Deze belastingen moeten niet alleen naar de zijkanten van de muren afgevoerd, maar ook naar onderen en boven, naar de verbindende vloeren.

Door de onder- en bovenkant van de muur goed vast te zetten aan de vloer en zorg te dragen dat het stijve vloerdiafragma de krachten naar de zijkanten afvoert, wordt het moment in de muren kleiner.

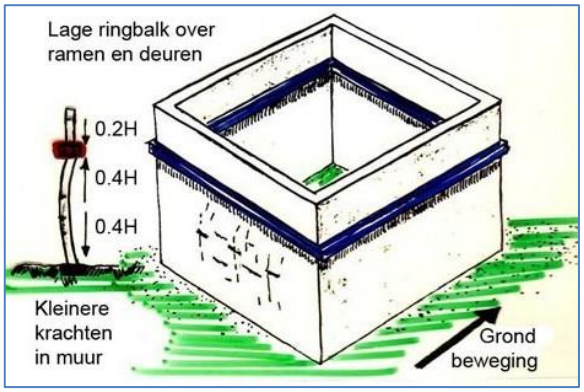




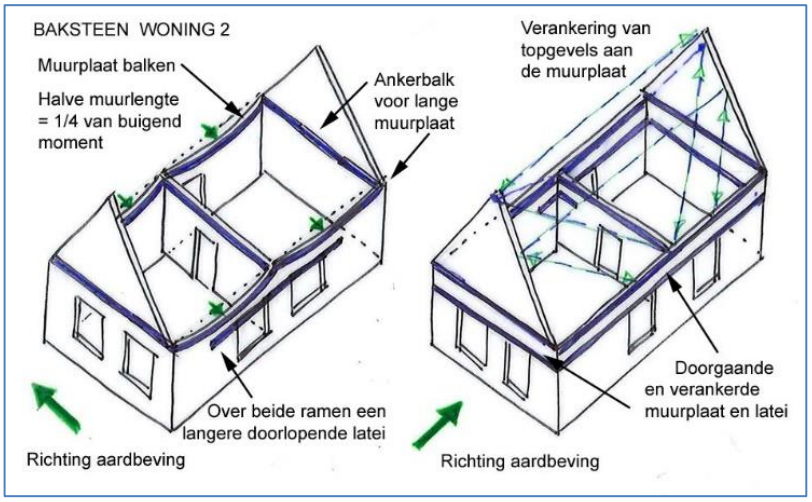
Figuren 6-6. Vloerdiafragma. Door de verbindingen van de muren aan een voerdiafragma of ringbalk worden de momenten in de muur kleiner. De belastingen worden nu via de zijmuren in het vlak van die muren naar de fundering overgebracht.

Muren hebben openingen met deuren en ramen met weinig massa. Die openingen veroorzaken weinig belasting, maar tegelijkertijd zijn ze openingen een constructieve verzwakking van die muur (tenzij die kozijnen met constructieve glaspanelen extra sterk zijn gemaakt). Door direct boven en langs die openingen een versterking aan te brengen (doorlopende lateien die samen een trekband boven de ramen creëren) wordt die muur sterker. In de Nederlandse woningbouw lopen de lateien NIET door en hebben dus NIET deze versterkingsfunctie.[262]

[261] Het hoofdstuk 8 over vloerdiafragma's gaat dieper in op de technologie van de vloerdiafragma's.
[262] In hoofdstuk 7 wordt dieper ingegaan op de problematiek rond lateien.



Figuur 6-7. Ringbalk raamlateien.
De ringbalk op niveau van de raamlateien verlaagt de vrije muurhoogte en maakt het onderstuk relatief sterker. Door deze lateien ringbalk te verbinden aan gelijke balken in de dwarsmuren, kunnen deze dwarsmuren de krachten naar de fundering afvoeren.

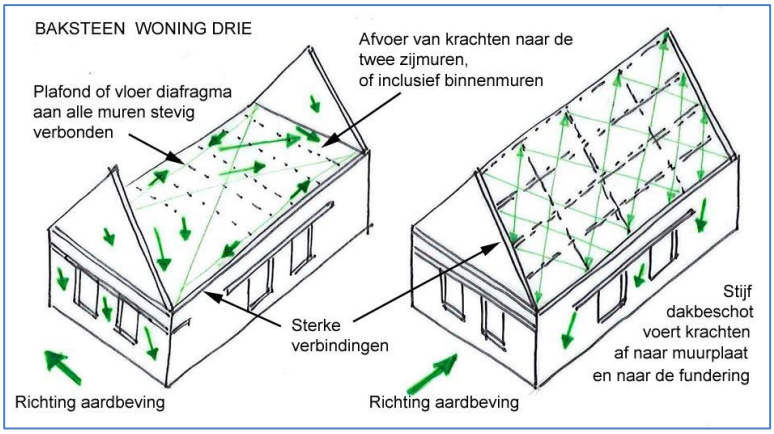


Figuur 6-8. Latei-ringbalken.
Door de lateien door te laten lopen en aan dwarsmuren te verbinden zullen de krachten loodrecht op de muren veel minder worden.

Bij bestaande bouw kan er een doorlopende wapening in de lintvoegen worden aangebracht die over alle lateien loopt en om de hoeken van het gebouw loopt.

Het aanbrengen van een <u>stijf en sterk</u> vloerdiafragma dat goed aan de ringbalken op alle muren is verbonden is altijd aan te bevelen. Door het stijve vlak en de verbinding aan alle onderliggende muren worden de krachten naar de zijmuren afgevoerd. De versterking en verstijving van het diafragma is een effectieve manier om de beweging van de bovenkant van de muren tegen te gaan. De zijmuren onder het diafragma moeten dan wel die krachten in hun vlak overdragen. Ramen en smalle raampenanten zijn daar niet geschikt voor en moeten versterkt worden.

In het vloerdiafragma ontstaan trek en drukzones die de krachten naar de onderliggende of buitenste dwarsmuren afvoeren. Bij slechts twee dwarsmuren, alleen op de uiteinden van het gebouw, ontvangen deze elk de helft van de belasting. Bij één enkele midden-muur zal deze echter de helft van die belastingen opvangen *(zie Figuur 6-5)*. Dat betekent ook dat deze midden-muur en diens fundering sterker moet zijn dan die van de buitenmuren aan de zijkanten. In de Nederlandse woningbouw is die binnenmuur vaak halfsteens met een smalle fundering en dus **onvoldoende sterk**.

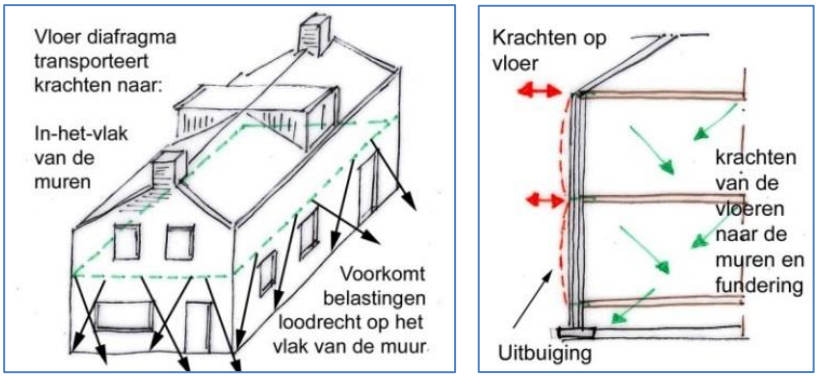


Figuur 6-9. Stijf vloerdiafragma.
Dit brengt de krachten naar de zijmuren. Deze zijmuren worden in het vlak van de muur belast.
Hetzelfde principe moet gelden voor een stijf dakbeschot dat de krachten op de vloer overbrengt of in het vlak van de onderstaande muren.

Baksteen metselwerk is een brosse constructie die niet op (trek)spanningen belast kan/mag worden. Ook wanneer de muur nog onbeschadigd is, kan deze slechts weinig buiging tolereren. Met iets te veel doorbuiging van een muur ontstaat een scheur, waarbij dan plotseling alle treksterkte of afschuivingssterkte uit de bakstenen muur is verdwenen.[263] Eenmaal gebarsten met een aardbeving kan de muur helemaal geen trek meer opnemen, alleen druk.

In oudere bakstenen gebouwen komen veel haarscheurtjes en grotere scheuren voor vanwege zetting van de fundering en andere oorzaken. In de praktijk komt het erop neer dat bij in baksteen gemetselde muren niet gerekend mag worden met enige treksterkte, ook niet als ze gelijmd zijn.

In aardbevingsregio's met een maximale PGA*g* > 0,2 is gewapend metselwerk verplicht en omsluiting van metselwerk door een aardbevingsresistente constructie. De muren moeten ook een minimale dikte hebben (> 1/15 hoogte) of speciaal gewapend zijn. Halfsteensmuren van 11 cm bij een kamerhoogte van 240 cm zijn dus al te dun. Met matig of slordig voegwerk is de netto muurdikte dan vaak ook niet meer dan 9 cm.



Figuren 6-10. Krachten naar fundering.
Bij seismisch versterken van een gebouw zullen de krachten loodrecht op het vlak van de muren voorkomen moeten worden en in het vlak van de muren afgevoerd naar de fundering.

Bij de Nederlandse bouw is de spouwmuur een samenstelling van twee halfsteensmuren, die elk 10 tot 11 cm dik zijn. De gebouwbelastingen komen hoofdzakelijk op de binnen spouwbladen, maar de massa belasting van de muren komt ook op de buiten spouwbladen. De twee spouwbladen ondersteunen elkaar met spouwankers (ijzerdraadjes), waardoor de sterkte van deze muren tegen doorbuiging iets toeneemt. Echter, wanneer de spouwankers flexibel zijn, of te weinig in aantal, of verroest zijn, is de muur onvoldoende sterk tegen aardbevingsbelastingen.

6.3. Versterken tegen belasting loodrecht op het vlak van de muur

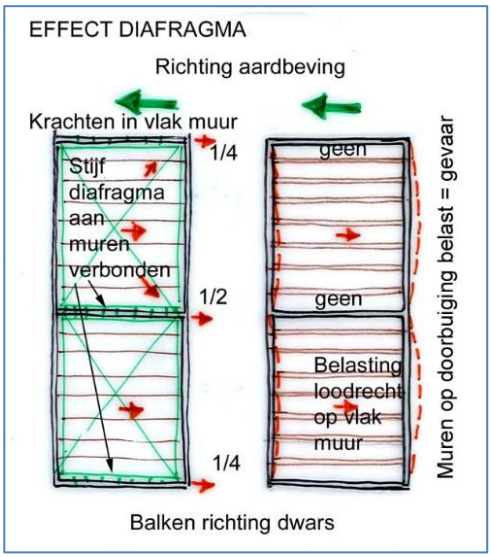
Om muren te versterken tegen een belasting loodrecht op het vlak van de muur, zijn verschillende opties mogelijk. Het niveau van versterking, ruimte gebruik, de mogelijke verbindingen tussen de versterkte muur en de dwarsmuren en vloeren, de kostenaspecten en eenvoud of robuustheid van de constructie zijn onderdelen van de keuze.

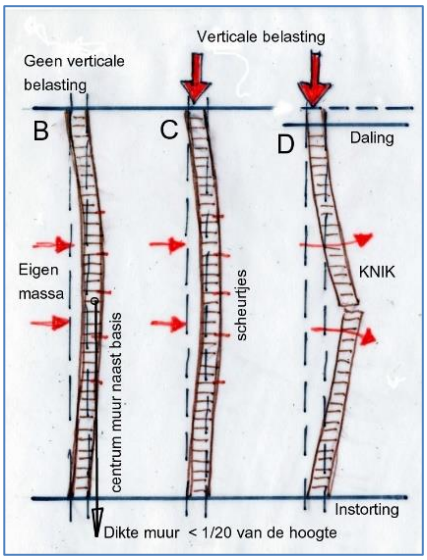
Met het versterken van de muren moet ook de thermische isolatie van de buitenschil opgewaardeerd moeten worden naar de 2020 nieuwbouwwaarde van Rc = 4,7 m^2.K/W. Bij metalen of houten verstijvingen kan de thermische isolatie tussen en op de profielen geplaatst worden.[264]

Met een maximale PGAg < 0,1 ontstaat een gelijkvormige belasting van ongeveer 10% van de gebouwmassa. De aardschokken zijn sinds 2020 echter niet groter dan PGAg 0,05 en insignificant voor steens binnenmuren, maar wel te groot voor halfsteens dragende binnenmuren. Die dunne binnenmuren moeten met de ontwikkeling van vloerdiafragma's versterkt worden.

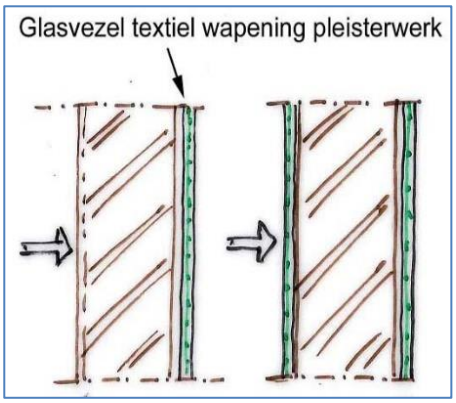
[263] Dit heeft direct een vermindering van de spanningen tot gevolg, maar deze scheuren kunnen of zullen zich verder uitbreiden bij hernieuwde trillingen of aardschokken.
[264] Zie "Lange Warmtelekken …." document op website www.nienhuys.info eerste pagina.

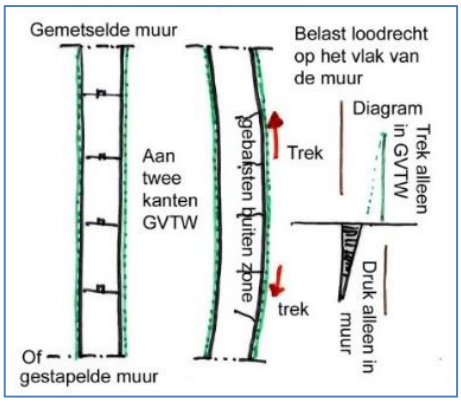
Het probleem van dunne binnenmuren (dikte ≤ 1/15de hoogte) ontstaat wanneer deze ook dragende muren zijn of worden. Bij het maken van een stijf vloerdiafragma zal het belastingpatroon van een binnenmuur sterk wijzigen. Bij verankering en verstijving van het plafonddiafragma kan de belasting op dragende binnenmuren **verdubbelen.** Door de combinatie van de doorbuiging t.g.v. eigen massa met een verticale belasting kan knik en instorting veroorzaken.





Figuren 6-11. Binnenmuur belasting. Door het maken van een stijf diafragma kan een binnenmuur die eerst niet belast was (parallelle balken) de helft van de hele vloer belasting krijgen. Bij een combinatie van uitbuiging en topbelasting kan dan knik ontstaan.

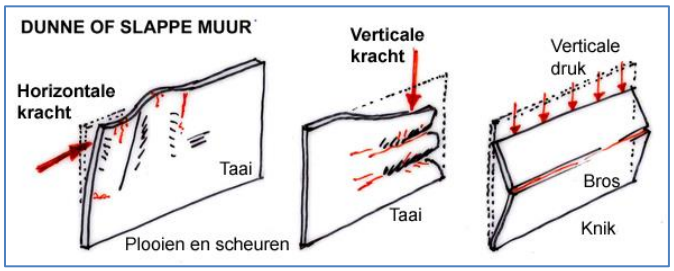




Figuren 6-12. Binnenmuur versterking. Een eenvoudige manier om binnenmuren te versterken is de toepassing van Glasvezel Textiel Wapening (GVTW) aan beide zijden, of het lijmen van stroken Carbon Fibre (CRFP).

6.4. Glasvezel textiel muurwapening binnenmuren

Ofschoon voor de eigen muurmassa er zelden versterking nodig is voor niet-dragende dunne muren, is dit wel het geval voor dunne muren die verticale belasting krijgen vanuit de bovenliggende etage, of schuine (afschuif) belasting vanwege de gekoppelde vloerdiafragma's. Dunne of slappe muren kunnen plooien, barsten en knikken. Tweezijdig opgeplakte glasvezelwapening voorkomt dit.



Figuren 6-13. Vervorming binnenmuren. Belasting op dunne muren kan makkelijk vervorming van deze muren veroorzaken met scheuren en mogelijk instant bezwijken tot gevolg.

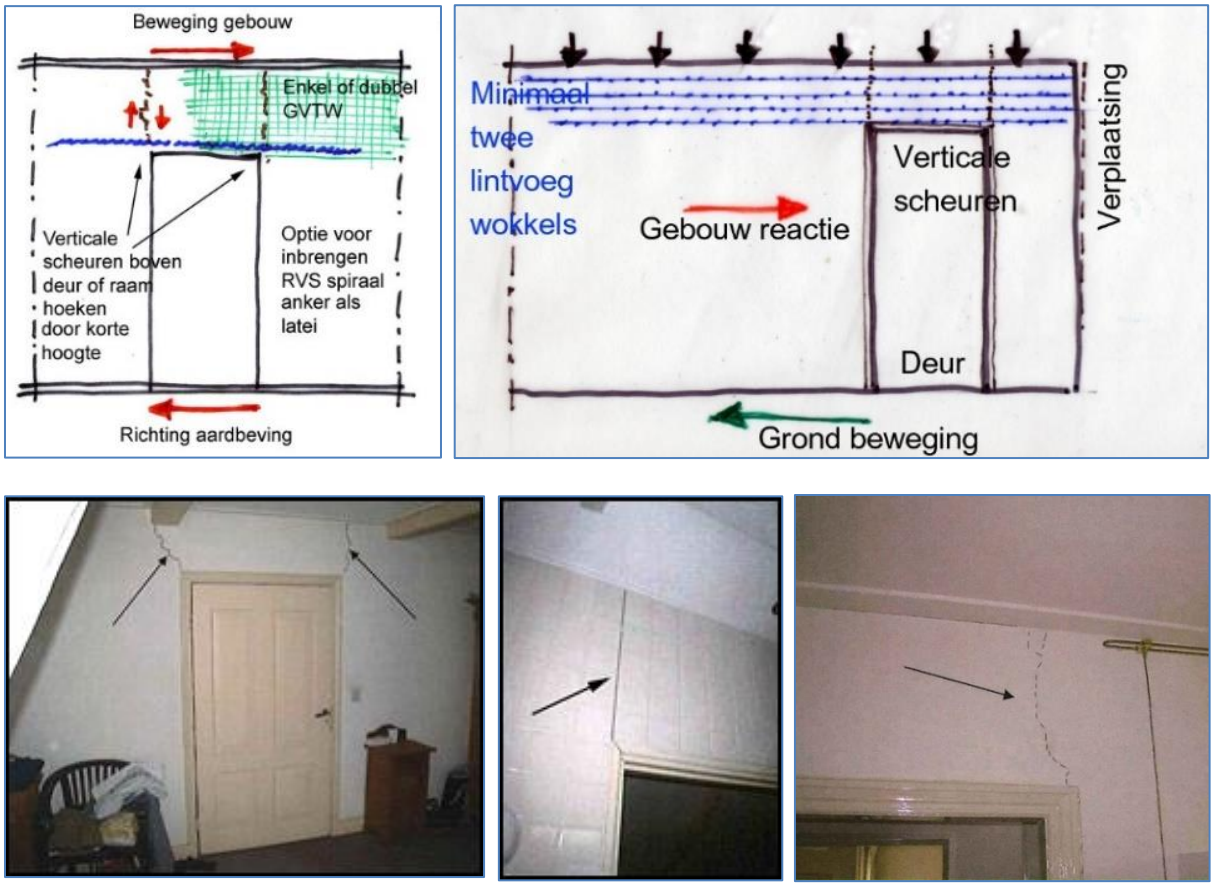
Bij de foto boven rechts, is de horizontale scheur ontstaan door het wegzakken en draaien van de fundering t.g.v. een naastliggende sloot. Een doorzakkende kapconstructie kan het bovengedeelte van een muur naar buiten wegdrukken (bij grote gebintenschuur). Deze voorbeelden geven aan dat een horizontale scheur verschillende oorzaken kan hebben en ook dat een horizontale scheur niet direct het bezwijken van de muur als gevolg hoeft te hebben.

Figuren 6-14. Carbonvezel stroken (CRFP). En ook met glasvezelstroken (GVTW). De stroken zijn met epoxy op de muren gelijmd. Glasvezelmatten kunnen met cementmortel/pleister geplakt. Crepi glasvezeldoek wordt ook bij buitenmuurisolatie gebruikt, Polypropyleen banden en glasvezelbehang zijn andere opties. Minischeurtjes worden met het versterkte behang blijvend weggewerkt. <u>Foto's onder.</u>

Het muurgedeelte boven binnendeuren is te kort en zwak om horizontale krachten in de muur over te dragen. Hier zit zelden een latei. Een latei geeft hier slechts versterking tegen doorzakken. Bij deuren op de eerste etage die erboven staan is scheurvorming extra snel het geval. In zeer veel woningen zijn hier dan ook scheuren te zien (foto's volgende pagina). De gemetselde strook boven de deur moeten dan aan beide zijden versterkt worden met GVTW en/of door roestvrij stalen spiraalwapening (wokkels) in de voegen aan te brengen (*Figuren* volgende pagina). Alle wapening moet breed doorlopen zoals lintvoegwapening die verbonden is aan de lintvoegwapening in de buitenmuren.

Moderne gelijmde muren kunnen wel wat trek/buiging weerstaan, maar in de provincie Groningen zijn deze nauwelijks aanwezig. De Nationale Praktijk Richtlijn (NPR 9998)[265] geeft tabellen voor de dikte van draagmuren en hun mogelijke deelname aan de sterkteberekening. De benuttingsgraad van de muur α, hangt af van de hoogte/dikte en een rekencoëfficiënt of Dynamische Vergrotingsfactor (DAF, tabel 9.3) die afhangt van een al dan niet excentrische belasting en inklemming. Volgens de NPR moeten ongewapende dragende binnenmuren een dikte hebben die > 1/15de is van de vrije hoogte. De conclusie is dat ongewapende, slechts 10-11 cm dikke binnenwanden (halfsteens binnen draagmuren in oude woningen), <u>niet</u> meetellen in de sterkteberekening; deze moeten dus versterkt worden wanneer de extra belastingen van het vloerdiafragma erop komen.

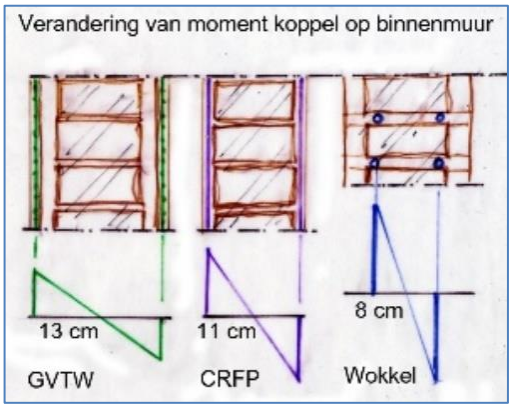
[265] De NPR is een vertaling van de Europese Eurocode 8 in het Nederlands. Deze Engelse Eurocode 8 is goed te begrijpen en toegankelijk voor ingenieurs. Deze Eurocode heeft per land een kaartje als nationale bijlage die het lokale maximale aardbevingsrisico weergeeft.

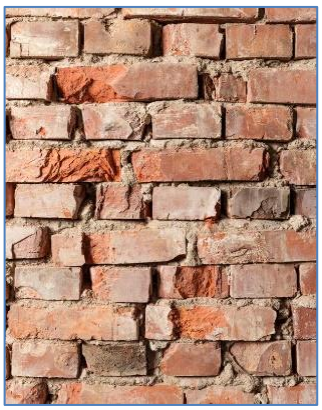


Figuren 6-15. Binnenmuren scheuren. Vaak boven de deuropeningen. Dit komt omdat de afstand tussen de bovendorpel en de vloer kleiner is dan de afstand van de bovendorpel tot de zijkant van de muur. Het grotere vlak aan de zijkant heeft een grotere sterkte. GVTW en wokkels voorkomen scheuren. Zie ook Hoofdstuk 7 Lateien.

Bij het tweezijdig versterken van halfsteens binnenmuren is de elasticiteit van het materiaal van belang net zoals de afstand tussen de twee versterkte oppervlaktes. Hoe dikker de muur, hoe sterker. Bij GVTW of CRFP dat óp de muur wordt geplakt is de afstand tussen de twee wapeningen 12 cm of 13 cm afhankelijk van de pleisterlaag aan beide kanten van de muur. Deze pleisterlaag moet erg **goed aan de muur verbonden zijn**; als dit niet het geval is dan moet de pleisterlaag eerst verwijderd worden, waardoor de afstand tussen de twee oppervlakken en het weerstandsmoment kleiner worden.

Bij de toepassing van in-gefreesde spiraalwapening (wokkels) aan twee kanten van de muur is de afstand tussen de staven hooguit 8 cm, maar de staven zijn altijd sterk in-gelijmd en kunnen dus grote krachten opnemen. Vooral bij weinig hoogte tussen de bovenkant van de deurkozijnen en het plafond is dan de in-gefreesde rvs-spiraalwapening een praktische oplossing. Bij kalksteen is de verlijmsterkte minder dan bij baksteen.





Figuren 6-16. Afstand tussen de wapening.
Bij opgeplakte GVTW is het momentkoppel op een gepleisterde muur ≈ 13 cm. Bij op de bakstenen geplakte sterkere CRFP is het moment-koppel ≈ 11 cm. Bij in-gefreesde spiraalwapening is het momentkoppel ≈ 8 cm.

Hetzelfde principe geldt voor het verticaal inbrengen van spiraalwapening voor de versterking van penanten tussen de ramen (*figuur 6-1 linksonder, figuur 6-32 en figuren 6-38*) en tegen het omver drukken van de muur. Met *figuur 6-16* wordt uitgelegd dat het in-frezen van wapening in de baksteen een beperkter versterkingseffect heeft dan het opbrengen van GVTW omdat het moment koppel kleiner wordt tussen de trekzone en de drukzone. Aan de andere kant is de wapening veel sterker dan het GVTW, en zijn er enkele wapeningstaven nodig tegenover de hele muur beplakken met het GVTW.

Het verschil in versterking tussen de twee maatregelen (wapening in-frezen of GVTW) kan ongeveer gelijk zijn, waarna de tijd en kosten voor het aanbrengen en afwerken bepalend kunnen worden voor de gekozen maatregel. Bij GVTW moet het hele oppervlak van de muur redelijk vlak zijn en goed gebonden. Losse (kalkmortel) pleisterwerk lagen kunnen loskomen en zullen in veel van de gevallen eerst verwijderd moeten worden, hetgeen veel werk inhoudt.

De binnenkant van steens buitenmuren hebben vaak een erg ruw niet-afgewerkt oppervlak dat eerst geëgaliseerd moet worden. De foto op de vorige pagina laat een voorbeeld van een gestripte testwoning zien. Op deze muren zat origineel een tengel, met daarover jute en behang.

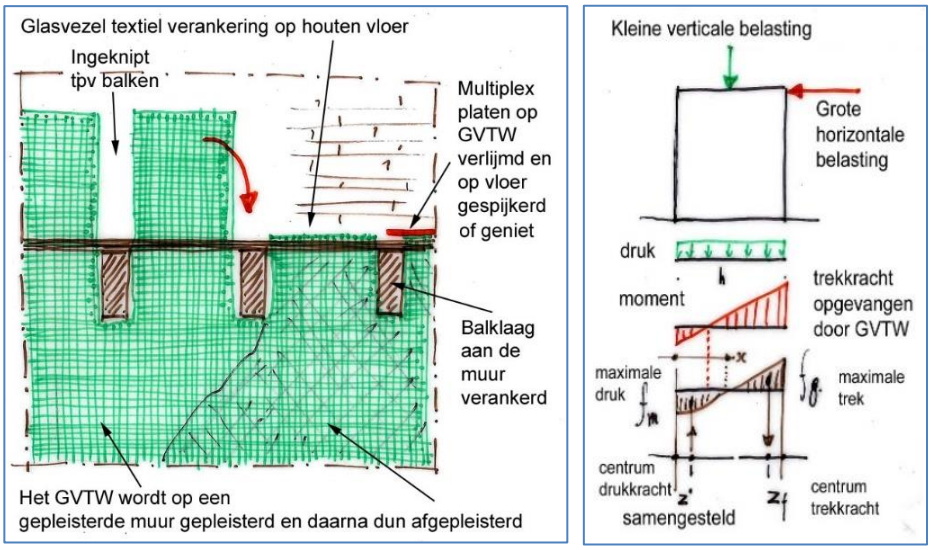
Bij oude steens muren is de binnenkant vaak betengeld, waarachter de vrij ruwe steensmuur geen pleisterlaag heeft. In dat geval zal de toepassing van in-frezen de voorkeur genieten omdat dit bijna geheel mechanisch kan worden uitgevoerd[266]. De besluitvorming over welke maatregel wordt genomen is dan ook vaak gebaseerd op het gemak van de verwerking, de beschikbare arbeid[267] en het algemene kostenplaatje.

Figuren 6-17. Na het in-frezen van een gleuf en het aanbrengen van de achter-vulling, wordt de rvs-spiraal-wapening erin gedrukt. Daarna wordt de tweede invulling met de epoxy aangebracht. De muur kan bijna direct daarna worden gepleisterd en gestukadoord. (Beelden NOS journaal)

[266] Dat de seismische versterking in Groningen minder groot is, is nauwelijks relevant, omdat er geen grote of grotere aardbevingen worden verwacht dan de Huizinge 2012 beving. De in-gefreesde wapening zal de muur in haar geheel versterken, maar kan de dwarsbelasting loodrecht op het vlak van de muur nauwelijks weerstaan. Deze dwarskrachten moeten door het bovenliggende vloerdiafragma opgevangen worden en naar de zijmuren en in het vlak van die zijmuren worden afgevoerd naar de fundering.

[267] In een grootschalige retrofitting activiteit is de beschikbaarheid van deskundige arbeiders een cruciale factor. Activiteiten die veel arbeid kosten worden daarom vermeden.

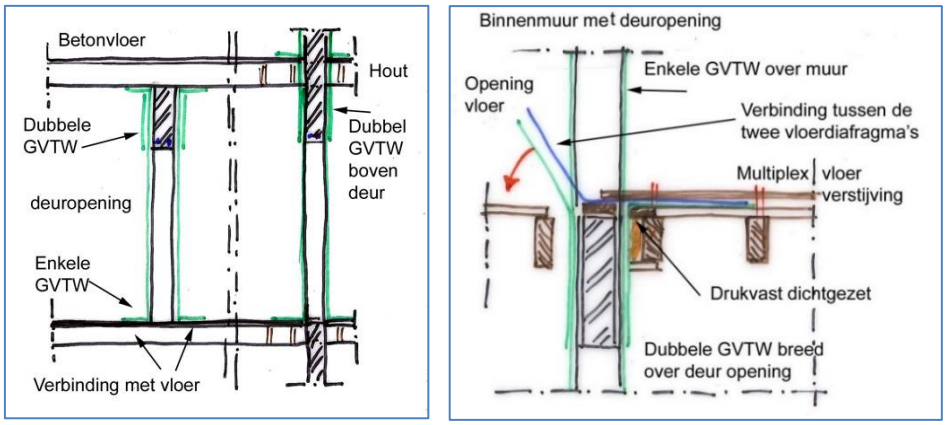
De binnenkant van steens buitenmuren hebben vaak een erg ruw niet-afgewerkt oppervlak dat eerst geëgaliseerd moet worden. De foto op de vorige pagina laat een voorbeeld van een gestripte testwoning zien. Op deze muren zat origineel een tengel, met daarover jute en behang.



Figuren 6-18. GVTW doorzetten naar boven. Bij een korte afstand tussen deur en plafond, met een deur daarboven, zullen verticale scheuren tussen de deuren ontstaan. Hier zijn minimaal twee spiraal lintvoeg wapening nodig aan beide zijden van de muur.

Het GVTW wordt zoveel mogelijk doorgezet op de binnenmuren van de bovenliggende etage, waarna het vloerdiafragma gemaakt of versterkt kan worden. Rechts. Het GVTW moet de trekkrachten in de muur opvangen, dat kan alleen als het naar boven wordt doorgezet. Links. Het kan ook verbonden worden door het op de bovenliggende vloer te plakken, op het vloerdiafragma.

De verankering van het GVTW of het CRFP over voldoende muurlengte en hoogte is belangrijk. Ook kan het materiaal aansluitend geplakt worden op de dwarsmuren. Deze opties zijn een vorm van seismisch versterken en houden aanzienlijk veel werk in aan de binnenkant van de woning.

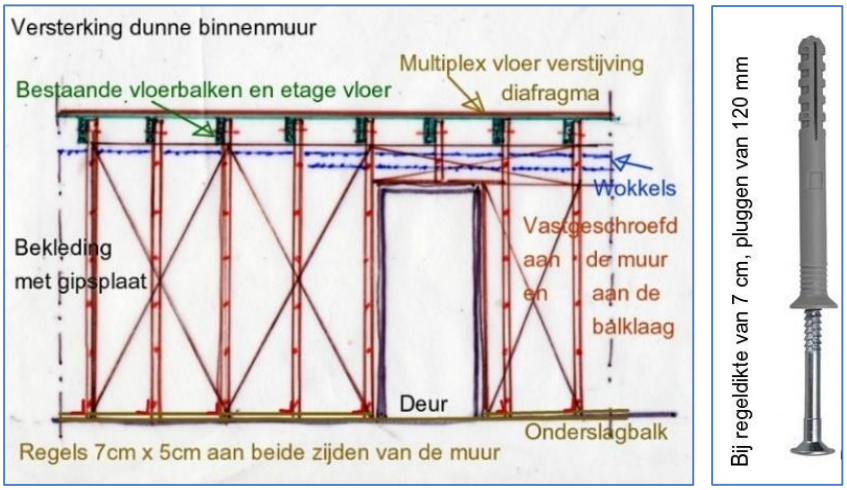


Figuren 6-19. Werkwijze van plakken. Bij een kleine hoogte boven de deuropeningen moet de wapening naar boven doorgezet worden.

6.5. Houtskelet toevoeging op dunne binnenmuren

Een andere eenvoudige manier om binnenmuren licht te versterken is de plaatsing van een houtskelet aan één of twee zijden van de dunne dragende binnenmuur en elke regel of profiel op meerdere plaatsen met de muur te verbinden en met de bovenliggende balklaag (vloerdiafragma). Wanneer de muur aan twee zijden kan worden versterkt, kunnen dunnere regels worden toegepast. Doorkoppeling van de profielen creëert een groter weerstandsmoment. Aan twee zijden bevestigen is meer werk dan aan één zijde vanwege het aantal verankeringen en omdat dan aan twee kanten van de muur het plafond moet worden opengemaakt om de regels aan de balklaag te bevestigen. De beschikbare ruimte zal bij kleine kamers van invloed zijn op de besluitvorming, eveneens de kosten voor de afwerking en het verplaatsen van wandcontactdozen.

Figuren 6-20. Eenzijdig Hout Skelet Bouw HSB.
Op halfsteens binnenmuren kunnen regels worden geschroefd die ook aan de balklaag worden verbonden. De vloer wordt als diafragma versterkt en verstijfd met een multiplex plaat.
Bij een dragend binnen-spouwblad kan dezelfde methode worden toegepast met zwaardere profielen voor smalle raampenanten.



De hierboven geschetste versterking is gebaseerd op scheurvoorkoming bij de lichte aardschokken die zich nog kunnen voordoen in de provincie Groningen. In 2015 werden echter op basis van de hele hoge dreigingskaart van de NPR verschillende ontwerpen gemaakt voor hele zware muurversterking.

Figuren 6-21. Zeer zware versterkingen.
Na het maken van een volledige platform-fundering werden hier zware metalen profielen en portalen gebouwd, gebaseerd op een PGAg 0,42 (testwoning Loppersum).

Figuren 6-22. Zware HSB-versterking. <u>Links</u>. Zware muurversterking met houtskelet constructie op de binnenzijde buitengevel in een testwoning in Loppersum, gebaseerd op een PGAg 0,36.
<u>Rechts:</u> retrofitting van dikkere binnenmuren in New Zealand (zware aardbevingen) > PGAg ≈ 0,25.

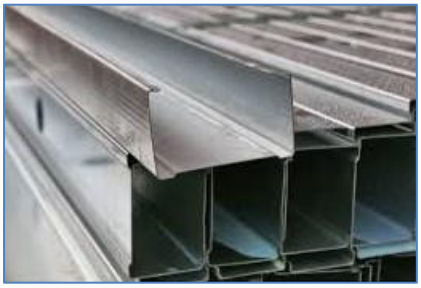
Wanneer de voor- en achtergevels van een woning muurdelen heeft, kunnen deze volgens dezelfde methode eenzijdig aan de binnenzijde versterkt worden. Vanwege de meestal grote raamopeningen zal het aantal profielen kleiner zijn. Daarom moeten ze groter in doorsnede zijn of er moeten stalen portalen worden toegepast. Bij oudere woning-tussenmuren zijn de muurvlakken groot en moeten loodrecht op hun vlak ook versterkt worden. Vanwege het ruwe oppervlak is de toepassing van profielen dan meer praktisch dan het opplakken van GVTW of CRFP.

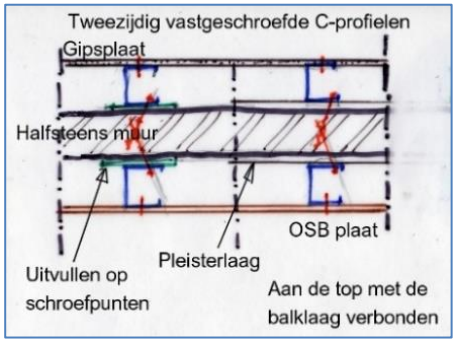
Figuur 6-23. Versterken na schoorsteen.
Na het verwijderen van de schoorsteen verloor de hoge tussenmuur haar stijfheid. Dit werd gecompenseerd door aan beide zijden profielen te plaatsen en die dóór de muur met elkaar te verbinden.

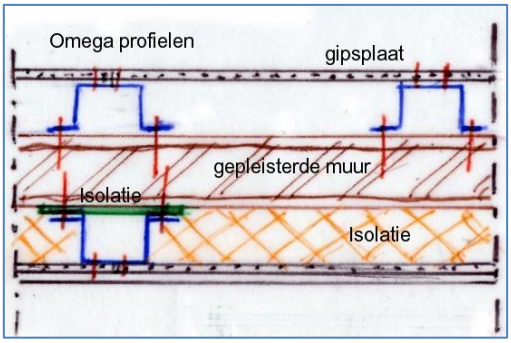
Bij het verwijderen van de schoorsteenmantel op de begane grond is het belangrijk dat het hele schoorsteen kanaal naar boven tot en met boven het dak wordt verwijderd.

6.6. Stalen C-profielen op binnenmuren

In plaats van houten profielen kunnen ook metalen studs of C-profielen toegepast worden die veelvuldig voor binnenmuurconstructies gebruikt worden. Door deze dunne studs aan beide zijden[268] van de dunne binnenmuur met elkaar te verbinden ontstaat een goede versteviging. Hiertoe moet de ruimte tussen de stud en de muur op elk verbindingspunt drukvast worden uitgevuld.[269] De bovenkanten van alle studs moeten sterk aan de balklagen verbonden worden overeenkomstig de houten profielen en met tenminste elke 40 cm een muuranker. Een OSB-plaat afwerking geeft nog meer verstijving.







Figuren 6-24. C-profielen bij binnenmuren. Deze moeten tweezijdig worden toegepast, door ze door de muur heen met elkaar te verbinden. Verdere versterking geschiedt door opgeschroefde OSB-platen.

Met plaatstaal C-profielen moet in het profiel de verbinding worden gemaakt. Het fabriceren van profielen met de twee flensen naar buiten zal dan **makkelijker werken** (Ω -profielen).

Als proefprojecten (in testwoningen) werden op basis van de hele hoge NPR9998:2015 (met PGAg 0,42) verschillende woningen overmatig zwaar versterkt met binnenzijdige staalconstructies die op een nieuwe doorlopende bodem-betonplaat werden vastgezet.

[268] De metalen studs zijn dun gegalvaniseerd en gevouwen plaatstaal en minder stijf dan houten profielen. Daarom moeten aan beide zijden worden toegepast en goed met elkaar verbonden.
[269] Elke stud staat hierdoor op meerdere plaatsen in direct contact met de muur en aan beide zijden. Hierdoor zal de dikkere wand weinig extra geluidsisolatie hebben t.o.v. de dunne muur.

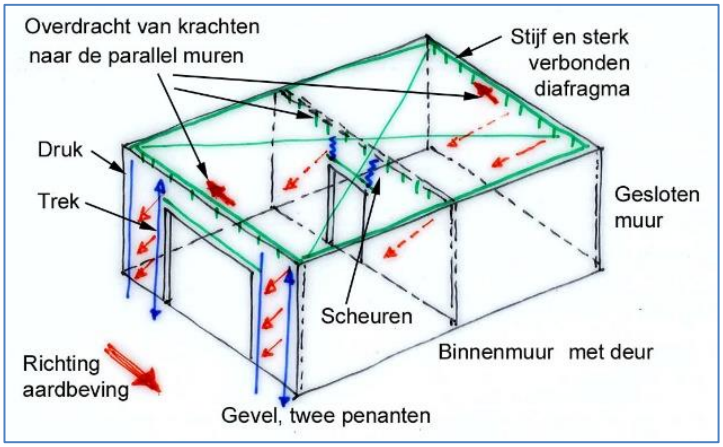
Figuur 6-25. Stalen voorzetwanden. Proefproject in testwoning. Dit voorbeeld werd ontwikkeld door de combinatie van Brands Bouw, DNN Groep, Goudstikker-de Vries, Fischer (muurverankeringen) en DP Engineering. Met verschillende opties voor isolatie en afwerking. Hier nemen de staalprofielen de volledige draagkracht en gebouwsterkte over en zijn de muren slechts belasting.

Bij de versterkingsmethode met houten profielen en bij de metalen C- of Ω-profielen werken deze profielen en eventueel de bekleding (OSB) samen met de binnenmuur om een sterke constructie te krijgen. Gipsplaat is te zwak. Nieuwe elektriciteitsleidingen en dergelijk kunnen achter de bekleding van de voorzetwanden weggewerkt worden. Bij woning-scheidende wanden moet geluidsoverdracht verminderd worden door de toepassing van een trilling-isolerende strook tussen het profiel en de muur. Extra geluidsisolatie kan verkregen worden door katoen (recyclet) isolatiemateriaal.

6.7. Schade varianten bij smalle raam- en deurpenanten

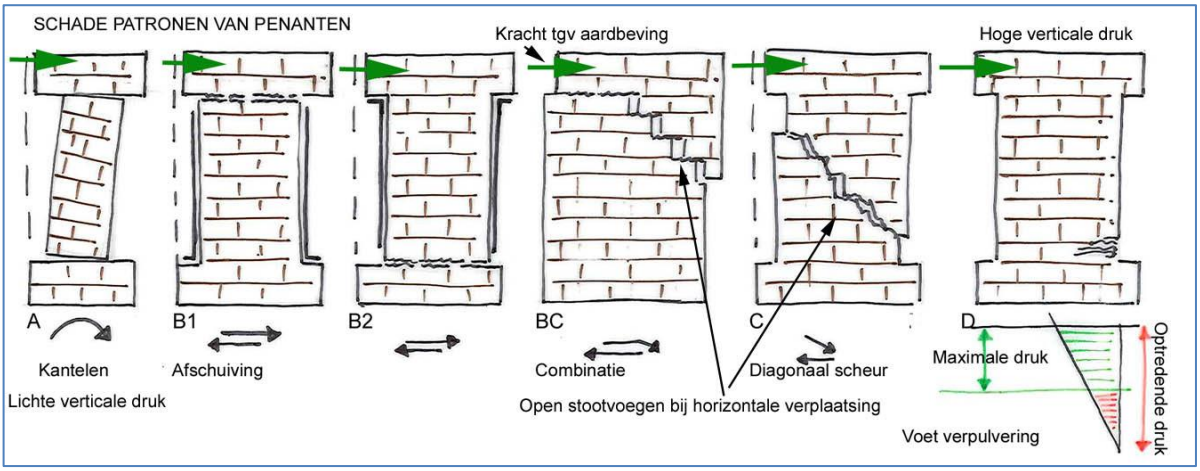
Bij de lichte aardbevingen in de provincie Groningen is de maximale horizontale grondverplaatsing bij PGAg 0,05 maximaal 5 mm in een epicentrum. Dan zal er volgens de laatste dreigingskaart van de NPR-code geen 'seismische versterking' tegen instortingsgevaar meer nodig zijn. Met deze trillingen kunnen echter nog steeds scheuren ontstaan die met voldoende wapening voorkomen kunnen worden. Het technisch verduurzamen van woningen houdt dus enerzijds het versterken in voor het voorkomen van scheuren in en anderzijds het beter thermisch isoleren van de woning.

Aardschokken komen uit alle drie de richtingen. Belastingen loodrecht op het vlak van de muur moeten bij ongewapende muren **altijd voorkomen worden**. Wanneer er in het gebouw geen binnenmuren zijn die de belastingen in het vlak van de muur kunnen opvangen, zullen bij smalle muurbreedtes van raampenanten de belastingen hoog oplopen. Deze smalle penanten moeten daarom extra versterkt worden, of andere constructies zoals portalen of sterke glaspanelen moeten deze krachten opvangen.



Figuur 6-26. Belastingverloop in muren. In deze schets met vloerdiafragma, zal de binnen dwarsmuur de helft van de vloer- en gebouwbelasting op de penanten naast de deur opvangen. De buitengevel achter en de voorgevel zullen elk 1/4de van de belasting op moeten vangen. Echter, in veel doorzonwoningen is een dergelijke binnenmuur niet aanwezig, terwijl de achtermuur ook uit ramen bestaat.

Smalle penanten kunnen in het vlak van de muur op vier verschillende manieren bezwijken. De onderstaande schetsen geven in het vlak van die penanten één bezwijkrichting aan, maar bij een aardbeving is dit in de twee aan elkaar tegenovergestelde richtingen. De tweede bezwijkvorm van afschuiving (B) is onderverdeeld in drie sub-varianten, waarbij BC een combinatie is met C.

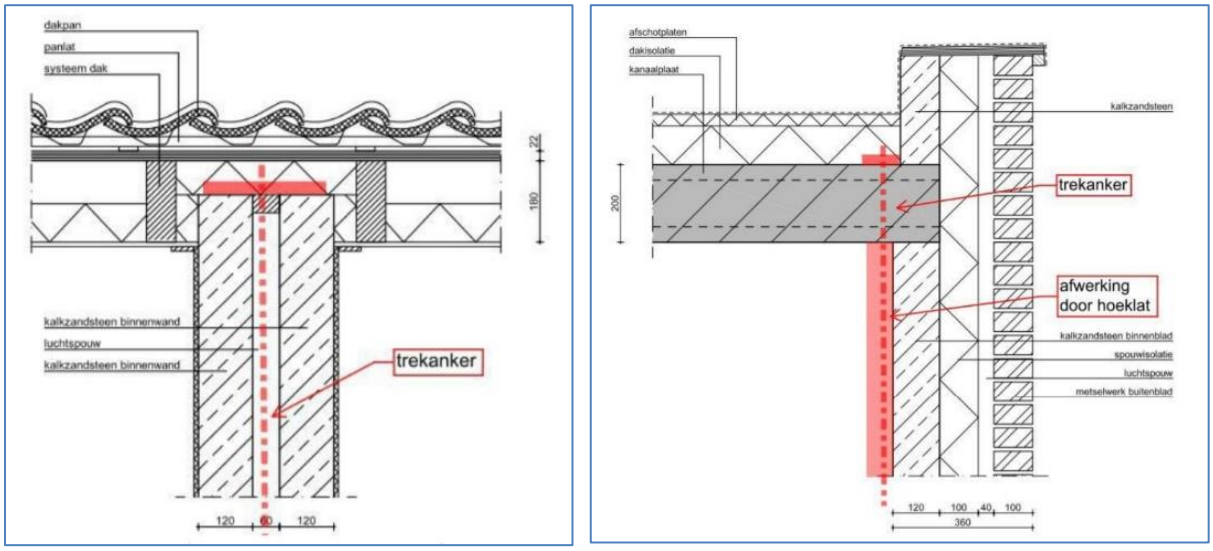


Figuur 6-27. Vier schadevormen penanten. Bij een lage boven-belasting scheurt het sneller. Type A is het meest voorkomend. Hoe smaller de penanten, hoe sneller dit gebeurt. Type B ontstaat wanneer een boven- of onderkant van de penant aansluiting versterkt is. Type BC komt veel voor bij een lage bovendruk en een lage afschuivingssterkte.

Figuren 6-28. Scheuren A, BC en dubbele C. Links. Typische A-scheur bij lage bovendruk en kanteling. Rechts: Italië na een tektonische aardbeving. Type dubbele C scheur is dan het meest voorkomend. Door de twee bewegingen ziet men dan de X scheurvorm.

A. Kantelen (‘*rocking*’) van de smalste penanten (h/b = <1/4). Hoe smaller het penant, hoe sneller het zal gaan kantelen bij een zijwaartse belasting. Dit gebeurt wanneer de druk van boven laag is en omdat het metselwerk verticaal geen trek kan opnemen. Slechts bij zeer hoge belasting van boven, zoals bij meer dan vier etages, kan de druk van boven de door een aardschok optredende verticale trekkrachten in het penant gedeeltelijk of geheel compenseren. In de Nederlandse rijtjeswoningen zijn de voor- en achtergevels met veel glasoppervlakte zelden dragende constructies en hebben dus een erg lichte boven-belasting; dit verhoogt het kantelrisico. Als de penanten omvallen valt het heel rijtje woningen om.

   Het kantelen van smalle penanten kan voorkomen worden door de bovendruk te verhogen, bijvoorbeeld met een op trek belaste verankering aan de fundering. Dit is voor grote muurvlakken niet relevant want die zijn voldoende breed. Dit is echter voor smalle penanten een risico, want daardoor kan de extra druk schade patroon D opleveren (*Figuur 6-26, voet verpulvering*), waarbij de bakstenen in de hoek kapot gaan. Bij meerdere bewegingen zal het penant toch omvallen. Wanneer er sprake is van een hogere druk zal een kolomconstructie toegepast moeten worden.



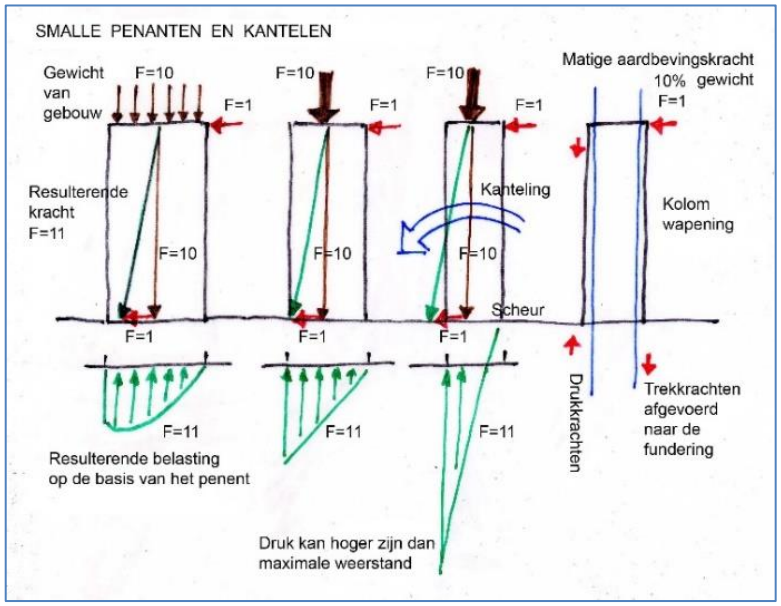
Figuren 6-29. Voorspan ontwerpen. Deze optie werd in 2014 voorgesteld door Ing. Bureau SmitWesterman in het kader van de ontwerp competitie. De trekankers naar de fundering lopen door de spouw of met een stijve betonvloer langs de muur. Theoretisch, op het gebied van sterkte is dit een interessante oplossing, maar het probleem in de woningbouw is niet de gesloten kopgevel. Het probleem ligt bij de smalle voor- en achtergevel penanten. Die kunnen misschien wel een extra boven-spanning verdragen, maar niet daar overheen nog eens de aardbevingsbelasting. Alleen strak vastzetten is dan een optie.

De meeste woningen in Groningen met veel scheurschade hebben echter steens-muren en houten balken vloeren, waar het voorspannen langs een kant van de muur een excentrische druk op de muur zal opleveren. Bij een extra excentrische druk is het risico van knik in het muurvlak verhoogd.

Door aan de binnenzijde in steens muurpenanten in de hoogte spiraalwapening in te lijmen, vanaf de fundering tot aan de muurplaat wordt in de meeste gevallen voldoende sterkte geleverd tegen kantelen van smalle muurpenanten.

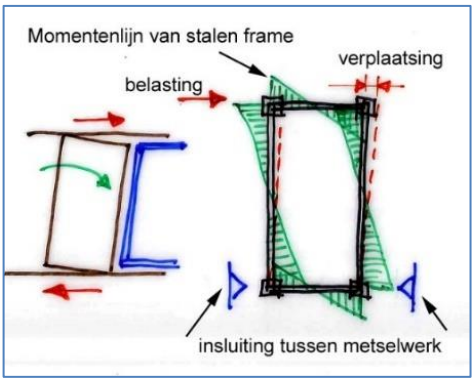
Figuur 6-30. De krachtenresultante. Deze moet binnen de basis vallen. Bij een lage topbelasting op een penant loopt deze resultante minder stijl, waardoor deze naast de smalle basis van het penant zal vallen en het penant gaat kantelen.

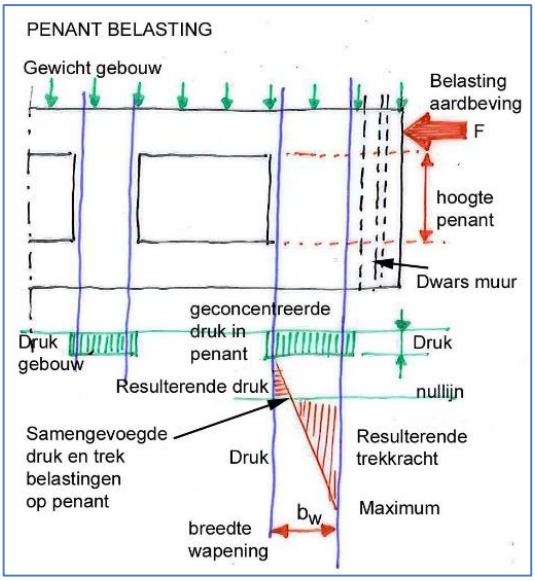
Bij een PGAg 0,05 zal de horizontale belasting ongeveer 5% van de massa boven het raamniveau zijn. Echter, de verticale gebouwbelasting is verdeeld over alle muren, terwijl de volle 5% horizontale belasting alleen in het vlak van de muren (e.g. de smalle penanten) moet worden opgevangen.



Binnenmuren die dragend worden door vloerdiafragma versteviging, zijn makkelijker en lichter te versterken (met GVTW en lichte houtconstructies) dan de smalle raampenanten. Bij de berekening van gebouwen moeten de gezamenlijke muren en penanten (in het vlak) worden berekend op de horizontale belasting en overeenkomstig met de stijfheid van de vloerdiafragma's versterkt.

Figuren 6-31. Smalle raampenanten kantelen. Zowel woningen daterend uit rond 1900 met steens muren als naoorlogse woningen met spouwmuren hebben smalle penanten die bij een zijwaartse schok kunnen kantelen. Rechts. De gele markeringen bij deze nieuwe woning geven aan waar horizontale scheuren onder en boven in de penanten ontstonden bij een PGAg 0,06.



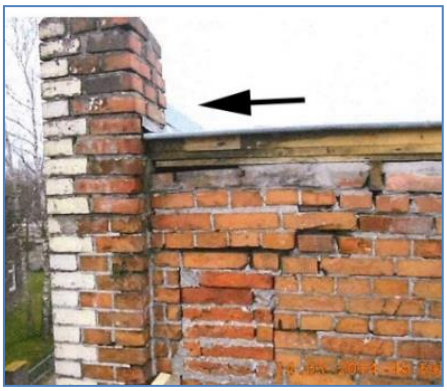


Figuren 6-32. Zes opties gevelversterking.
(1) Rond het kozijn een sterk frame maken. (2). Verticale wapening in het penant aan te brengen, van fundering tot dak. (3) Stalen of gewapend betonnen kozijnen. (4) Sterke glaspanelen i.p.v. de ruiten plaatsen. (5) Kolommen of portalen. (6) Maken van een nieuwe gevel.

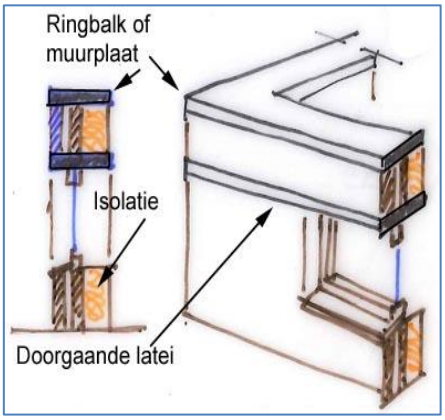
BC en C. Diagonale scheurvorming (*Figuur 6-26)* komt vrij veel voor wanneer het metselwerk van slechte kwaliteit of verweerd is en dat daarom de mortel geen afschuifkrachten kan weerstaan en de **bovendruk gering** is. In sommige situaties kan de oorzaak een combinatie zijn van verzakking van een zijmuur met de schok van de aardbeving.

Figuren 6-33. Diagonaalscheur dakkapel. Verschuiving loodrecht op het vlak van de muur. De massa van de bakstenen dakkapel is ook ietsje naar voren gekomen (afschuiving).

Figuren 6-34. Scheuren type BC.
Onder de dakrand en bij een muureinde. Deze zijn een combinatie van afschuiving en kanteling van het muurpenant.



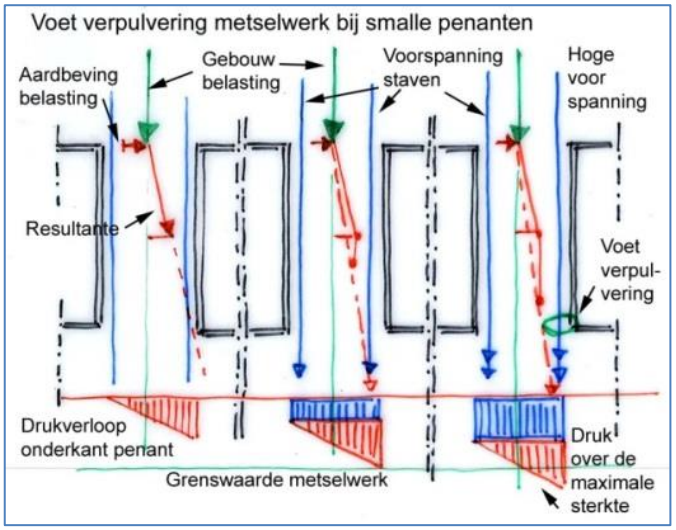
Figuur 6-35. Geen treksterkte bij ramen. Een doorlopende latei en muurplaat kunnen een verbinding maken met de bredere en sterkere gedeeltes in de gevel of met het vloerdiafragma. Hierdoor wordt voorkomen dat het eindpenant naar de zijkant uitwijkt en het penant gaat draaien.



.

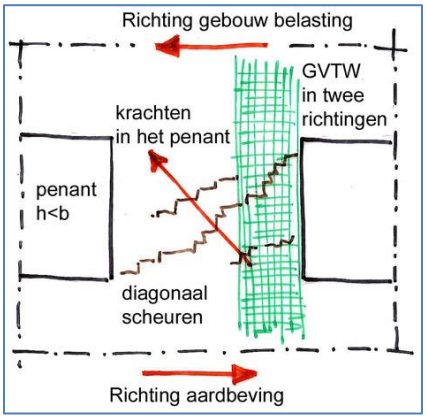
D. <u>Voetverpulvering (‘*toe crushing*’ *Figuur 6-26*)</u> ontstaat wanneer er een grote verticale druk op het metselwerk bestaat zoals het geval kan zijn bij meer dan vier etages. Met een al bestaande hoge verticale belasting en de korte aardbevingsbelasting kan de resultante van de verticale en horizontale krachten aan de zijkant van de penant basis vallen, en kan de maximale druksterkte van het metselwerk op dat punt overschreden worden.

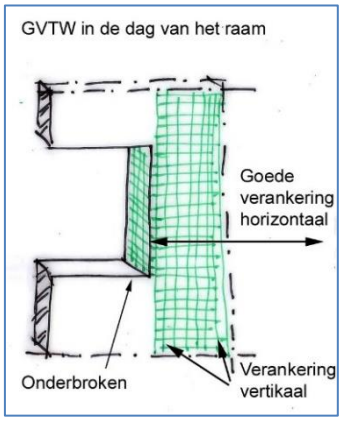
Figuur 6-36. Voetverpulvering.
Dit kan optreden met hoge voorspanning én een beving.
Voorspanning is alleen mogelijk bij een goede kwaliteit metselwerk en wanneer er geen excentrische belasting op de dunne muren wordt veroorzaakt.
Een optie is om alleen een staaf strak vast te zetten, zodat deze net zoals muurwapening pas gaat werken als er een extra belasting optreedt.

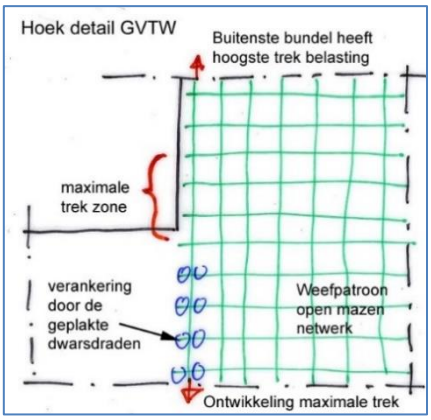


6.8. Versterken van penanten met GVTW

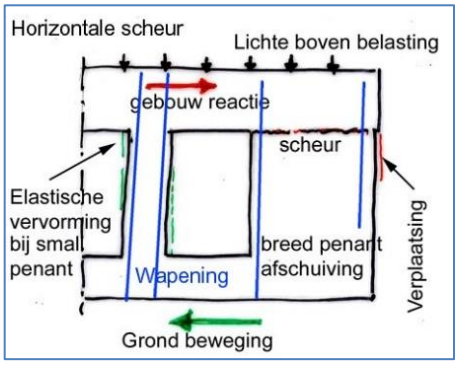
In de gevel van elke woning zijn de raam- en deurpenanten de zwakke schakels. De versterkingsoptie is afhankelijk van de plaats en grootte van die penanten. Bij een algemene verduurzaming van gebouwen kunnen oude kozijnen vervangen worden door beter geïsoleerde kozijnen met raamwerk.

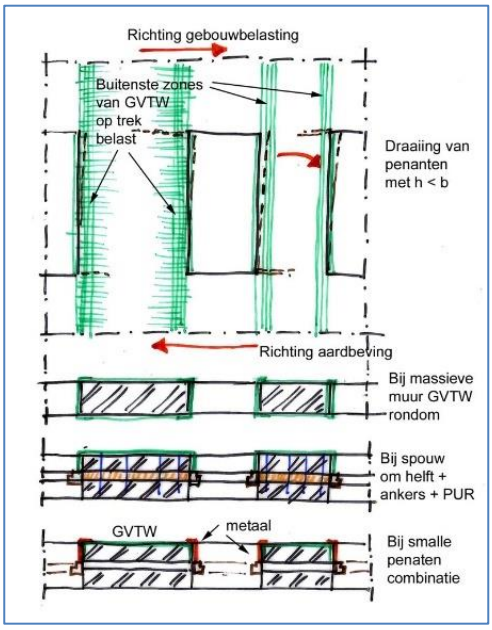






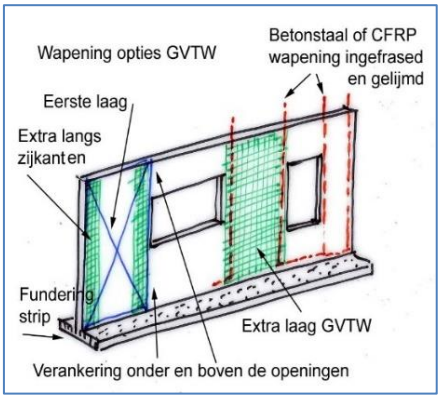
Figuren 6-37. Penanten scheuren. Langs de zijkanten van de ramen ontstaat de grootste spanning. Onder en boven de raamopening moet daarom voldoende plaklengte aanwezig zijn om de krachten van het metselwerk over te dragen op het GVTW. <u>Midden.</u> Smalle penanten kunnen met het GVTW rondom worden beplakt wanneer deze penanten aan de buitenzijde worden gepleisterd.

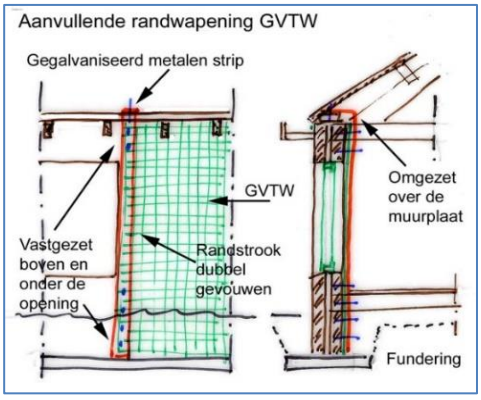


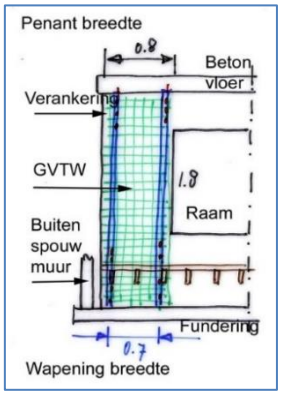


Figuren 6-38. Versterking van penanten. Verticaal in-frezen en verlijmen van spiraalwapening. Bij mooie bakstenen buitenmuren kan dit alleen aan de binnenkant. De in de muur gefreesde wapening moet met voldoende ankerlengte worden vastgelijmd.
Bij steens-muren moet de binnen afwerking verwijderd worden.
<u>Rechts</u>. GVTW kan alleen op een vlakke wand geplakt worden.

.

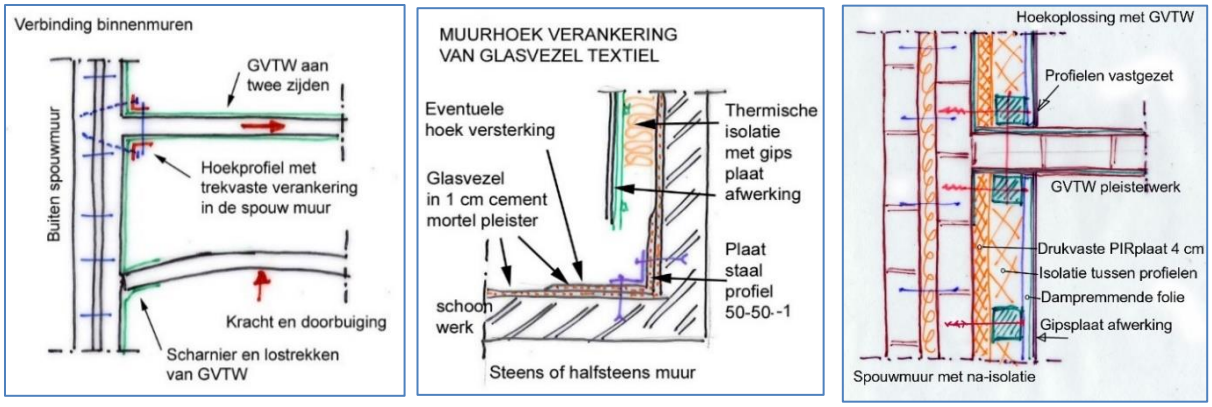






Figuren 6-39. Mogelijkheden met GVTW.
<u>Links.</u> Combinatie van GVTW met een extra strook GVTW langs de randen. Combinatie met in-gefreesde spiraalwapening of betonstaal. Alleen wapening.
<u>Midden</u>. Stalen verankering moet doorlopen tot in de fundering en aan het plafond/vloer diafragma vastzitten.
<u>Rechts</u>. Bij een betonnen vloer is de horizontale bevingsbelasting veel hoger en kan de verticale wapening aan die betonvloer worden vastgemaakt.

Omdat bij een trekbelasting tussen de muur en de dwarsmuur het GVTW los kan raken of een scharnier vormen, is het verstandig om de hoeken te versterken met een extra laag GVTW en een profiel of een metalen hoeklijn die goed aan beide muren is verbonden. In de dikte van de profielen kan aan de binnenkant de buitenmuurisolatie worden aangebracht.



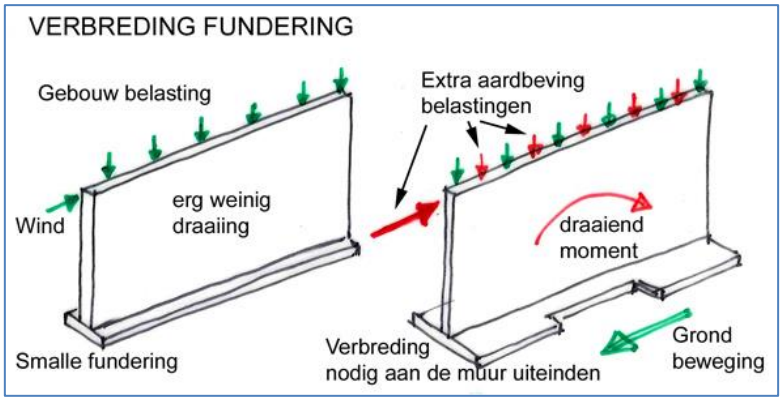
Figuren 6-40. GVTW moet in de hoeken. Om lostrekken in de hoeken te voorkomen kan op het dubbel GVTW een hoeklijn of een profiel aan de beide muren worden vastgezet. De dikte van de profielen kan wegvallen in de thermische isolatie. Wat geldt voor GVTW is ook zo voor het sterkere CRFP.

Wanneer de kozijnen worden verwijderd om er in het kader van de verduurzaming nieuwe goed geïsoleerde kozijnen voor triple glas in te plaatsen kan de GVTW eerst rondom de penanten geplakt worden en daarna kozijnen geplaatst.

Figuren 6-41. Penanten buiten afwerken.
<u>Links</u>. Bij deze woning kan na het verwijderen van de kozijnen het GVTW buitenom vastgeplakt worden zonder verandering in de architectuur.

<u>Rechts</u>. Bij deze rijtjeswoning, met extra smalle penanten op de begane grond, moet een andere oplossing gezocht worden om stabiliteit aan het gebouw te brengen (bijvoorbeeld met portalen).

Figuur 6-42. Binnenmuur fundering aanpassen.
Dit moet bij een hogere plaatselijke belasting door diafragmawerking. Bij een hogere muurbelasting door de werking van het vloerdiafragma moet de fundering verbreed en versterkt worden om voldoende draagkracht te behouden.



6.9. Berekening van binnenmuur en penantversterkingen

Voor de berekening van de binnenmuren wordt een kleine woning als voorbeeld genomen, waarbij zich massaberekeningen gemaakt kunnen worden voor een houten etagevoer, of met een stijve betonnen etagevloer (dit voorbeeld). Bij een houten etagevloer moet een sterk en stijf vloerdiafragma gemaakt worden om de krachten over te brengen naar het vlak van de dragende muren. Dat is niet nodig bij een betonnen vloer uit een stuk die niet uit losse prefab elementen bestaat.

Het gebouw wordt op de zwakste doorsnede berekend. Dit is de doorsnede over de raampenanten van de begane grond (links, lijn F4). Alle boven F4 liggende massa en 50% van de nuttige vloerbelastingen moeten worden opgeteld, doch geen sneeuwbelasting bij een schuin dak (>30 graden)[270]. De betonvloer verdeelt de belasting over alle muren. De F4 belasting bij een 10 cm betonnen +2 cm cement etagevloer is afgerond op ≈ 40 ton = 400 kN. Bij een maximale PGAg 0,05 is de horizontale belasting ≈ 0,05 x 400 kN = 20 kN. Bij een houten etagevloer is dat flink minder.

Figuren 6-43. Kleine woning berekenen. Met vier niveaus.
<u>Links.</u> Eerst F1 berekenen met de schoorsteen en dan F2 enz. <u>Midden</u>. Plattegrond 8,5 x 6,5 m = 55 m² begane grond gebruiksoppervlak. <u>Rechts</u>. Schematische weergave van de raampenanten in één richting.

Volgens bouwtekening zitten in de fundering, ter plaatse van de bovenliggende drie grote openingen (twee ramen en de muur tussen woonkamer en keuken) doorgaande betonbalken. De kwaliteit van de spouwankers werd niet onderzocht; het is echter mogelijk dat in gebouwen uit de jaren 1960 degradatie van de kwaliteit van de spouwankers kan optreden. Dit degradatie risico is nog meer het geval bij gebouwen die dicht bij de kust staan. De vloerbelasting (dunne betonvloer) is op het binnen-spouwblad van de gevelmuren en op de halfsteens binnenmuren.

Voor de seismische gebouwbelastingen worden alleen de horizontale belastingen berekend. Deze horizontale krachten moeten worden opgevangen in het vlak van onderliggende muren. De onderliggende dunne binnenmuren (11 cm dik) en binnen spouwmuren (11 cm dik) hebben echter deur- en raamopeningen; alle muren tellen hier mee omdat de betonvloer ze verbindt. Het gebouw heeft in de lengterichting (Y-as) drie muren; wand 2, wand 8 en wand 4.

6.10. Berekening in de lengterichting, langs de Y-as.

De horizontale verplaatsing van deze stijve betonvloer door de aardbevingskrachten is overal gelijk. De stijfheid van de muurpenanten is bepalend voor de kracht die elk penant opneemt en evenredig aan de breedte van het penant. De stijfheid van elk penant wordt bepaald door de breedte/hoogte verhouding naast de grootste opening. De breedste penanten zijn het stijfste en nemen daarom de grootste krachten op.

[270] Bij aardbeving berekeningen hoeft maar 50% van de nuttige belasting worden meegeteld en geen sneeuw.

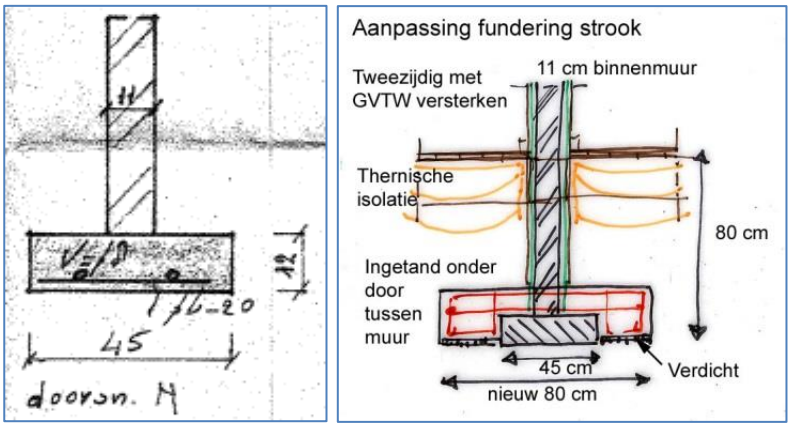
Wand 2: het 1e raam = 1,8 m hoog; het 2e raam = 1,3 m hoog
Wand 8: de deuren zijn 2,0 m hoog.
Wand 4: het 1e raam = 1,5 m hoog; deur 2,0 m hoog; het 2e raam = 0,7 m hoog

Bij penanten die aan weerszijden verschillende raam- of deurhoogten hebben wordt de grootste hoogte aangenomen. W2: 0,8/1,8 = **0,44**; 1,6/1,8 = **0,89**; 1,0/1,3 = **0,77**. W8: 4,0/2,0 = **2,0**; 2,6/2,0 = **1,3**. W4: 1,0/1,5 = **0,56**; 2,7/2,0 = **1,35**; 1,4/2,0 = **0,7**; 0,4/0,7 = **0,57**. Totaalsom is **8,58**.

De totale belasting F4 van de betonvloer en alles daarboven is ongeveer 40 ton. Bij een aardbeving belasting van PGAg 0,05 is dan de horizontale belasting dan 0,05*40 t = 2 ton (20 kN).
De PGAg 0,05 belasting per penant is dan
W2: 0,44*2t/8,58 = **0,1 t**; 0,89*2t/8,58 = **0,21t**; 0,77*2t/8,58 = **0,18t** samen **0,49t** of ongeveer 25% van de totale horizontale kracht;
W8: 2,0*2t/8,58 = **0,47t**; 1,3*2t/8,58 = **0,3t** samen 0,77t bijna 40% van totale kracht; de rest 35% is:
W4: 0,56*2t/8,58 = **0,13t**; 1,35*2t/8,58 = **0,32t**; 0,7*2t/8,58 = **0,16t**; 0,57*2t/8,58 = **0,13t** samen **0,58t.**
De halfsteens tussenmuur (Wand 8) neemt dus het **merendeel van de kracht op**, maar moet deze naar de smalste van de drie fundering stroken afvoeren. Er zijn twee problemen in deze situatie;

1) De dunne tussenmuur W8 moet ook versterkt worden voor belastingen loodrecht op het vlak van de muur, voordat deze belast kan worden in het vlak van de muur. Bij een aardbeving kan bij lichte torsie het risico van knik ontstaan. De binnenmuur moet daarom tweezijdig versterkt worden met GVTW of een houtskelet. Na het versterken kunnen de muurdelen beschouwd worden als staande platen die onder (fundering) en boven (betonvloer) horizontaal zijn opgelegd om de doorbuiging door de horizontale aardbeving belasting t.g.v. het eigen gewicht te weerstaan.

2) De opleggingsdruk van een betonnen vloer of balk op de dunne spouwmuur zal aan de kamerzijde van die muur na het ontkisten excentrisch (Figuur 6-44) worden verhoogd door de elastische doorbuiging van die betonnen vloer of balk. Hoe dunner de betonvloer, hoe groter de doorbuiging zal zijn. In deze woning is de betonnen vloer slechts 10 cm dik plus 2 cm cementmortel afwerking.

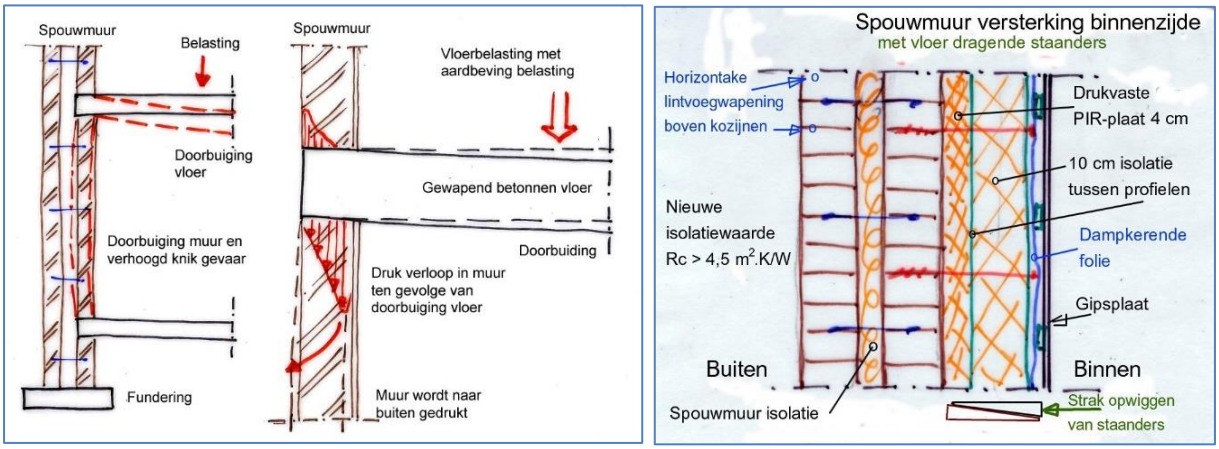


Figuren 6-44. Verbreding van de fundering.
De bouwtekening geeft aan dat de dunne binnenmuren op een smalle funderingsstrook staan. De versterking van de muren moet tot aan de fundering en de fundering moet verbreed worden.

De excentrische druk op de muur kan een uitbuiging van die dunne draagmuur veroorzaken. Bij een verhoogde verticale belasting, gecombineerd met een horizontale aardbevingsbelasting in het vlak van de muur, of een extra horizontale aardbevingsbelasting loodrecht op het vlak van de muur zal het knikgevaar toenemen. Dunne muren, in dit geval ook het binnenblad van de spouwmuren, moeten daarom eerst versterkt worden vóórdat zij de extra aardbevingsbelasting kunnen opnemen.

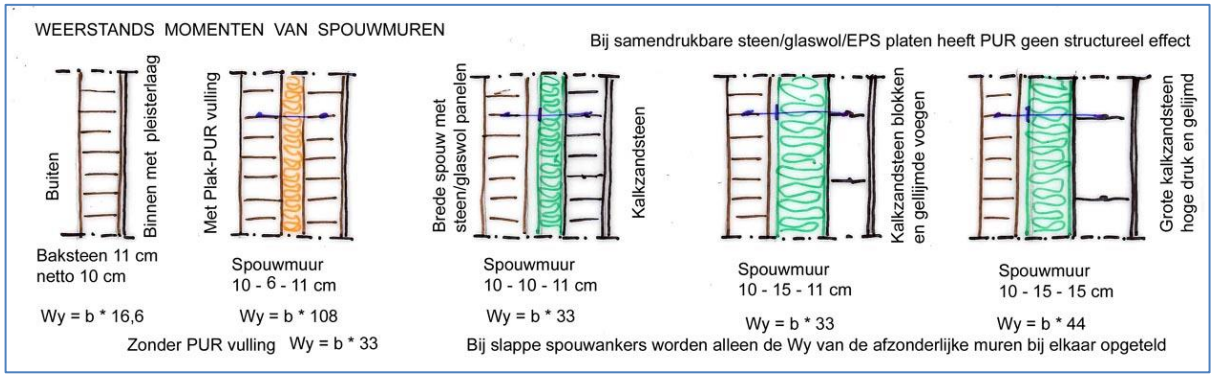
Door het aanbrengen van een dikke isolatie aan de binnenzijde blijft de steens buitenmuur koud en zal minder snel het opgenomen vocht verliezen.

Dit kan leiden tot houtrot wanneer de balkeinden die in de vochtige steens buitenmuur dragen en onvoldoende beschermd zijn tegen condensatie en vocht in die muur. In deze situatie moeten de balken door het binnenzijdige houtskelet gedragen worden.



Figuren 6-45. Excentrische belasting. Brede raampenanten kunnen versterkt worden met een dragend houtskelet. Bij steens muren is het verstandig om bij een houtskelet versterking de vloerbalken op dat houtskelet te laten dragen en niet meer is de on-geïsoleerde buitenmuur.

De spouwmuur kan ook versterkt worden door injecteren van Hoge Dichtheid PUR die de twee spouwbladen intensief aan elkaar verbindt[271]. Hierdoor wordt het weerstandsmoment van die spouwmuur ongeveer **driemaal hoger** (W_y 108 ipv W_y 33) omdat het buitenspouwblad dan als een sandwichpaneel meewerkt tegen de doorbuiging.[272]



Figuur 6-46. Spouwmuursterkte met harde PUR. Het doorbuigingsmoment van een met harde PUR ingevulde spouwmuur 10-6-10 cm is >3x zo hoog als een enkel spouwblad van 10 cm dik. Bij spouwmuren met al bestaande vulling werkt deze oplossing niet.

Het navullen met lichtgewicht beton van een bestaande spouwmuur heeft een groter sterkte-effect dan met HD-PUR, maar moet van bovenaf gedaan worden, is zwaar (nadeel) en ingewikkeld en daardoor kostbaar in de uitvoering.

---

[271] Dit kan alleen met een nog lege spouw, niet bij een spouwmuur waar al een andere vorm van isolatie in zit.
Het weerstandsmoment van een 10 cm halfsteensmuur is $Wy_{10} = (b*h^2)/6 = b*16,6$
Het weerstandsmoment van een 10-6-10 cm open spouwmuur 2x $Wy_{10} = b*33,2$
Wy = weerstandsmoment, *h* = muurdikte metselwerk, *s* = dikte spouw, *b* = breedte 1.

[272] Een open spouw heeft iets flexibele spouwankers, waardoor bij een doorbuig situatie de buiten spouwmuur bij een kleine buiging niet meewerkt als weerstand tegen het buigende moment. Hoe harder de HD-PUR is, hoe eerder het buitenspouwblad bij een kleine elastische vervorming mee gaat werken als een sandwichpaneel.
Een 10-6-10 cm muur HD-PUR gevulde spouwmuur is $Wy_{26p} \approx (b*h_m^2)/6 - (b*h_s^2)/6 \approx b*108$. Dus >3x zo hoog.

Bovendien moet er dan binnenzijdig extra geïsoleerd worden. In injecteren met HD-PUR is eenvoudig en snel uit te voeren en voegt goede isolatie toe[273].

Bij de berekening van een spouwmuur loodrecht op het vlak van de muur wordt in veel gevallen slechts de dragende (binnen)muur of -spouwblad op sterkte berekend. Voor de sterkte berekening kan de effectieve dikte van het enkele dragende binnen-spouwblad verhoogd worden met ongeveer 20% vanwege de verbinding aan het buiten-spouwblad. Echter, bij een terug-liggende voeg of slecht voegwerk is de effectieve dikte van de muur 1-2 cm kleiner.
Voor open spouwmuren kan de volgende muurdikte worden aangenomen:

Effectieve dikte van de muur overeenkomstig Eurocode 6.
t_{ef} = t (feitelijke diktes) voor halfsteens, steens en anderhalf steens massieve muren, niet dragende façades en gevulde baksteen of cementblokken.
$t_{ef} = \sqrt[3]{t_1^3 + t_2^3}$ (formule 4.17) voor spouwmuren waarbij beide muren met ankers aan elkaar verbonden zijn en waarbij t_1 ent$_2$ de dikte van het spouwblad is.

- Wanneer de effectieve dikte te hoog is ingeschat wanneer het belaste spouwblad een hogere Elasticiteitsmodule heeft, moet met de relatieve stijfheid rekening gehouden worden bij de berekening van t_{ef}.
- Wanneer slechts één spouwblad dragend is kan de formule 4.17 gebruikt worden om de effectieve dikte te berekenen, wanneer de spouwankers voldoende flexibiliteit hebben zodat de belaste muur niet negatief wordt beïnvloed door de onbelaste spouwmuur.
- Bij het berekenen van de effectieve dikte, mag de onbelaste spouwmuur niet dikker worden aangenomen dan de belaste spouwmuur.

Voor de loodrecht op het vlak van de muur berekening van een spouwmuur van 10-6-11 cm (buiten-spouw-binnen), waarbij de 11 cm muur de dragende binnenmuur is wordt de berekening:
$t_{ef} = \sqrt[3]{t_1^3 + t_2^3} = \sqrt[3]{1331 + 1000} = \sqrt[3]{2331} = 13{,}29$ of ruim 20% meer dan de enkele muur.

De intensieve verbinding tussen de spouwbladen door de HD-PUR[274] maakt dat met de gehele muurdikte gerekend kan worden als een sandwichpaneel.

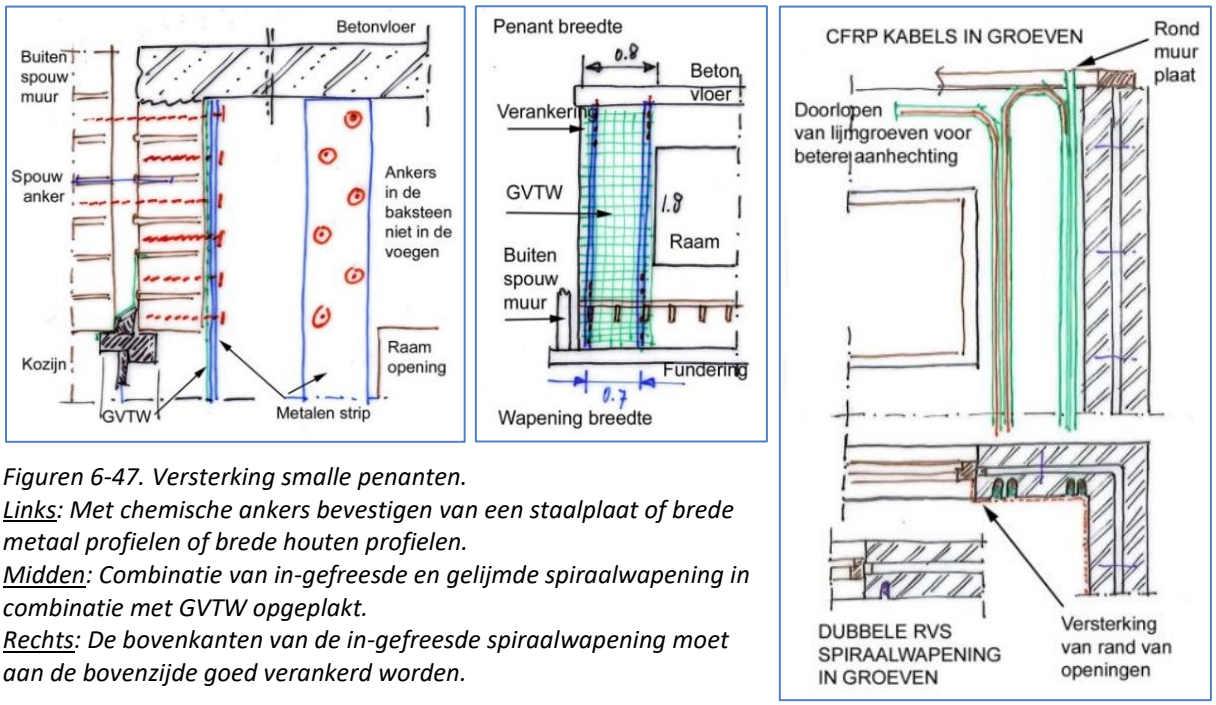
Elk penant dient vervolgens apart berekend te worden op sterkte of deze de horizontale kracht in het vlak van de muur aankan zonder dat er een kanteleffect optreedt. Bij het eerste penant (wand 2 x hoek wand 1) met breedte 0,8 m en dwarskracht van 0,1t = 1 kN is het moment in 0,82 kNm.

Bij een afstand tussen de wapening strippen van 0,7 m wordt de kracht die elke strip moet kunnen weerstaan 0,82 kNm/0,7 m= 1,17 kN. Bij een treksterkte van staal S 235 (235 Mpa = N/mm^2) heeft dit een netto doorsnede nodig van 1170/235 = 5 mm^2. Een strip van netto 3 mm x 2 mm is voldoende (of spiraalwapening of wokkeldraad Ø 4 mm. Aan elke zijde boven en onder de opening moet deze strip/draad verankerd worden aan het metselwerk, waarbij elke kant een trekkracht van 1,2 kN moet kunnen opnemen. Bij onvoldoende lengte kan de strip breder worden gemaakt.

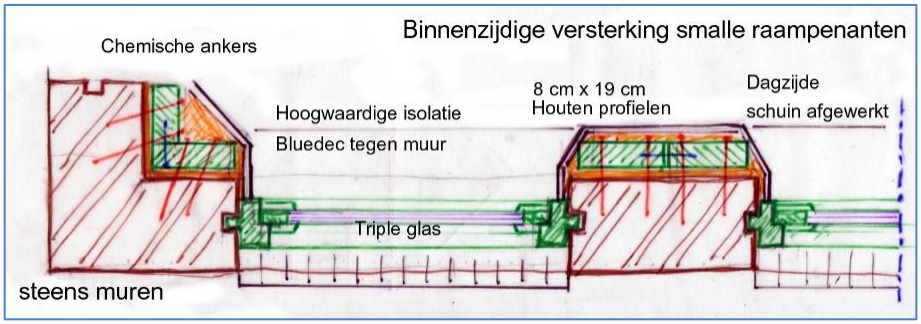
De zijkanten dubbel beplakken met GVTW is waarschijnlijk voldoende.

[273] Zie Youtube filmpje http://www.youtube.com/watch?v=_BXu_fG7sn0 3.20 min. Per m^2 Bouwen & Verbouwen; Na-isolatie met PUR-schuim. Pluimers, purschuim isolatie van spouwmuur, endoscoop en vloeren. HD-Pur schuim is een ander product (andere menging) dan de gewone PUR-muurisolatie.
[274] Vroeger werd er voor PUR het Hydrofluoro-olefins (HFO's) drijfgas gebruikt; dit is per 2022 verboden. Deze kunnen ook voorkomen in airco's en oude koelkasten. Tegenwoordig zijn er meer milieuvriendelijk drijfgassen zoals $C0_2$ en stikstof. Isolatieschuim is tegenwoordig Icynene, dat wel plakt en stijf wordt maar minder milieubelastend is. De toepassing van Icynene schuim in spouwmuren of onder vloeren is niet te recyclen.

Deze GVTW-toepassing is relevant wanneer het zwakke muren betreft zoals gebouwen van vóór 1800 die nog in kalkmortel zijn gemetseld of zelfs uitsluitend in leemmortel. Dit is soms in combinatie met het feit dat het dan monumenten zijn. In deze situaties is het binnenzijdig versterken gewenst. Voor gewone woningen is het principe van een houtskelet interieur een voordeliger oplossing. Bij smalle penanten is het vaak niet mogelijk om met een sleuvenfrees twee spiraalwapeningen met voldoende afstand tot de dag van het raam en van elkaar in te frezen. In deze situatie is dan een hout- of staalconstructie de aangewezen optie. In combinatie met de binnenzijdige thermische isolatie zal dan de dag van het raam aanzienlijk breder worden.



Figuren 6-47. Versterking smalle penanten.
<u>Links</u>: Met chemische ankers bevestigen van een staalplaat of brede metaal profielen of brede houten profielen.
<u>Midden</u>: Combinatie van in-gefreesde en gelijmde spiraalwapening in combinatie met GVTW opgeplakt.
<u>Rechts</u>: De bovenkanten van de in-gefreesde spiraalwapening moet aan de bovenzijde goed verankerd worden.

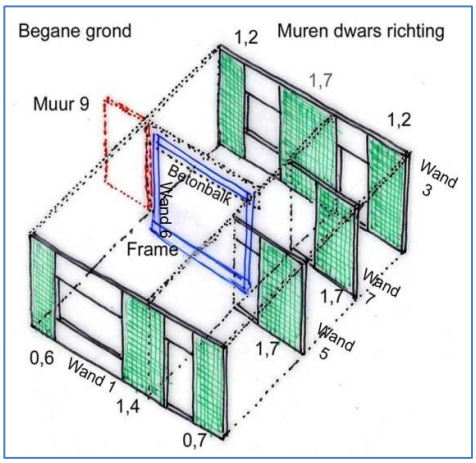


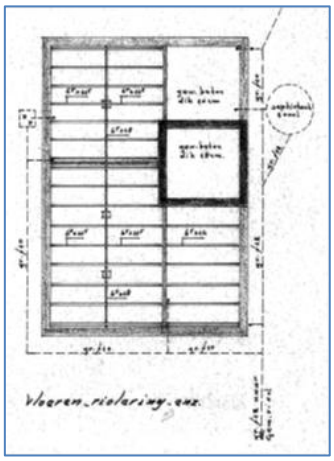
Figuur 6-48. Verbinden houten profielen. Deze moeten met chemische ankers aan de muur worden vastgezet, vooral onder en boven de kozijnen.

Figuren 6-49. Erg smalle raampenanten. Wapening in frezen lukt hier niet In dit geval zijn er kolommen nodig om sterke glaspanelen strak in de kozijnen te plaatsen. Hierdoor wordt het penant verbreed.

6.11. Berekening in de dwarsrichting, langs de X-as.

De sterkteberekening van de X-as dwarsrichting volgt hetzelfde principe als voor de Y-as. Hier is echter de Wand 6 tussen de keuken en de kamer een opening met een dunne, hoge betonbalk die op een muurverdikking steunt die aan de buitenmuur zit. Bij de gangmuur Wand 3 steunt deze balk op die halfsteens gangmuur, maar juist boven twee deuren. Een hele zwakke constructie. Deze penanten in de X-as richting met de deuren er naast zijn daarom zwakker dan de penanten in de Y-as richting.





Figuren 6-50. Muren in de dwarsrichting.
Links. De blauwe betonbalk draagt een houten scheidingsmuur op de eerste etage.
Rechts. De plattegrond toont een kelder onder wanden 5 en 7.

De breedte/hoogte verhoudingen zijn als volgt:
W1: 0,6/1,8 = **0,33**; 1,4/2,0 = **0,7**; 0,7/2,0 = **0,35**. W3: 1,2/1,2 = **1,0**; 1,7/2,0 = **0,85**; 1,2/2,0 = **0,6**.
W5: 1,7/2,0 = **0,85**; W6 is te smal; W7: 1,7/2,0 = **0,85**. De som is totaal **5,53** eenheden.
Dit is 63% van de Y richting (8,58) en dus is het gebouw in deze richting zwakker.

De PGA 0,05*g* belasting per penant is dan W1: 0,33*2t/5,53 = **0,12t**; 0,7*2t/5,53 = **0,25t**;
0,35*2t/5,53 = **0,13t** samen **0,5t** of 25% van de totale horizontale kracht;
W5: 0,85*2t/5,53 = **0,31t**; W7: 0,85*2t/5,53 = **0,31t** samen **0,62t** of 30% van totale kracht; en
W3: 1,0*2t/5,53 = **0,36t**; 0,85*2t/5,53 = **0,31t**; 0,6*2t/5,53 = **0,22t**; samen **0,89t** of 45%.
Omdat 45% van de sterkte door de achtermuur wand 3 wordt opgenomen, zal de mogelijkheid bestaan dat er lichte torsie gaat optreden. Wand 9 of wand 1 kunnen dit voorkomen.

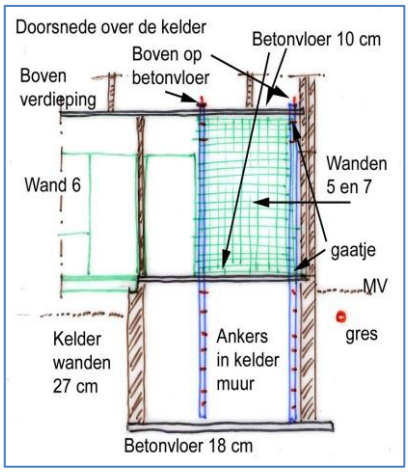
Om de stabiliteit in de dwarsrichting te verbeteren zijn vier opties mogelijk:

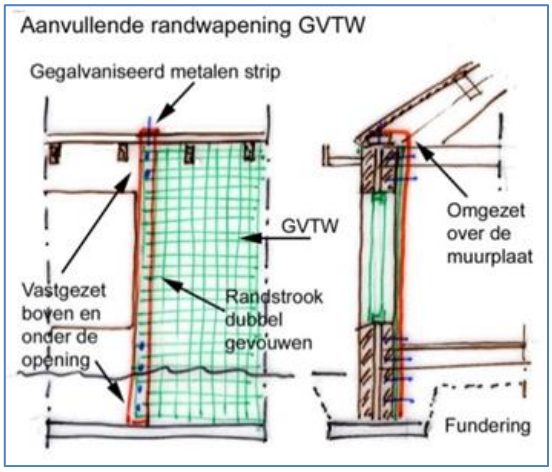
A. Het maken van een momentsterk stalen frame (bauw in de schets) dat onder het betonnen plafond aan de vloer-betonbalk en Wand 6 wordt verbonden, en dat op een nieuwe bredere fundering wordt verankerd. Deze constructie is een grote bouwkundige operatie.

B. Het maken van een gewapende steun muur #9 aan de buitenkant naast het huis, met een brede eigen fundering; eenvoudig aan te leggen. Aan de bovenkant van het muurtje dient een trek-druk vaste verbinding gemaakt te worden met de betonbalk met vloer (Wand 6). Bij deze optie wordt echter nog niet de aansluiting tussen de balk en wand 3 versterkt. Hier moet dan een stalen kolom worden toegepast.

C. Het extra verstevigen van de twee binnenmuren Wand 5 en Wand 7. Deze twee muren zijn halfsteens die naar beneden in de kelder doorlopen. De metalen versterkingsstrippen kunnen aan de onderkant aan de steens keldermuren worden vastgezet, en aan de bovenkant door de betonnen vloer worden geboord, omgebogen en boven op de vloer vastgezet.

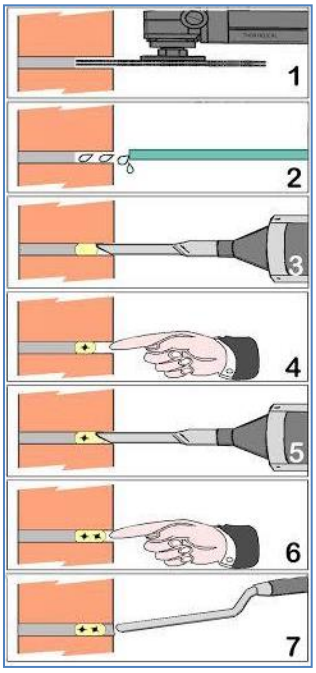
D. De buitenmuren versterken door sterke glaspanelen in de kozijnen te plaatsen. Dit is veruit de eenvoudigste oplossing.





Figuren 6-51. Versterking naar de kelder.
De twee halfsteens wanden 5 en 7 moeten allebei tweezijdig versterkt worden met GVTW Om een extra metalen strip wapening toe te voegen is niet veel meerwerk.
Verankering van extra wapening aan fundering en op de muurplaat.

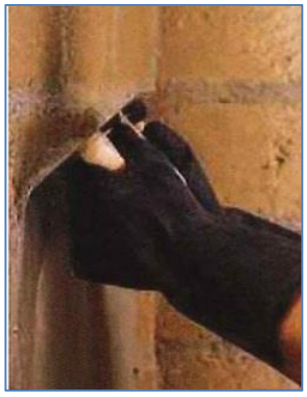
Als de versterking van de wanden 5 en 7 onvoldoende is zou de extra buitenmuur Wand 9 met fundering overwogen kunnen worden, want een interne metaalconstructie is aanzienlijk meer gecompliceerd en vereist ook extra breed fundering werk onder de begane grondvloer. De bovenstaande berekening laat zien dat bij de maximale PGA*g* van <0.05 meeste bakstenen woningen versterkt kunnen worden met GVTW of houtskelet toevoeging, waarbij slechts bij de smalste penanten extra trekwapening moet worden opgebracht of in-gefreesd.

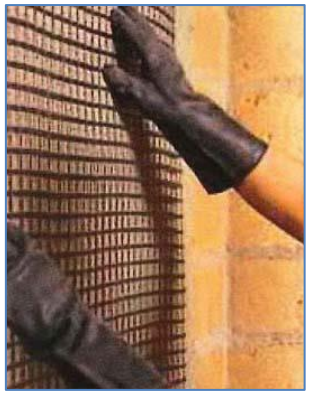


Figuren 6-52. Afbeeldingen van Helifix. Roestvrij stalen spiraalwapening. Deze wokkels kunnen in bakstenen muren worden vastgelijmd. Enkele of dubbele wapening. Voor de buitenzijde afwerking in de kleur van het oude voegwerk.

De methode van aanbrengen is vrij eenvoudig.

1. *Voeg inslijpen met korund-schijf.*
2. *Schoonspuiten.*
3. *Lijntje epoxy lijm inspuiten.*
4. *Wokkel in de epoxylijm drukken.*
5. *Eventueel een tweede voorlijmen.*
6. *Tweede wokkel in de epoxylijm drukken.*
7. *Afvoegen in de kleur van de andere lintvoegen.*





Figuren 6-53. Carbon Fibre Reinforced Polymer (CFRP).
Deze worden op sterke baksteen vastgelijmd, en op een redelijk vlak oppervlak. Kalksteen, gipsblokken en zachte pleisterlagen zijn te zwakke ondergronden voor het plakken van CFRP-textiel. Afbeeldingen zijn van Mapegrid.

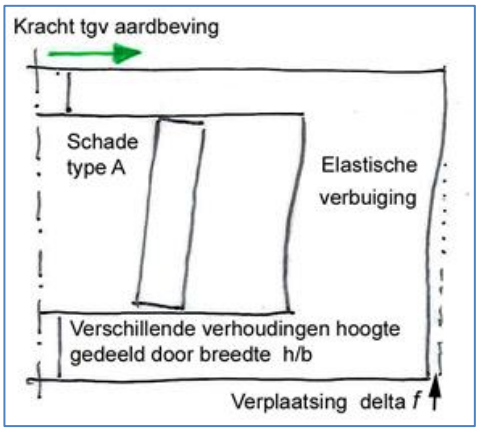
Aramide (Kevlar, Twaron, Technora) is een variant van CFRP met iets gunstiger karakteristieken van de elasticiteitsmodule, die dichter bij die van beton en baksteen ligt dan Carbonfibers.[275] Commerciële varianten van de CFRP zijn bijvoorbeeld S&P ARMO-mesh [276] of Mapei Mapegrid.

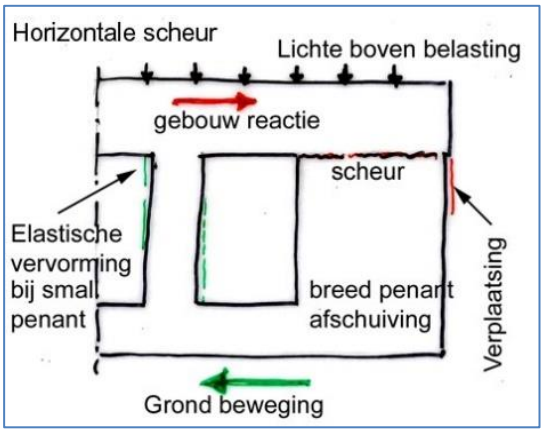
Het materiaal is aanzienlijk sterker dan het metselwerk, waardoor er bij smalle stroken of korte lengtes slechts een geringe of onvoldoende aanhechting capaciteit kan worden verkregen[277]. Onvolledige benutting van CFRP-materiaal, of bredere stroken toepassen maakt dit duur.

De elasticiteitsmodule voor rode baksteen is tussen de 1 en 7 Gpa (1000 - 7000 Mpa).
De elasticiteitsmodule voor GVTW is 65-76 Gpa bij SikaWrap, en 83 Gpa bij Mapei Mapegrid[278] 220.
De elasticiteitsmodule voor CFRP (*HS high strength*) is 240 Gpa, en bij 'HM high modulus' is 640 Gpa.
De treksterkte voor GVTW-materiaal is 1,7 – 3 Gpa, en voor CFRP is dit 2,5 – 5 Gpa.

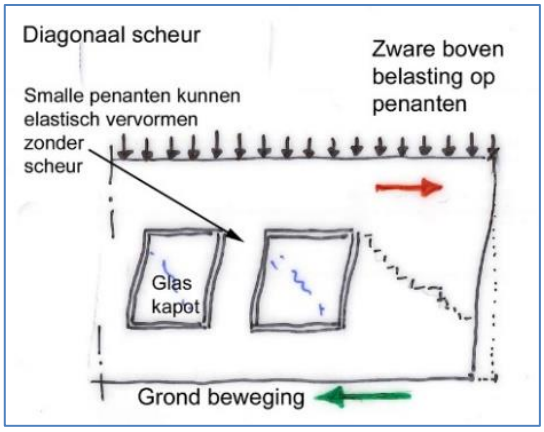
6.12. Ongelijke krachtverdeling tussen penanten

In de vorige sector 6.8 wordt aangegeven dat de penanten in de gevel bij verschillende breedte/hoogte verhouding verschillende krachten opnemen. Het stijve metselwerk laat een zeer beperkte elastische beweging toe. Smalle penanten (e.g. b/h < 0,4) zullen bij horizontale overbelasting gaan kantelen. Om de sterkte van een gevel met meerdere penantverhoudingen te berekenen, moeten de verschillende penanten apart worden uitgerekend op basis van dezelfde maximaal berekende verplaatsing Δf.





Figuren 6-54. Horizontale verplaatsing penant.
Bij de horizontale verplaatsing van het vloerdiafragma en sterke koppeling van de spouwankers, kunnen er drie situaties in een gevel ontstaan.
(1) Boven. Het smalle penant kan kantelen en het bredere penant elastisch vervormen, of
(2) Rechtsboven. Het smalle penant kan elastisch vervormen en het brede penant afschuiven, of
(3) Rechts. Het smalle penant kan allebei, kantelen en vervormen en het brede penant kan diagonaal scheuren.

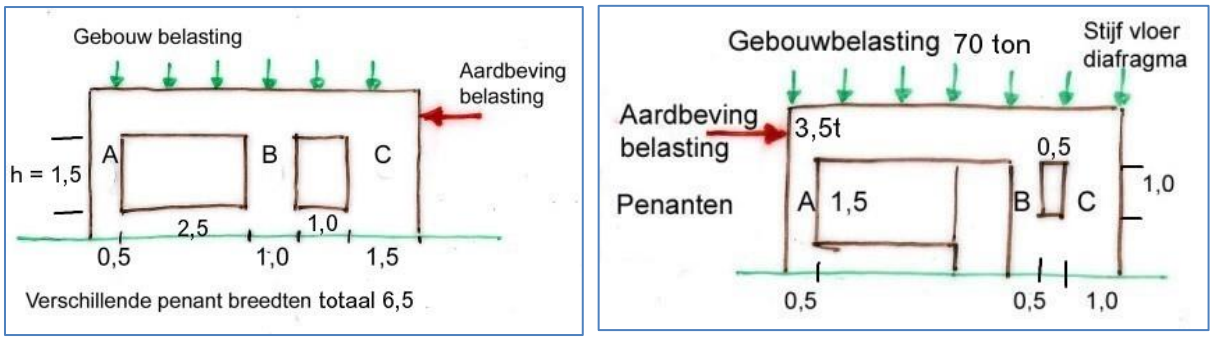


[275] Zie: http://www.traconference.eu/papers/pdfs/TRA2014_Fpaper_18214.pdf
[276] Zie: http://www.reinforcement.ch/fileadmin/redakteur/pdf-en/ARMO-system/Design_Guideline/S_P_ARMO_System_Design_Guideline.pdf
[277] Er zijn in 2014 een aantal testen gedaan met matig resultaat vanwege de slechte kwaliteit van het metselwerk en de aanhechtingsproblemen op dat metselwerk. Dit matige resultaat kan echter ook te maken hebben met kwaliteit van de uitvoering. De toepassing is niet eenvoudig zonder ruime ervaring.
[278] Zie bijvoorbeeld: https://www.archiproducts.com/en/mapei/products/categories_construction/material_glass-fibre

Bij de toepassing van sterke glaspanelen in de opening wordt het gehele penant breder en kan de belastingen in het vlak van de muur makkelijk opnemen. Het glaspaneel kan op de noodzakelijke sterkte berekend worden. Er zijn hier de volgende situaties:

- In de pre-1920 woningbouw zijn er steens-muren waar het houten kozijn in de dag van de opening is gesteld. Het (geharde) glas is vele malen sterker en harder dan het hout. In dit geval (bij goede kwaliteit hout) moet het glas dik genoeg zijn om te voorkomen dat het hout wordt ingedrukt bij een hoge belasting. Er kan een sterke glasplaat in de sponning worden gezet.
- Bij de bouw na 1920 tot 1960 kan het kozijn aan een spouwlat bevestigd zijn en drukt dan zowel op de binnen als op de buitenmuur. De meeste woningen hebben dan nog houten vloeren, dus ook een beperkte aardbevingsbelasting.
- Woningen van na 1960 kunnen betonnen elementenvloeren hebben, waarbij de aardbevingsbelasting op de dragende binnenmuren groot is. Wanneer het kozijn in het buitenspouwblad zit moet dat vervangen worden voor een kozijn in het binnen-spouwblad.
- Bij stijve betonvloeren zal de horizontale verplaatsing op elk penant gelijk zijn, waardoor er in penanten met verschillende breedte of stijfheid onder die stijve vloerschijf verschillende krachten optreden.
- Bij een systeem betonnen vloer moet eerst de vloer als een geheel diafragma worden gemaakt.

Na de seismische verankering en verstijving van het vloerdiafragma wordt de horizontale belasting verdeeld overeenkomstig de stijfheid van de onderliggende penanten. Linker schets beneden: Bij een slappe verdieping vloer is de verticale belasting van penant A≈1,75 op B≈2,75 en op C≈2 of samen 6,5. De horizontale aardbevingsbelasting heeft dan ongeveer dezelfde verhoudingen.



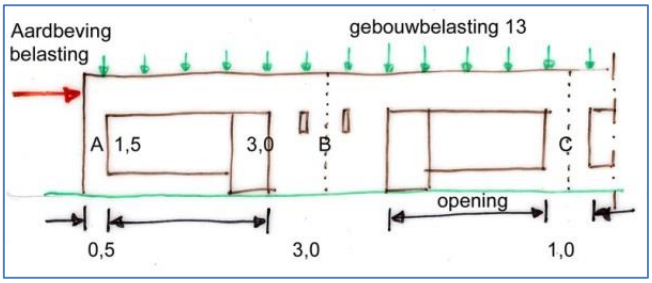
Figuren 6-55. Bereken belasting per penant. Bij een stijf diafragma is de horizontale belasting overeenkomstig de verhouding van de penantbreedte; op C = 3, op B = 2 en op A = 1.

Figuur 6-55 Rechts: Bij ongelijke penanthoogte en ongelijke breedte wordt de verdeling van de horizontale krachten bij een stijf diafragma verdeeld volgens de stijfheid van de penanten b/h:
A = 0,5/1,5 = 0,33; B = 0,5/1,0 = 0,5; en C = 1/1 = 1,0. Samen = **1,83**
Bij een bovenliggende constructiemassa van 70t en een PGAg ≈ 0,05 is de horizontale component 0,05 x 70 = 3,5t = **35kN**
Per penant: A = 0,33*35/1,83 = **6,31**; B = 0,5*35/1,83 = **9,56**; C = 1*35/1,83 =**19,12**. Samen = **35 kN.**

Wanneer er echter een sterk metalen frame om het raampje tussen B en C gemaakt kan worden, of het raampje met breedte 0,5 wordt ingevuld, dan wordt het nieuwe penant D = 2,0 breed en daarmee worden de belastingverhoudingen anders.

Voor het nieuwe penant b/h wordt dan D = 2,0/2 = 1, terwijl A = 0,33 blijft. Samen = 1,33.
De belasting wordt dan A = 0,33*35/1,33 = **8,68** en voor D = 1*35/1,33 = **26,32**. Samen = **35 kN.**
Hiermee wordt aangetoond dat het breedste penant ruim 3x grotere belasting neemt dan het smalle.

Deze situatie wordt weer anders bij rijtjeswoningen waarbij soms spiegeling van de gevel voorkomt, of waarbij de dragende binnenmuren al dan niet doorlopen. Bij een doorlopende binnen draagmuur en het versterkte het toiletraampje wordt de berekening van het getekende gedeelte als volgt:



Figuur 6-56. Voorgevel of achtergevel.
A = 0,33; B = 1,0 en C = 1,0/1,5 = 0,667, tezamen 2,0.
*De shear-belasting per penant wordt dan voor A = 0,33*70/2 = 11,55; B = 35 en C = 23,35 samen* ***70kN****.*

Bij een rijtjeswoningen kunnen de dragende binnenmuren en diafragma's onderbroken zijn tussen de wooneenheden. In zo'n geval moeten de woningen apart berekend worden. Wanneer de buitengevel doorlopend is gemetseld en met slappe spouwankers vastzit aan de binnenmuur, geldt hetzelfde. Alleen wanneer alle vloeren als verstijving aan elkaar zijn door-gekoppeld kunnen alle woningen tezamen worden berekend. Rijtjeswoningen zijn meestal bezit van woningcorporaties die hun eigen architecten en ingenieursbureaus hebben om de berekeningen uit te voeren.

Over het algemeen is een zich repeterende constructie aan te bevelen (*redundancy*) boven een enkele sterkte constructie. De detaillering van de krachtenoverdracht tussen de gebouw onderdelen of tussen belendende woningen is daarbij erg belangrijk.

De onderstaande foto's zijn voorbeelden van smalle penanten die bij het versterken en verbinden van de vloerdiafragma's hoger belast gaan worden. Een erg small penant (b/h = < 0,3) is veelvuldig voorkomend bij gebouwen met hoge ramen van rond de 1900 eeuwwisseling. Deze smalle penanten kunnen bijna helemaal geen dwarskrachten opvangen en zullen kantelen bij zijbelasting.

Figuren 6-57. Erg smalle raampenanten. Deze kunnen niet aan de binnenkant versterk worden door in-frezen/lijmen van wapening.
Bij de smalle penanten zoals in de bovenstaande foto's zouden er binnen in het gebouw voldoende dwarsmuren moeten bestaan die de krachten opnemen, of er moeten moment-vaste portalen in het gebouw gemaakt worden, die de dwarskrachten van het vloerdiafragma overnemen.
<u>Rechts</u>. De noodzaak voor het maken van moment vaste portalen aan de binnenzijde is bijna altijd het geval bij winkelpuien.

6.13. Versterkingen van voor- en achtergevels met veel openingen

Wanneer er geen binnenmuren zijn, of er niet voldoende grote muurvlakken in de gevel zitten, die via het vloerdiafragma de horizontale krachten in het vlak van de muur op de fundering kunnen overbrengen zitten, zijn andere constructies nodig zoals:

a. Plaatsen/versterken van dwarsmuren die de horizontale krachten opnemen.
b. Binnenzijde versterken met zwaardere houten profielen en OSB-platen.
c. Smalle penanten versterken met brede plaatstaal of U-profielen.
d. Portaalconstructie binnen van hout of staal.
e. Versterkte of gewapend betonnen deur- en raamkozijnen.
f. Versterkte aanbouw aan het gebouw.
g. Dichtmetselen van een of meerdere ramen.
h. Sterke of constructieve glaspanelen aanbrengen.
i. Diagonalen voor en in de raamopening en buitenom, exo-skelet.
j. Nieuwe sterke en geïsoleerde buitengevel.

Bij al deze opties moet de versterkingsconstructie goed aan het etage vloerdiafragma zijn verbonden.

Figuren 6-58. Hoge ramen, smalle penanten. Veel voorkomende situaties in Groningen en heel Nederland.

Figuren 6-59. Rijtjes- en doorzonwoningen. De zwaardere constructies met betonnen vloeren zijn niet momentsterk aan de tussenmuren verbonden, hebben weinig of geen penanten in de gevels en behoren daarmee tot de zwakste constructies voor aardbevingsbelasting.

Het volgende overzicht vergelijkt de belangrijkste opties voor versterken muren:

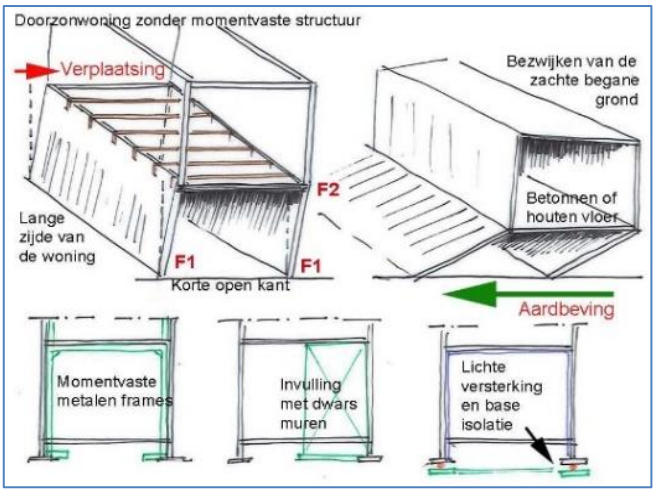
#	Omschrijving	Voordelen	Nadelen	Advies voor Groningen
a	Plaatsen/versterken van dwarsmuren die de horizontale krachten opnemen.	Werkt i.s.m. vloerdiafragma. Zeer effectief. Krachten naar fundering.	Dunne muren en diens funderingen moeten versterkt worden. Bij nieuwe muren ook funderingen. Veel binnenwerk in de woning.	Bij oude woningen goede optie. Bij rijtjeswoningen niet praktisch.
b	Binnenzijde versterken met zwaardere houten profielen en OSB platen.	Alleen binnenzijde gevels. Kan door kleine aannemers worden uitgevoerd. Tegelijk muurisolatie.	Bij grote raampartijen onvoldoende sterkte in die gevels. Moet soms gecombineerd worden met binnenmuren versterken.	Goed Toepasbaar bij veel woningen.

#	Omschrijving	Voordelen	Nadelen	Advies voor Groningen
c	Smalle penanten versterken met brede plaatstaal U-profielen.	Dunne constructie dikte. Weinig breedte nodig. Goed aan baksteen te bevestigen.	Metaalwerk moet op maat gemaakt worden in metaalbedrijf. Roestvorming en warmtelekken moeten voorkomen worden.	Goed toepasbaar bij veel woningen.
d	Portaalconstructie binnen van hout of staal.	Kan goed bij doorzonwoningen.	Moet berekend worden. Aansluiting op fundering moet goed zijn. Hout vis aak niet sterk genoeg.	Bij rijtjeswoningen en bij erg grote raampartijen.
e	Versterkte of gewapend betonnen deur- en raamkozijnen	Aan de buitenzijde van het gebouw. Kan ingepast in oude en nieuwe architectuur.	Moet berekend worden. Vloerdiafragma goed bevestigen. Hangt af van architectuur.	Voor veel kleine woningen mogelijk.
f	Versterkte aanbouw aan het gebouw.	Geen binnenruimte verlies. Eventueel extra woonvolume.	Rooilijnen. Beschikbare buitenruimte. Extra funderingen.	Bij meer behoefte aan woonruimte.
g	Dichtmetselen van een of meerdere ramen.	Meteen veel bredere penanten en sterkte in het vlak van de muur.	Verlies van daglicht of raam oppervlakte. Wel ook verdere gevel wapening en vloerdiafragma nodig	Kan maar bij weinig vrijstaande woningen.
h	Sterke of constructieve glaspanelen aanbrengen.	Weinig constructieve aanpassingen aan gevels nodig.	Kozijnen moeten soms aangepast. Wel sterk vloerdiafragma aanleggen. Onbekend.	Vooral goed bij oude woningen met steens muren.
i	Diagonalen voor en in de raamopening en buitenom, exo-skelet.	Goede oplossing wanneer ander geveldelen sterk genoeg zijn.	Niet iedereen wil diagonalen voor de ramen. Verankeringspunten verdienen speciale aandacht.	Waarschijnlijk weinig belangstelling.
j	Nieuwe sterke en geïsoleerde buitengevel.	Geen ruimteverlies binnen. Beste oplossing voor doorzon- en rijtjeswoningen. Vermindering massa.	Woningcorporaties zijn meestal eigendom van deze complexen. Die gebouwen moeten samen aangepakt. Voor jaren ’60 woningen is het niet altijd rendabel	Voor 40% van het woningbestand in de provincie relevant.

In de volgende paragrafen worden de opties gedeeltelijk toegelicht.

6.14. Plaatsen/versterken van dwarsmuren die de horizontale krachten opnemen

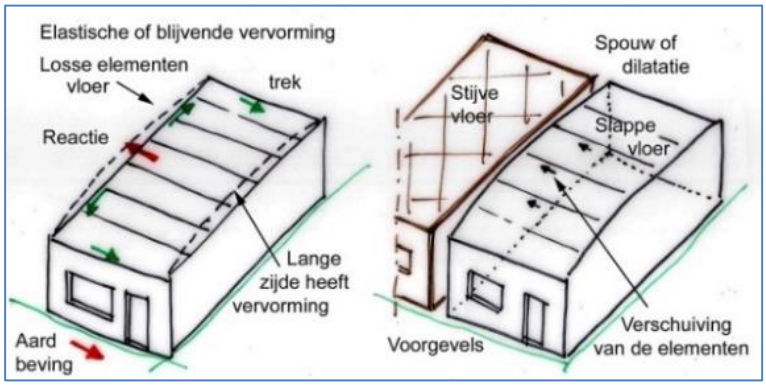
Het meest logische is om een centrale of twee symmetrische dwarsmuren te maken, tussen de fundering en de stijve etagevloer, die de dwarskrachten t.g.v. de aardbevingsbelasting op kunnen nemen. De betreffende muur moet in het midden staan of twee muren in symmetrische opstelling om torsie in het gebouw te voorkomen. In bestaande gebouwen verandert dat de indeling en het ruimtegebruik, terwijl in kleine woningen, zoals de meeste rijtjeswoningen er weinig plaats is. Bij vrijstaande woningen kan een steunmuur buiten geplaatst worden.



Figuren 6-60. Gietbouw of systeembouw. Van de buitenkant kan niet altijd gezien worden wat de constructie is van het gebouw; of de vloeren momentsterk zijn verbonden, of hoe de kwaliteit van de gevels is.

Wanneer bij rijtjeswoningen de vloeren bestaan uit prefab-elementen dan zijn deze op haar best een beetje ingeklemd tussen de begane grond muur en de etagemuur. Vloerelementen die niet met een wapeningsnet of topvloer met elkaar verbonden zijn, kunnen ten opzichte van elkaar gaan verschuiven. In beide situaties kan een afweging gemaakt worden om elke woning te versterken, of alleen de buitenste woningen, met nieuwe grote ramen in de uiterste zijgevels. Zie 6.10.f.

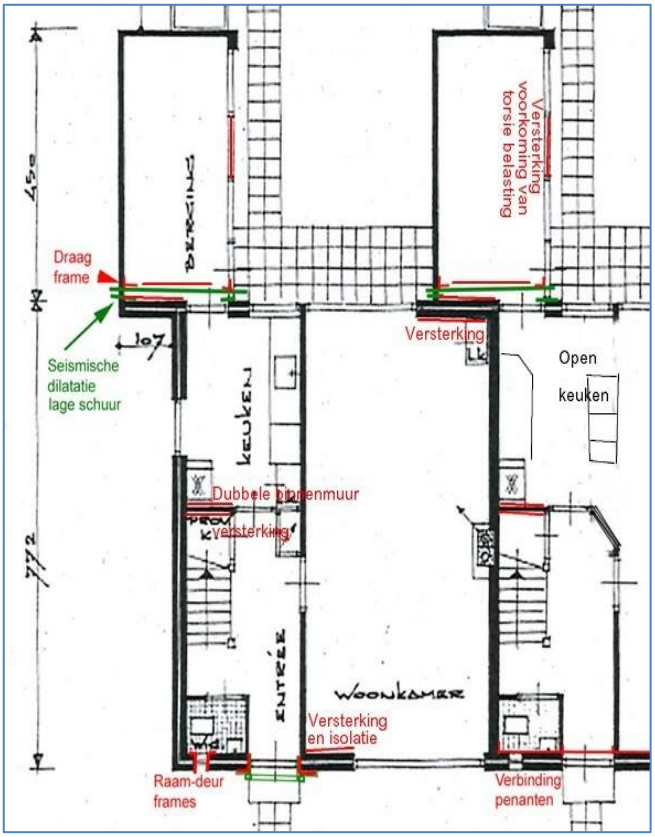
Figuren 6-61. Buitenste vloeren versterken.
Door de buitenste woningen in een lang rijtje goed te versterken, en de vloeren door te koppelen, kan het hele rijtje stabieler worden gemaakt. De dakvlakken moeten ook versterkt worden.



Figuur 6-62. Begane grond bij rijtjeswoningen. Hier zijn in de gevel slechts enkele smalle raampenanten. Het verwijderen van een binnen-dwarsmuur (voor een open keuken) kan een grote invloed hebben op de stabiliteit van het hele gebouw in de lengte (meerdere woningen).

Figuren 6-63. Open keuken maken. Een specifiek probleem is de creatie van open keukens waarbij soms kleine dwarsmuren worden verwijderd.
<u>Rechts</u>: Door bij alle woningen alle kleine muurdelen en penanten te versterken (rood) kan genoeg stabiliteit verkregen worden voor een schadevrije rijtjeswoning bij PGAg 0,05.

<u>Links.</u> De nieuwe draagbalk is niet momentsterk ingeklemd, maar verzwakking in deze richting is minder relevant omdat de rest van de binnenmuur er nog staat en voldoende de sterkte uit de woning scheidende muren komt.



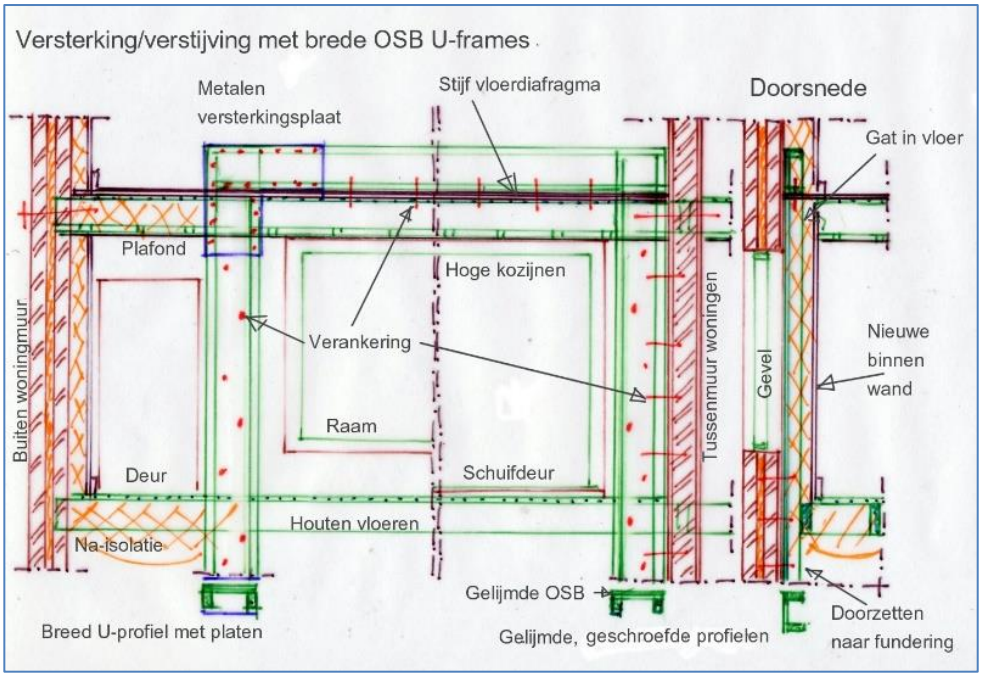
6.15. Binnenzijde versterken met zware houten profielen en OSB platen

Bij de raamopeningen kan een momentsterk frame binnen op de gevelmuur geschroefd worden, waarbij het ook aan het verstijfde vloerdiafragma is vastgeschroefd. Bij woonhuizen met houten etage vloeren (laag gewicht) is dit een optie. Bij doorzonwoningen die betonnen systeemvloeren hebben is er vaak onvoldoende ruimte aan de zijkanten van de ramen aanwezig, bovendien zijn deze vloeren vaak te zwaar voor deze oplossing. Hier kunnen dan wel kleinere kozijnen geplaatst worden.

Figuren 6-64. Verschillende muurpenanten. Het linker muurpenant is breed genoeg om er een GVTW op te plakken. Bij smalle penanten kan in-frezen van trekwapening toegepast of hoekprofielen.

Houten constructies zijn veel meer flexibel dan het metselwerk. Bij een vervorming van 1-2 mm ontstaan dan scheuren in het eraan verbonden metselwerk. Er zijn daarom momentstijve hoekverbindingen nodig van voldoende breedte en hoogte. De profielen moeten bij voorkeur tot onder en boven de raamopeningen met chemische ankers aan de muren bevestigd. Met de toepassing van twee op elkaar gelijmde/geschroefde OSB-platen (≥ 30 cm breed) en profielen kunnen brede, stijve stroken worden gemaakt.

Door op beide hoeken van het frame een staalplaat aan te brengen wordt het nog stijver en sterker. De staalplaten zijn dan ook de koppelstukken tussen de twee verticale en het horizontale houten deel dat aan het vloerdiafragma is verbonden. Door de frames tot in de fundering door te laten lopen wordt er aan de onderkant een inklemmingsmoment gecreëerd.

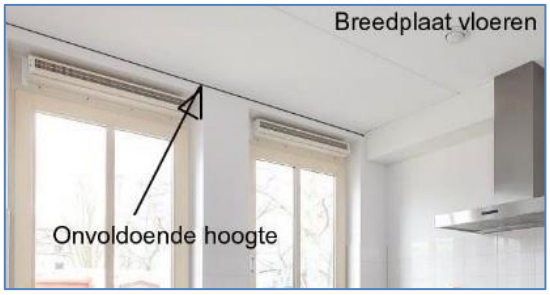


Figuur 6-65. HSB met OSB-platen. Dit kan op de eerste etage onder de ramen tegen de gevel aan en aan het vloerdiafragma verbonden. De hoeken kunnen versterkt worden met metaalplaten. Het frame kan naar de fundering worden doorgetrokken.

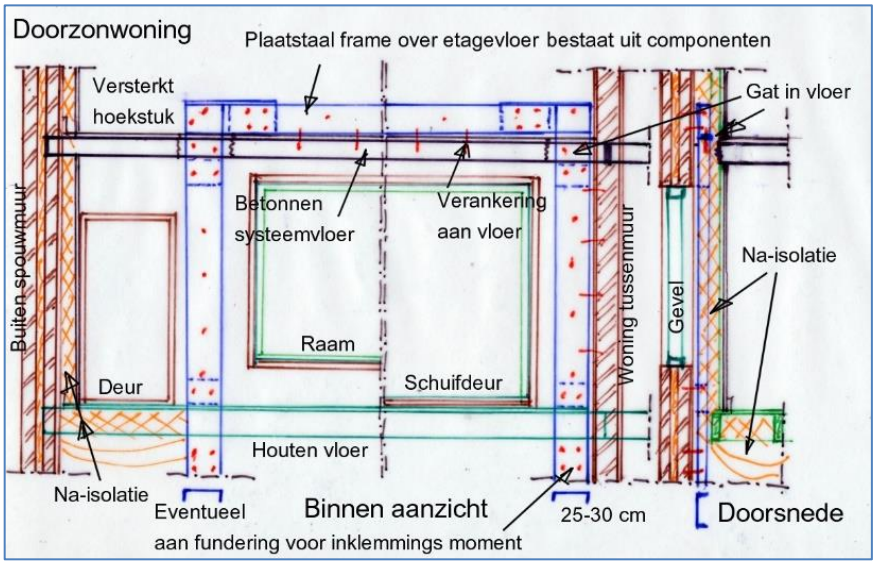
Het voordeel van het stijve houten frame is dat het voor kleine vrijstaande woningen makkelijk ter plaatse op maat gemaakt kan worden, waarbij de hoekplaten een standaardafmeting kunnen hebben. De muren hoeven niet vlak te zijn zoals nodig is om GVTW of CFRP te plakken. Het hout moet goed geconserveerd worden en condensvorming in de muur moet voorkomen worden. Tussen het frame en de muur kan een dampdichte folie of Bluedec® worden aangebracht.

6.16. Smalle penanten versterken met brede plaatstaal u-profielen

Een probleem bij doorzonwoningen is dat bij breed-plaat of andere betonnen systeemvloeren die van een woning tussenmuur naar de andere woning tussenmuur lopen, de ramen tot aan het plafond lopen en er geen ruimte is voor (hoge) balken. De aardbevingsbelastingen zijn bij betonnen vloeren hoger dan bij houten vloeren, waardoor de frames sterker en stijver moeten zijn dan bij lichte woningen. Brede plaatstalen U-profielen in de voor- en achtergevels zijn in deze situatie economischer. Bij doorzonwoningen is dan ook seriematig werk mogelijk.



Figuur 6-66. Geen balkhoogte bij plafond. Wanneer de ramen in de gevel doorlopen tot aan het plafond is met traditionele methoden geen portaal constructie onder de vloer te maken. Een optie in dit geval is het toepassen van constructieve glaspanelen.

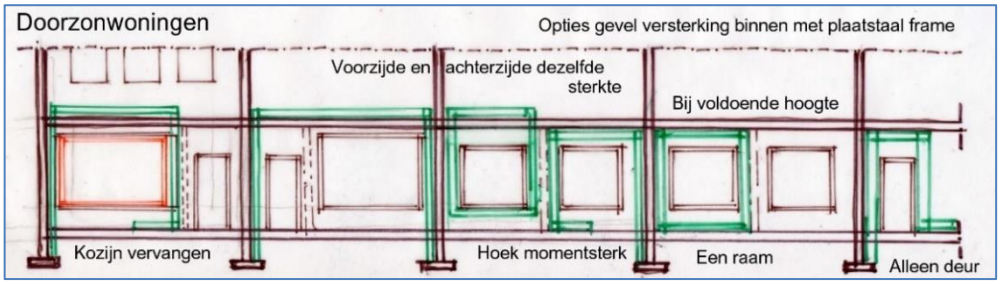


Figuur 6-67. Versterkingsprofiel op vloer. Breed plaatstaal U-profiel door de zijkant van de betonvloer en op het vloerdiafragma en tegen de muur bevestigd.

Metalen profielen hebben weinig warmteweerstand en zijn tegen de buitengevel grote warmtelekken. Door tussen de U-profielen en de bakstenen gevel een strookhoogwaardige thermische isolatie e.g. Bluedec® te plaatsen wordt de warmteoverdracht van binnen naar buiten sterk verminderd.[279]

Het in de voorgaande secties beschreven versterkingssysteem kan op verschillende manieren worden uitgevoerd naar gelang de beschikbare ruimte rondom de openingen in de gevels. Belangrijk is dat de versterkingen zo worden geplaatst dat er een sterkte- en stijfheid-symmetrie bestaat aan weerszijden van de gebouw x- en y-assen om torsie te voorkomen. Bij doorzon- en rijtjeswoningen zonder binnen dwarsmuren betekent het dat de voor- en achtergevel op dezelfde wijze versterkt moeten worden.

[279] Zie ook het document 'Lange Warmtelekken Vermijden' op www.nienhuys.info eerste pagina.

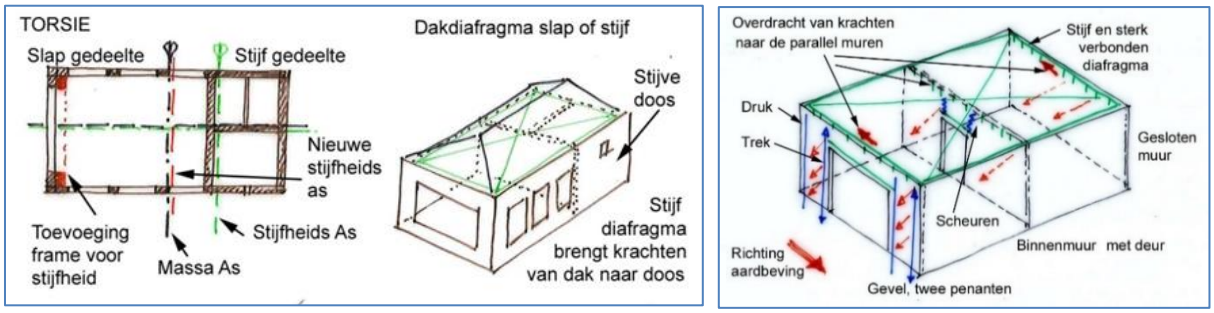


Figuur 6-68. Methoden voor versterking gevel.

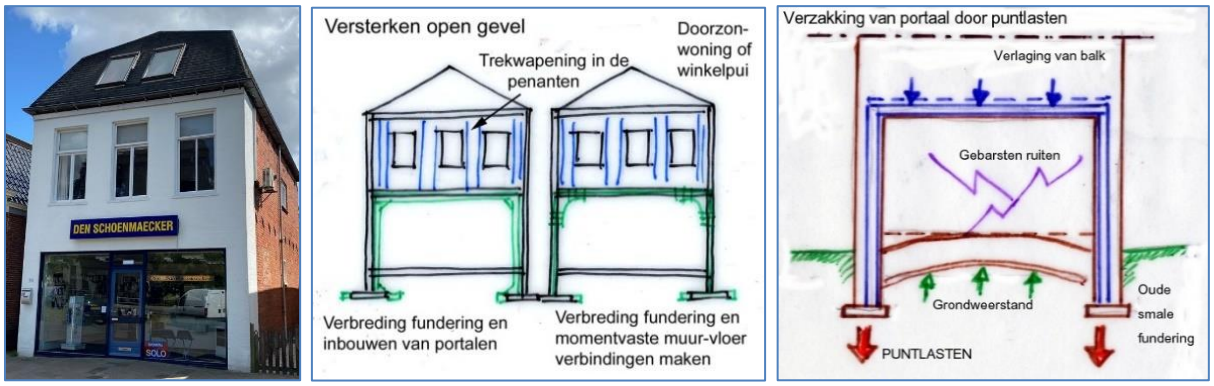
Wanneer oudere ruiten/kozijnen met een lage isolatiewaarde tot aan de woning scheidende muur doorlopen is het beter om het hele kozijn te vervangen voor een smalle goed geïsoleerde versie en met een brede glassponning geschikt voor triple glas. Ook moet vaak de ventilatie herzien worden. Door de onderste poot van het profiel aan de fundering vast te zetten of aan de betonvloer wordt een momentsterke verbinding verkregen. De profielen vallen weg in de nieuwe binnenzijdige isolatie.

6.17. Portaalconstructie binnen van hout of staal

Hierbij worden stijve portalen binnen in het gebouw geplaatst en aan het bovenliggende stijve vloerdiafragma gekoppeld. Wanneer één zijde van een gebouw in twee richtingen stijve muren heeft, en de andere kant niet, kan torsie ontstaan. Om torsie te voorkomen moet de open zijde versterkt worden met een momentsterk portaal.



Figuren 6-69. Grote raamopeningen. Aan slechts één zijde van een gebouw. De andere kant heeft gesloten muren en dwarsmuren. Hierdoor ontstaat bij een aardbeving torsie in dat gebouw. Een sterk en doorgaand diafragma dat goed aan de muren is verbonden kan dit opvangen. Een portaal rond de grote opening zal de krachten horizontale daar beter opvangen. Een symmetrische krachtenverdeling geeft een lagere belasting op de andere muren en het diafragma en daardoor minder schaderisico.



Figuren 6-70. Stalen kolommen en portalen. Toegepast bij winkels en doorzonwoningen. Rechts. De portalen moeten aan de onderzijde verbonden worden ter voorkoning van relatieve grond opdruk.

De fundering moet onder portalen verbreed worden om inklinking te voorkomen.

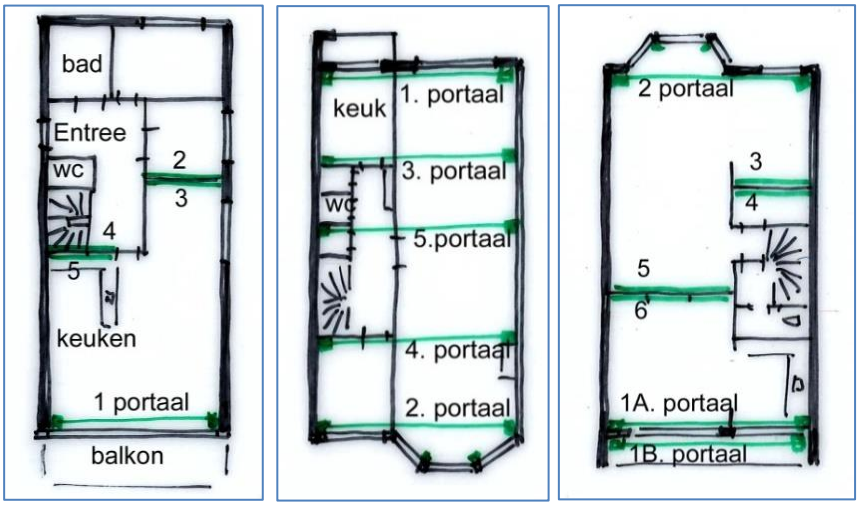
Wanneer de fundering niet verbreed wordt, kan het gehele portaal ietsje zakken, waardoor de grote ruiten kunnen breken omdat de grondweerstand het middengedeelte omhooghoudt. Het horizontaal doorkoppelen van de fundering tussen de portalen voorkomt mogelijke beschadiging van de glasgevel wanneer de fundering verzakt door de aardbevingsbelasting. Het alternatief is om onder de middenmuur een opening te houden.

Bij doorzonwoningen zijn zowel de voor- en achtergevel een open constructie. In het midden van de woning kan dan een portaal gemaakt worden. Door de juiste locatie van dat portaal kunnen de krachten gelijkmatig over de lengte van de woning verdeeld worden.

Figuren 6-71. Portaalconstructies binnen. Portaalconstructies van beton, hout of staal die op de juiste plaatsen zijn gebouwd, zullen de torsiekrachten op de muren sterk verminderen of elimineren.

Bij grachtenpanden of andere woningen die tegen elkaar aan zijn gebouwd zouden de zwakste gebouwen versterkt moeten worden met GVTW, platte brede U-frames of portalen. Zonder die versterkingen zullen ze bij een schok tegen de belendende gebouwen drukken.

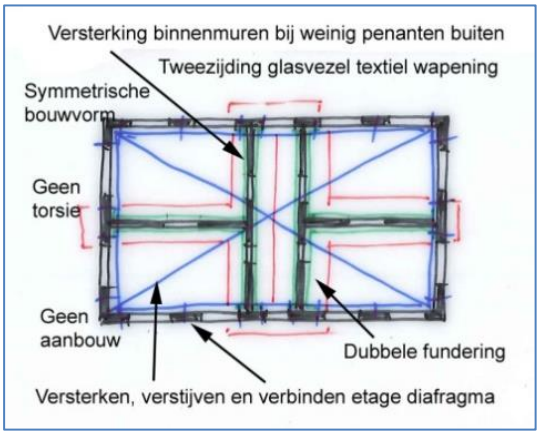
Figuren 6-72. Onvoldoende gedilateerd. Zonder dilatatie, kunnen/zullen ze elkaar beschadigen.



Figuren 6-73. Grachtenwoningen.
<u>Links</u>: Indien muur 2-3 verstijfd wordt, kan de doorgang niet makkelijk groter worden gemaakt. Bij muur 4-5 kan alleen dun GVTW of CRFP gebruikt.
<u>Midden:</u> Met portalen blijft de flexibiliteit van de indeling groot.
<u>Midden en Rechts</u>: Afhankelijk van het ontwerp zijn portalen 1+2 voldoende.

Bij de besluitvorming over de te versterken muren moet rekening gehouden worden met de indeling van de woning, omdat de versterkte muur dan niet meer eenvoudig te verwijderen is.

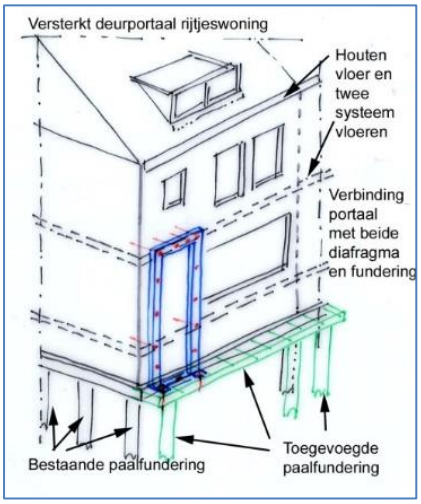
Bij monumenten, of karakteristieke gebouwen is het niet altijd toegestaan om frames aan de binnenzijde van de steens gevels vast te maken. In deze situaties zullen de binnenmuren versterkt moeten worden die dan via het stijve en sterke vloerdiafragma de gevels vasthouden. Extra gebouw belastingen zoals van zware gemetselde schoorstenen moeten voorkomen worden, zodat een oud gebouw niet extra versterkt hoeft te worden om deze extra belastingen op te vangen.



Figuren 6-74. Symmetrisch versterken. Hierdoor kan torsie voorkomen worden. Rood is fundering. De topzijden van de gevels worden aan het vloerdiafragma verbonden, waarbij de zijwaartse druk van het dak ook door de vloer wordt opgevangen. De horizontale belasting op die geveltoppen is dan minimaal. Een optie is om een sterke goot/band rond het gebouw te maken.

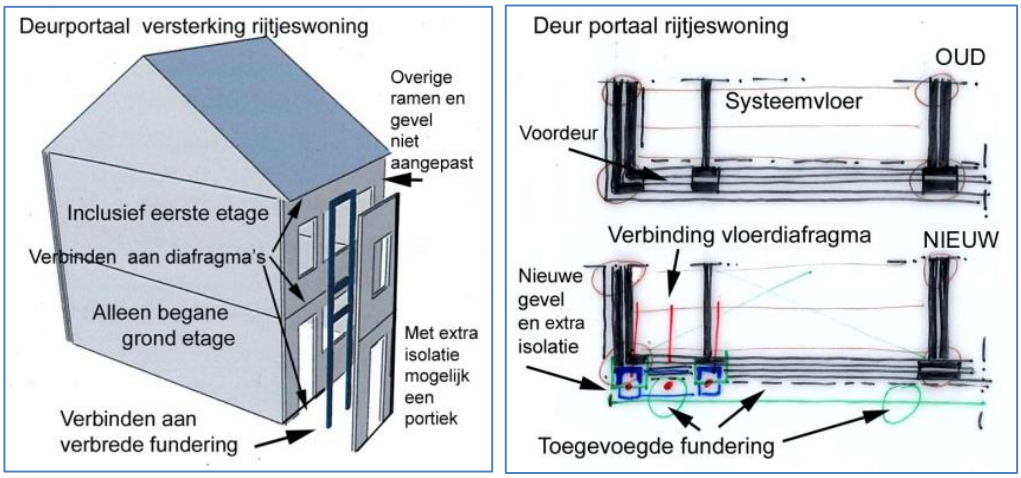
6.18. Versterkte of gewapend betonnen deur- en raamkozijnen

Bij woningen waar wél aan de gevel veranderd mag worden, is het maken van één sterk deur- of raamkozijn omlijsting per geveldeel bij lichte bevingsbelasting vaak voldoende om de gewenste sterkte in het vlak van de muur te maken. Deze omlijsting verbinden met een sterk etagevloer diafragma.



Figuren 6-75. <u>Boven.</u> Versterkte raam omlijstingen. Deze zijn aan het vloerdiafragma verbonden. <u>Boven ,midden</u>. Voor het monument kan de grijze deuromlijsting vervangen worden door een gelijk uitziend gewapend betonnen frame. Moderne variant van een frame. <u>Links</u>. Stalen portaal in glasgevel. <u>Rechts.</u> Verankering in metselwerk.

De fundering moet voldoende breedte en sterkte hebben om de puntbelastingen van het versterkte deurportaal op te vangen. Hiervoor kan het nodig zijn dat de fundering verbreed wordt en er extra palen nodig zijn. Bij een dik extra frame moet de rooilijn worden aangepast.



Figuren 6-76. Sterk deurframe in de gevel. Dit kan worden weggewerkt, waarbij de grote ramen niet veranderd worden. Rechts. Verbreding of extra palen nodig.

Bij een herstructurering en een nieuwe architectuur van de gevels is het mogelijk dat er een kleine uitbouw wordt gemaakt waar niet alleen de versterkingsconstructie in zit, maar die bij kleine woningen ook extra ruimte geeft, bijvoorbeeld op de etage bij de badkamer.

Figuren 6-77. Grotere aanpassingen van gevel. Links: Versterkte voordeurconstructie doorlopend naar boven met badkamer uitbreiding. Midden. Voordeur met dakkapel/badkamer uitbreiding. Rechts. Twee uitbreidingen beneden en boven.

Bij de realisatie van een dergelijke constructie die per rijtjeswoning kan worden toegepast is het volgende van toepassing:

- Beperkte gebouwuitbreiding is mogelijk. De rooilijnen moeten worden aangepast.
- De constructie moet zowel aan de voorgevel als aan de achtergevel worden toegepast, zodat het gebouw aan beide zijden symmetrisch sterker wordt gemaakt.
- Bij rijtjeswoningen zijn meestal de etagevloeren van stijve prefab gewapende (beton) constructies, die geen volledig diafragma vormen; deze moeten onderling worden verbonden.
- De extra frameconstructie moet sterk aan beide vloerdiafragma verbonden worden (incl. zolder).
- Wanneer er een houten zoldervloer is, en er voldoende gevelpenanten op de etage zijn, kan het sterke deurportaal slechts van de fundering tot aan de eerste etagevloer lopen.
- De fundering moet voldoende breedte en sterkte hebben om de extra momentkrachten van het deurportaal in het vlak van de gevel op te vangen. Hiervoor kan het nodig zijn dat de fundering verbreed wordt (extra palen). Aansluitingen van de infrastructuur moeten herzien worden.
- Om het stalen frame moet een goede thermische isolatie worden aangebracht, zodat warmtelekken door de ontstane thermische brug voorkomen worden. Buitenom dient het duurzaam weersbestendig te zijn.

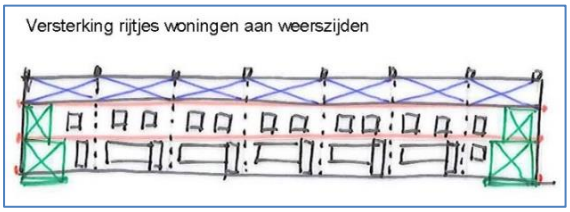
- Als het doorzonraam aan de voorzijde strak aansloot aan de deur zal dat raam na de versterking smaller uitgevoerd moeten worden. Er kan dan een nieuw hoog-isolerend kozijn met triple glas worden toegepast.
- Omdat het deurportaalframe de gevel ter plaatse naar voren doet komen, kan van die constructie ook gebruik gemaakt worden om een tochtportaal of portiek aan te brengen, of om op de eerste etage meer woonruimte te creëren zoals een uitbreiding van de badkamer.

Figuur 6-78. Uitbreiding van badkamer. Oude badkamers zijn vaak krap bemeten en het aanbrengen van 15 cm binnenzijdige muurisolatie is dan niet mogelijk. Met een uitbreiding van 0,5 m kan meteen ook die badkamer een betere indeling krijgen.

6.19. Versterkte aanbouw aan het gebouw

Bij rijtjeswoningen in Nederland zijn meestal drie problemen tegelijkertijd aanwezig die in een aardbevingsgebied moeten worden voorkomen of opgelost:

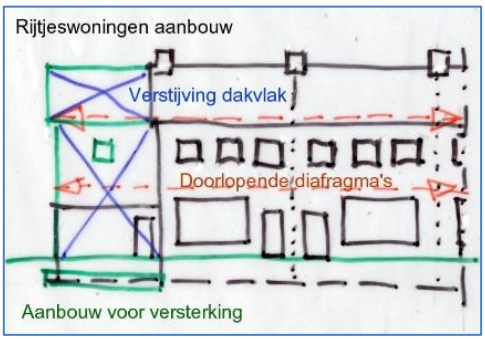
- Rijtjeswoningen zijn slechts ontworpen op stormbelasting, waardoor er in de lengterichting onvoldoende sterkte is om de horizontale massaversnelling van het hele blok te weerstaan.
- Er is onvoldoende sterkte in de lengterichting van het gebouw door grote ramen in de gevels. De begane grond etage is in een dergelijk geval een zachte etage (*soft storey*).[280]
- De lengte van het gebouwblok (alle woningen naast elkaar) is meestal > 4x de breedte van het gebouw of de diepte van de woning. Dit is in een aardbevingsgebied een onregelmatige in de plattegrond, waarbij een verdere verlenging voorkomen moet worden.[281]



Figuren 6-79. Windbelasting bij rijtjeswoningen. Door de uiteinden te versterken kunnen ze ook seismisch versterkt worden.

Wanneer de plattegrond onregelmatigheid niet te groot is (L : b < 4) ligt, kunnen de twee buitenste woningen worden omgebouwd als steunwoningen[282]. Behalve de plaatsing van nieuwe ramen in de kopgevels kunnen ook de twee een-na-buitenste woningen gedeeltelijk bij de verbouwde buitenste woningen getrokken worden om een paar extra royale woningen te creëren. Bij kleine blokken of 2-onder-1-kap, waar naast de woningen schuren of garages aanwezig zijn kan de buiten aangebouwde constructie over deze aanbouwen gerealiseerd worden.

[280] De Eurocode 8 en de NPR geven aan dat wanneer het verschil in stijfheid met de bovenliggende etage meer dan 70% is er sprake is van verticale onregelmatigheid. Geen momentsterke muur-vloer verbindingen.
[281] Zoals in het hoofdstuk funderingen is toegelicht kunnen hierdoor verticale scheuren in de gevels ontstaan.
[282] Een rijtjeswoning is 5 tot 6 m breed en 8 tot 10 m diep. Bij 7 woningen is het bouwblok dan onregelmatig.



Figuren 6-80. Versterkte zij-aanbouw. Zonder aanpassing gevels. Doorkoppeling van het diafragma is wel nodig (voorkom contactgeluid).

<u>Rechts.</u> In dit geval kan de schuur of garage vervangen worden door een sterke uitbreiding.

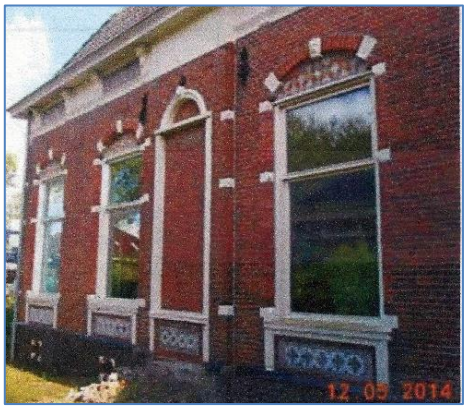
Bij flatgebouwen zijn de trappenhuizen vaak in de twee uiteinden van het woningblok gelegen en zijn al ontworpen als een stabiliserende constructie.

Figuur 6-81. Trappenhuis geeft versterking.
Appartementenblok met trappenhuis geeft stabiliteit aan de rij flats. Onder in het trappenhuis is eveneens de C- ruimte en zijn de afvalcontainers gelegen.

In beide gevallen van een klein woningblok versterken of een rijtje flats, zullen de bewoners, de vereniging van eigenaren (VVE) of de woningcorporatie moeten overleggen met een architect en constructeur hoe de horizontale koppeling van het diafragma tod stand moet komen. Bij een doorkoppeling van het diafragma kan het probleem van contactgeluid een bepalende factor worden.

6.20. Dichtmetselen van een of meerdere ramen

De sterkte van de gezamenlijke penanten op de begane grond etage is bepalend voor de sterkte van het gebouw tegen horizontale belastingen. Door bredere en sterke muurschijven te ontwikkelen zal de sterkte van het gebouw tegen scheurvorming verbeterd worden.



Figuur 6-82. Dichtgemetseld raam of deur.
Omdat de muurschijf in het midden nu breed is, kan deze een grotere belastingen in het vlak van de muur opnemen dan de smallere penanten tussen de ramen. Door dit symmetrisch in het gebouw toe te passen wordt een sterk geheel verkregen.

Figuur 6-83. Hoekraam dichtgemetseld.
Naast het trappenhuis, wordt op de etage een verbeterde sterkte verkregen. Het trappenhuis onderbreekt namelijk het vloerdiafragma.
Een sterk glaspaneel dat strak in het kozijn zit heeft hetzelfde versterkende effect en brengt licht in de woning.

6.21. Plaatsen van sterke constructieve isolerende glaspanelen

Deze methode is geïnspireerd op de moderne toepassing van glasvlies gevels, waarbij de gelaagde, geharde ruiten een zeer hoge drukweerstand hebben en op grote sterkte zijn berekend. Het gaat over gehard (gestabiliseerd) gelaagd glas. Dit kan ook dubbel (isolerend) worden uitgevoerd.[283] Ook in de sterkte loodrecht op het vlak van het glas zijn deze ruiten vele malen sterker dan gewoon vensterglas. Voorbeelden van in Nederland gebouwde projecten.[284]

Figuren 6-84. Sterke constructieve ruiten.
De ruiten in deze voorbeelden kunnen zeer grote (wind, thermische) belastingen opnemen. Rechtsboven. In de zigzag gevel van het EMC, Rotterdam (prj.nr. 6540) werden de ruiten ook op statische gebouw belastingen berekend. Rechts. Dikke constructieve panelen kunnen ook als dragende ligger worden toegepast.

Veiligheidsglas, kogelwerend glas en gelamineerd hardglas zijn varianten van constructief belastbare en stabiliserende glaspanelen die grote belastingen kunnen opnemen. Gehard (volksnaam voor thermisch voorgespannen) gelaagd heeft b.v. een dikte van 9 of 11 mm (4.1.4 mm ofwel 5.1.5 mm) en bestaat uit twee geharde glaspanelen die met een PVB-tussenfolie in de fabriek op elkaar zijn gesmolten (onder 150 graden Celsius).

Constructief glas brengt de kosten van het verstijven en versterken van openingen sterk omlaag, met name muren die smalle penanten hebben. Een thermisch voorgespannen glasplaat of -glaspaneel is ongeveer 5x zo sterk als gewoon floatglas.

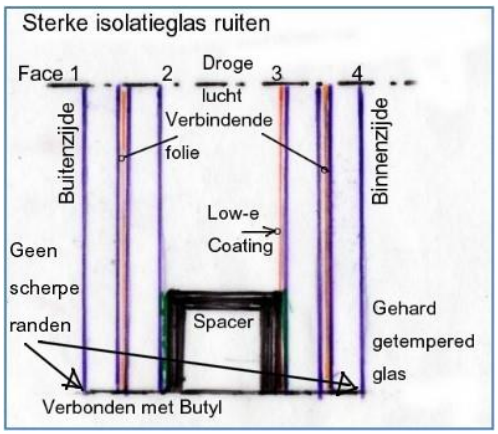
Door twee gelamineerde glaspanelen als een isolatiepaneel op te bouwen (met 16 mm luchtspouw ertussen en Argon gasvulling) en aan de binnenzijde op zijde 3 een Low-e coating aan te brengen, hebben deze ruiten een U-waarde van HR^{++} < 1,2 W/m^2.K (isolatiewaarde is Rg > 0,83 m^2.K/W).

Het geharde en gelamineerde dubbelglas isolatiepaneel heeft daarmee een sterkte die minstens 20 x tot 30 x groter is dan een enkele 4 mm of 5 mm glasplaat, en kan daarom grote belastingen in het vlak van de ruit opnemen én loodrecht op het vlak van de ruit. De aardbevingsbelastingen kunnen dan via een groot oppervlak lopen (nl. twee penanten en een glaspaneel ertussenin).

Om te zorgen dat het constructieve glaspaneel ook daadwerkelijk de belastingen van het gebouw overneemt zijn de volgende voorwaarden van toepassing:

[283] Er zijn aluminium kozijnen beschikbaar die een glas pakket van 81 mm kunnen hebben.
[284] Afbeeldingen van https://www.octatube.nl/en_GB/projects.html met toestemming van Mick Eekhout. Een van de projecten werd in Mexico City uitgevoerd (Moda in Casa); dit is een tektonisch aardbevingsgebied.

1. Het glaspaneel heeft een dikte van 5.1.5 - 16 - :5.1.5 mm totaal 38 mm en bestaat uit twee bladen gelamineerd-gehard glas met een luchtspouw van 16 mm.[285]
2. Het kozijn moet in een steens muur zitten. Dit is de meest voorkomende situatie bij oude gebouwen. Bij spouwmuren moet bekeken worden in hoeverre het glas in de druklijn zit.

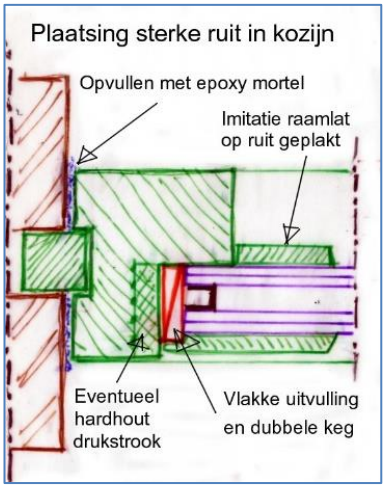


Figuren 6-85. Detail gelamineerd glaspaneel.
Voor lichte woningen is dit meestal sterk genoeg.

3. De randen zijn standaard geslepen om randbeschadiging bij het handelen te voorkomen. Als gehard glas een randbeschadiging krijgt kan de hele ruit barsten c.q. verkruimelen. Een geharde glasplaat mag daarom ook geen contact maken met metalen onderdelen.
4. De glasplaat mag niet in een beweegbaar houten raamwerk gezet worden, maar moet direct in de vaste kozijnsponning geplaatst worden, aannemende dat het houten kozijn met ankers goed verankerd is aan het metselwerk. Om het aanzicht van een kozijn met een raamwerk te behouden (bij monumenten) kan een prefab geschilderde hardhouten lat op het glas gelijmd worden, aan binnen- zowel als buitenzijde om glas achteraanzicht te vermijden. Deze latten kunnen in de kleur van het vroegere raamwerk geschilderd worden.
5. Het constructieve, stabiliserende glaspaneel moet na plaatsing in de druklijn tussen de draagmuren van het gebouw zitten die de aardbevingsbelasting zullen ondergaan.[286]
6. Het glaspaneel wordt met een ruimte van ongeveer 3 mm in de sponning ingemeten. Die ruimte wordt bij het stellen ingevuld met **vlakke** hardplastic of nylon stelplaatjes (tenminste 15 cm lang) zodat het glaspaneel **zeer strak** in het kozijn komt te zitten. Opvulstroken (niet zichtbaar kunnen ook in POM uitgevoerd worden. Daarna invullen met verhardende epoxy.
7. De stelstroken moeten strak in de hoeken zitten. De hoekstroken zijn belangrijk vanwege de diagonaal optredende schuifspanningen. Hoe hoger het glas, hoe langer de hoekstroken moeten zijn. De stelstroken moeten overal vlak in de sponning de glaspanelen volledig steunen.
8. De stelstroken kunnen aan één zijde vlak tussen glas en kozijn geplaatst en aan de tegenovergestelde zijde (onder of boven) als **dubbele wiggen** worden toegepast. Enkele stelwiggen zijn niet goed, want de spanning komt dan slechts op één gelamineerd glaspaneel i.p.v. op beide panelen van het samengestelde isolatiepaneel.
9. Kunststof kozijnen zijn meestal in de sponning samendrukbaar vanwege de vele luchtkamers; die kan men dus niet gebruiken.

[285] De sponning van oude kozijnen varieert van 35 tot 40 mm. Met de constructieve sterke ruit i.p.v. het raam past het precies. Het kozijn kan ook dikker gemaakt worden zodat er een bredere sponning ontstaat.
[286] Bij een dragend binnen spouwblad moet het constructieve glaspaneel dan tussen die spouwbladen zitten. De kozijnsponning moet soms worden aangepast (of het kozijn verbreed) als dat niet het geval is.

10. Het kozijn moet van een goede kwaliteit hout zijn, of er moet een nieuw kozijn worden gesteld[287].
11. Aandacht is nodig voor de onderdorpel, omdat deze bij oude woningen vaak houtrot vertonen; het vervangen van de onderdorpel door een hardhout exemplaar is dan noodzakelijk.
12. Het kozijn moet **zeer strak** in de muursponning zitten en in het centrum van de druklijn van de gemetselde (spouw)muurbladen aanzitten. Afhankelijk van de bewegingstolerantie of elasticiteit van de draagmuren of de rest van de constructie, kan de kier tussen het kozijn en het metselwerk worden opgevuld met een niet samendrukbaar volledig verhardende epoxymortel.
13. Afhankelijk van de plattegrond van het gebouw moet bij de toepassing zorggedragen worden voor een symmetrische versterking. Dit zal speciaal het geval zijn bij stadswoningen.



Figuren 6-86. Stelplaatjes, imitatie ramen.
Links. Hardplastic stelplaatjes voor glas.

Midden: Om het vroegere aanzicht van de oude ramen te behouden kan op het vaste glaspaneel een imitatiestrook gelijmd worden en in de kleur van het vroegere raam geschilderd.

De toepassing van constructieve glaspanelen heeft meerdere toepassingen:
A. In oude gebouwen met steens-muren en hoge raampartijen, gecombineerd met smalle penanten.
B. Oude woningen met hoge ramen en veel ramen in de gevel.
C. Woningen met veel ramen in de gevel en gebrek aan binnenmuren.
D. Woningen waar het versterken van binnenmuren extra overlast veroorzaakt.
E. Rijtjeswoningen met weinig raampenanten in de gevels.
F. Bij doorzonwoningen (zelfde als F).

Figuren 6-87. Opplak latten i.p.v. een raam. Voorbeeld van een dikke ruit in een oud kozijn die in de sponning van het kozijn is gesteld. Het glas is afgewerkt met opgeplakte glaslatten die de indruk wekken dat er ook nog een raam zit. Bij een afstand van meer dan 1 meter is het verschil met een origineel raam niet te zien.

[287] De hardplastic of nylon of POM-invulstroken zullen de druk op het hout concentreren, vooral in de binnenhoeken van het kozijn. Als het houten kozijn wel goed is maar onvoldoende hard, kan een hardhouten lat in de sponning worden gezet. Het uit-fresen van de sponning is geen goede optie.

Een voorbeeld van mogelijke toepassing is het veel gefotografeerde gemeenschapshuis in Leermens dat vanwege de smalle raampenanten (steens muren) en gebrek aan lateien en zonder bovenliggend vloerdiafragma als risicovol werd beschouwd en jarenlang in de steigers heeft gestaan.

Door in tenminste in elke gevel één kozijn in de kopgevel een stabiliserend constructief glaspaneel te plaatsen krijgt het hoekpenant opeens een verhouding breedte/hoogte van 5/6 = 0,83 (i.p.v. 0,22) en is daarmee voldoende sterk voor hoge schuifspanningen in het vlak van de gevel.

Figuren 6-88. Sterke glaspanelen. Optie voor het gemeenschapshuis te Leermens. De raam- en terrasdeur penanten (rood) hebben ongeveer een breedte/hoogte verhouding van 1/4,5 = 0,22 en zijn voor een PGAg 0,1 te zwak. Aan de zijkant is het niet beter. De paarse omlijsting geeft de locatie van het glaspaneel aan.

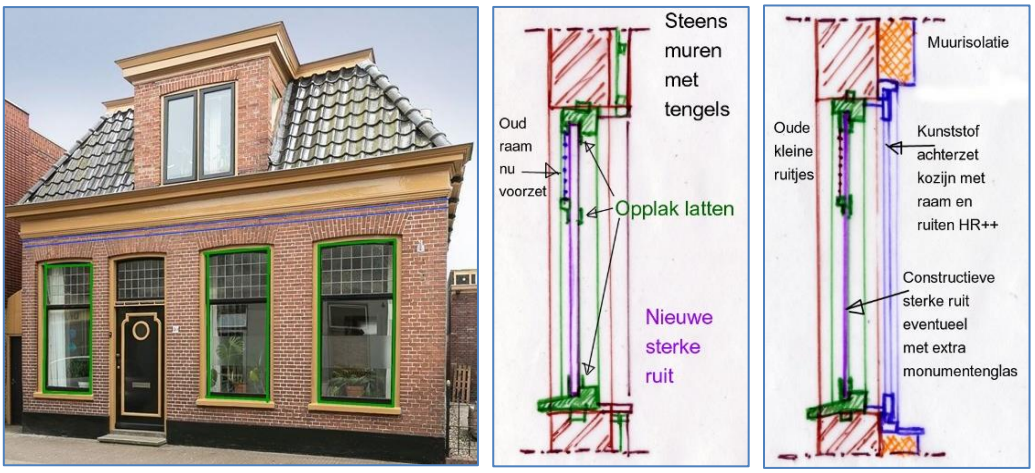
Het sterke constructieve glaspaneel (paars kader) en twee smalle gemetselde penanten samen (groen kader) werken voldoende samen om de stabiliteit in het vlak van de gevel te realiseren. Het overblijvende smalle penant (rood) verliest hiermee haar sterktefunctie en is niet meer kritisch. De nodige rondgaande lateiwapening is lichtblauw aangegeven. Afhankelijk van de algemene constructie van het gebouw zal er een zoldervloer diafragma moeten worden aangelegd. Wanneer de terrasdeur vervalt kan hier ook een constructief glaspaneel geplaatst worden, waardoor er geen (verkeerde) asymmetrie in de krachtenverdeling ontstaat.

Hetzelfde moet gebeuren met de raamkozijnen (enkel glas) en in de zijkanten om het hele gebouw aardbevingsresistent te maken, als het aanbrengen van een doorgaande wapening boven de ramen en een vloerdiafragma (lichtblauwe lijnen).

Oude woningen hebben in de hoge kozijnen in de bovenzijde een ventilatieraam zitten met kleine ruitjes of soms glas-in-lood die gedeeltelijk doorzichtig zijn (kathedraalglas). In sommige situaties zijn de bovengedeeltes scharnierend, open te zetten of een schuifraam. In de situatie van een gevelversterking met constructieve glaspanelen zal het klepraam, die open-zetbaarheid of de schuifraamfunctie vervallen. Om hetzelfde beeld als vroeger terug te krijgen kan het oude raam met de kleine ruitjes buiten als extra voorzetraam worden toegepast. Door de toepassing van decentrale ventilatie met WTW kan goed en energiezuiniger geventileerd worden.

Als optie kan er een enkele, massieve sterke constructieve ruit in het bestaande kozijn worden gezet, waarbij aan de binnenzijde een open te zetten achterzetraam van HR^{++} isolatieglas komt. Hiermee wordt de totale isolatiewaarde flink verhoogd en kan het constructieve paneel vanuit de binnenzijde schoongehouden worden.

Wanneer de oude ruit historisch glas is (monument) kan het constructieve paneel aan de buitenkant gelamineerd worden met een extra glasplaat van monumentenglas.[288] Er zijn verschillende constructie situaties, die per situatie bekeken moeten worden om een mooie oplossing te maken.



Figuren 6-89. Constructief glaspaneel. Het groene kader bij een oude woning met bovenramen van kleine ruitjes.

Naast het versterken van de gevel moet er ook een horizontaal verband boven de ramen worden aangebracht (blauwe lijn) en een zolder vloerdiafragma. Dit kan ook achter het houten boeiboord.

Kozijnen kunnen in haar geheel vervangen worden door metalen kozijnen die de belasting goed op de glaspanelen kunnen overdragen. In de meeste situaties zal een geheel nieuwe gevel hier de voorkeur hebben.[289] De kamers moeten wel goed geventileerd kunnen worden. Bij het aanleggen van een nieuwe gevel zal naast het constructiedetail ook de thermische isolatie en de woningventilatie moeten worden bestudeerd en aangepast.

Figuur 6-90. Hele pui vervangen. Dit kan met constructieve glaspanelen. Bij doorzonwoningen is de methode van aanbrengen van constructieve glaspanelen afhankelijk van andere constructie details. In het geval van deze woning moet de borstwering óók versterkt worden om de krachten naar de fundering over te brengen. Daar moet dan wel een fundering zitten!! Ook op de etage moeten maatregelen genomen worden.

6.22. Diagonalen in en voor de raamopening en buitenom, exo-skelet

Bouwkundig gesproken is het een logisch ontwerp om in de raamopeningen druk- of trekdiagonalen toe te passen om de krachten in het vlak van de muur van het gebouw op de fundering over te dragen. Echter in de woningbouw dit is geen courante oplossing, maar wel in kantoren en andere utiliteitsgebouwen. Een gebouw met een houten of stalen frame kan vóór de ramen of muren diagonale spankabels hebben die de horizontale stabiliteit verzekeren. Bij commerciële gebouwen, moderne agrarische schuren, scholen en kantoren zijn dit goede versterkingsopties.

[288] Bij deze optie hoeft er geen Low-e coating op de ruit te worden aangebracht.
[289] Omdat hier verschillende aspecten een rol spelen en deze woningen meestal van woningcorporaties of VvE zijn, worden de opties hier niet in detail uitgewerkt. De woningventilatie is een van die aspecten. Woningcorporaties of VvE kunnen contact met mij opnemen voor de uitwerking van de opties.

Figuur 6-91. Gerenoveerd gebouw.
Hier zijn diagonalen in het raam toegepast, doorlopend over meerdere etages.
Dit vroeg 19de-eeuwse gebouw werd gerenoveerd en als ***kantoorgebouw*** *in gebruik genomen. Om voldoende stevigheid in het vlak van de muren te creëren werden in de raamopeningen verschillende diagonalen gebouwd die de trek en druk in de gevel opvangen.*
Sterke constructieve isolerende glaspanelen in alle kozijnen bij een laag gebouw kan goedkoper zijn.

De toepassing van diagonaal versterking is ook een goede optie om de oude grote houten gebintenschuren te stabiliseren en de flexibiliteit te verminderen. Bij deze houten schuren moet dan ook de fundering onder de gebinten verbreed worden zodat er voldoende draagkracht is.

Figuren 6-92. Diagonale spankabels. Aan metalen en houten frame. Hier zijn er niet-stijve invulpanelen.

Analoog aan de voorgaande oplossingen kan ook een diagonalen-frame om het gebouw gemaakt worden. Sommige gebouwen worden met diagonalen een exo-skelet ontworpen.

Figuur 6-93. Impressie van een exo-skelet.
Links. Geen echt exo-skelet, maar het geeft wel de indruk. Met de vloerdiafragma's vormt het een stabiel geheel.
Bij een exo-skelet veranderd de gevel sterk van aanzien.

6.23. Nieuwe sterke en geïsoleerde buitengevel

Er zijn meerdere redenen waarom buitenzijdig seismisch versterken de voorkeur heeft boven binnenzijdig versterken. Dit heeft vooral te maken met de noodzaak de gebouwen tegelijkertijd te verduurzamen en daarvoor de thermische schilisolatie in haar geheel te verbeteren. De versterking is in grote delen analoog aan deze isolatieproblematiek. [290]

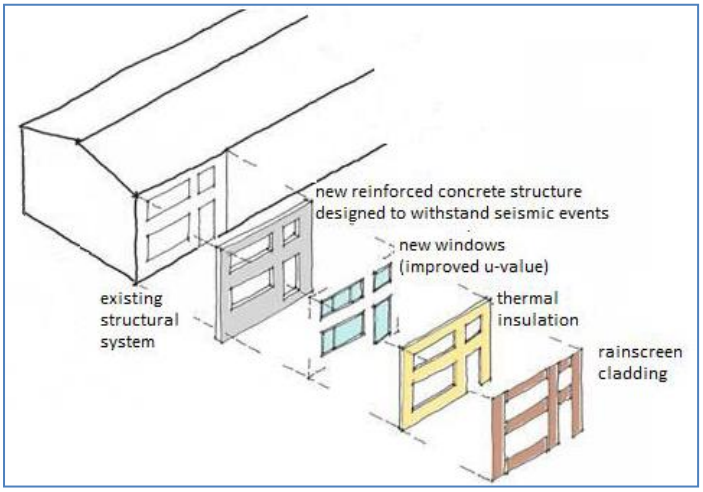
[290] In het document: "Gevelisolatie. Inclusief DUNNE Binnenzijdige isolatie ", worden de verschillen tussen binnenzijdige en buitenzijdige isolatie in detail behandeld. Website: www.nienhuys.info eerste pagina.

- ✓ Minder veranderingen aan de binnenzijde. Het versterken van de buitengevel van gebouwen heeft de voorkeur wanneer de versterking aan de binnenzijde en het terugbrengen in de oude staat kostbaar is. Er kan minder sloop- of breekwerk en minder bouwafval het gevolg zijn. Het is dan niet noodzakelijk om radiatoren en binnenleidingen te veranderen.

Figuur 6-94. Houten vloerdiafragma.
Bij veel monumenten zal de buitenkant van het gebouw beeldbepalend zijn en kan/mag men de buitengevel niet wijzigen. Ook kan niet altijd het vloerdiafragma verstijfd worden. Wanneer noch het interieur, noch de buitengevel mag worden aangepast is 'Base-isolation' *de optie.*

- ✓ De bewoners in het gebouw blijven wonen. Dit heeft het logistieke, financiële en sociale voordeel dat er geen verhuizing nodig is met tijdelijke opslag van het huisraad, verhuiskosten en tijdelijke bewoning in een andere locatie. Hoe langer de bouwperiode duurt, hoe hoger de relocatiekosten zullen zijn. Wanneer alleen de buitenkant wordt behandeld, kan de procestijd zonder extra relocatiekosten worden verlengd.

Figuren 6-95. Buitenzijdige versterking. Samen met verduurzaming.
Voorbeeld van aanpassing van de gevel terwijl de bewoners in het gebouw verblijven. Deze methode is zinvol voor woningbouwcorporaties waar grote series woningen moeten worden verduurzaamd.



Figuur 6-96. Nieuwe sterke geïsoleerde gevel.
(2013). Bij woningwetwoningen zal het (15 cm dik) isoleren aan de binnenzijde tot te veel ruimteverlies leiden. In bijna alle opties is het buitenzijdig isoleren een meer economische oplossing dan binnenzijdig. Deze schets is een impressie van Arup.

- ✓ Eenvoudiger werken voor aannemer, waardoor de kosten laag blijven. De aanleg van funderingen aan de buitenzijde is aanzienlijk eenvoudiger en sneller dan onder een gebouw een fundering versterken. Aan de buitenkant kunnen eenvoudig paalfunderingen worden toegevoegd met trillingvrije perspalen.

- ✓ Het gebruik van een hijskraan is sneller werken en heeft daarom invloed op de verbouwkosten. Prefabricage van elementen in een werkplaats en seriematig werken aan een bouwblok of hele straat heeft ook invloed op de verbouwkosten.

- ✓ Massa vermindering. Bij het verwijderen van bakstenen gevels en het terugplaatsen van sterkere lichtgewichtgevels, wordt de massa van het gebouw verminderd. Wanneer de gevel hoofdzakelijk uit ramen bestaat, zal het verschil echter weinig uitmaken. Voor gebouwen met zware gewapend betonnen (systeem)vloeren zal het percentage massaverschil zeer klein zijn.

Figuur 6-97. Verminderen van massa. Dit is een relatieve versterking van het gebouw en een basisregel van seismisch versterken.

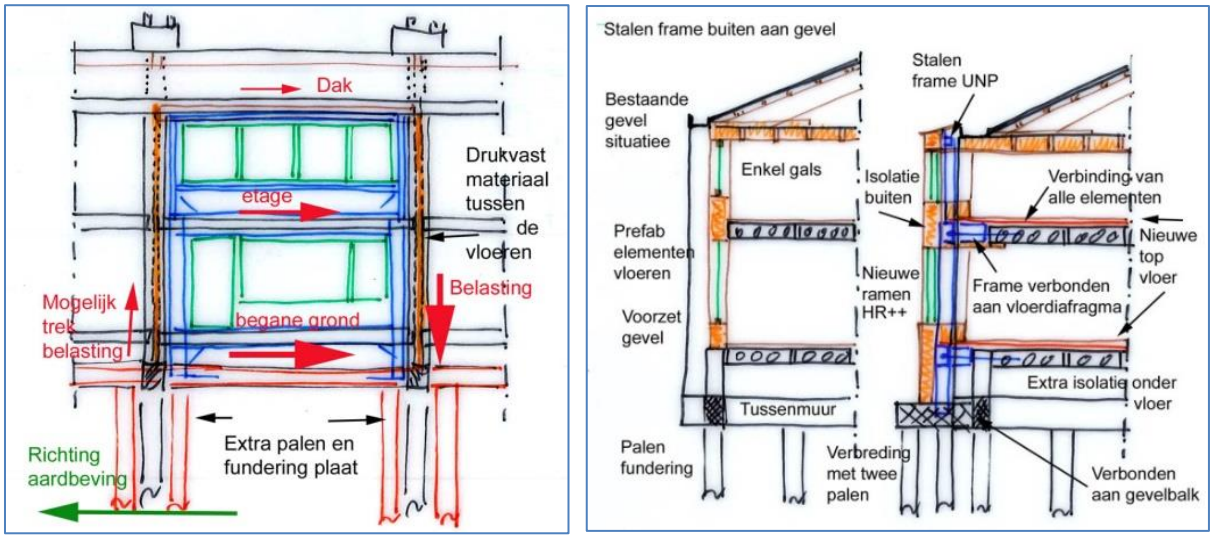
- ✓ Metalen frame of portaal buiten op een nieuwe fundering. Dit is relevant als er in de begane grond van die gevel geen muurvlakken aanwezig zijn die uitwendig versterkt kunnen worden. Dit is vaak het geval met doorzonwoningen, maar ook bij andere gebouwen die aan een kant grote raamopeningen hebben. Het frame moet een eigen fundering hebben.

Figuur 6-98. Metalen frame op fundering. De 'ligger' achter de borstwering op de eerste etage is momentsterk en vormt een portaal met de verticale delen van het frame. Er vervalt hier dan een smal gevelraam.

Bij deze optie zijn er enkele voorwaarden:

- De etagevloer moet als een geheel stijf zijn en aan de woning-scheidende muren verbonden zijn.
- De twee liggers aan de voor- en achterzijde van de woning moeten sterk aan de etagevloer worden verbonden om de horizontale krachten van de vloer over te brengen op de portalen.
- Het portaal brengt aan beide zijden van de woning de krachten over naar de fundering.
- De fundering onder de portaalpoten moet extra versterkt worden.
- De constructie op de eerste etage kan licht blijven als de kapconstructie van hout is.
- De voorgeschreven isolatie wordt aan de buitenzijde van het frame toegepast.
- De bewoner kan in de woning verblijven.
- Bij sterke frames, kunnen slechts de buitenste woningen van een rijtje versterkt worden. Om de frames licht van constructie en gewicht te houden en alle woningen dezelfde nieuwe en geïsoleerde gevel te geven, kan twee lichte frames per woning meer economisch zijn.
- Bij slechts een enkele set voor- en achterzijde frames in één rijtje woningen is het essentieel dat de vloeren druk-vast en trek-vast door-gekoppeld zijn. Dit kan contactgeluid overlast geven. Bovendien bestaat dan de mogelijkheid dat er bij een set palen trekkrachten ontstaan.

Een goede thermische isolatie aan de buitenkant zal minder warmtelekken opleveren dan binnenzijdige isolatie. De constructiedetails moeten rekening houden met de bouwfysische materiaaleigenschappen en de veranderde vochthuishouding en ventilatie wanneer er nieuwe gevels worden geplaatst die kierdicht en meer isolerend zijn.



Figuren 6-99. Constructieve voorwaarde. Gevelversterking alleen is niet voldoende.
Bij weinig portalen en hoge belastingen bestaat er de mogelijkheid dat er trek op de palen kan ontstaan.

Bij woningen met dragende steens buitenmuren, waarbij de kwaliteit van het metselwerk aan de buitengevel niet beeldbepalend is, kan over die buitenmuur een sterke GVTW[291] worden aangebracht in een pleisterlaag, en daaroverheen een thermische isolatie, en daaroverheen steen-strippen[292].

Figuren 6-100. Steenstrip toepassing. <u>Rechts.</u> Steenstrips op EPS-isolatie (Crepi) dikte 15 cm.

Figuur 6-101. Het EPS-isolatiemateriaal heeft voorgevormde ribbels waar de steen-strips ingedrukt kunnen worden. Wanneer het buitenblad van de spouwmuur wordt verwijderd is de nieuwe voorzetmuur met isolatie veel lichter en ongeveer even dik.

Zonder het verwijderen van het buitenspouwblad zal het gewicht van de gevel toenemen en is aanpassing van de fundering wellicht nodig, zeker als er al scheuren in het gebouw zitten. Door de toepassing van Crepi (met pleisterwerk) of steen-strips blijft de gewichtstoename beperkt.

[291] In combinatie met cementmortel dient het type Alkali Resistent (AR) GVTW te worden toegepast, terwijl volgens de bouwcode dan met slechts met 50% van de treksterkte kan worden gerekend.
[292] Steen-strippen kunnen in vele kleuren geleverd worden, in verschillende diktes en materiaal kwaliteiten.

De mogelijke afwerking met pleisterwerk, GVTW, isolatie en steen-strippen is niet alleen voor het type rentenierswoning mogelijk, maar ook voor andere woningtypen die relatief licht van constructie zijn en voldoende muuroppervlak hebben om te versterken. Bij smalle muurpenanten en grote ramen werkt de GVTW-methode niet zonder additionele maatregelen.

Bij in baksteen gemetselde gevels zijn er veel schades aan en rondom de lateien te zien. Een groot gedeelte hiervan is verergerd gedurende de aardbevingen in de afgelopen jaren. Door de gehele buitenschil te verwijderen en opnieuw aan te brengen met een versterkte laag, isolatie en steenstrippen zijn meteen ook deze schades verdwenen.

Voor seismische versterking van grote gebouwen wordt soms spuitbeton (*shotcrete*) toegepast, waarmee een gewapend betonnen laag van 5-6 cm dik op een bestaande muur wordt 'geplakt'. Vanwege de lage bevingsbelasting en deze zware maatregel wordt dit product niet toegelicht.

Figuur 6-102. De toepassing spuitbeton.
Deze optie is erg zwaar, maar kan ook heel sterk zijn. Voor de lichte aardbevingsbelasting in Groningen wordt dit niet overwogen voor de woningbouw.

6.24. Muurherstel en versterking met rvs-spiraalwapening (wokkels)

Binnen- en buitenmuren kunnen structureel hersteld of versterkt worden door het inplakken van spiraalwapening. De techniek is beschreven voor de binnenmuren. Verschillende bedrijven bieden muurherstel aan met deze methode.[293] Via deze websites kunnen ook verschillende links naar YouTube filmpjes worden gemaakt, waarin de toepassing en werking van dit product wordt toegelicht. Seismisch versterken gaat echter verder dan alleen muurherstel.

Voor versterkte ringbalkconstructies of doorgaande lateien, kan de spiraalwapening in elke lintvoeg worden toegepast. Per lintvoeg kunnen zelfs twee rvs-wokkels in de diepte van de voeg naast elkaar worden toegepast. De buitendiameter van de spiraalwapening moet kleiner zijn dan de voegdikte, en de wokkels moeten rondom goed in de voeglijm zijn ingepakt. Ook kunnen buitenmuren met spiraalankers aan binnenmuren gekoppeld worden of de balken aan de muren.

Sinds 2012 werd deze methode van muurherstel ('schadeherstel') door vele kleine aannemers in de provincie Groningen ontoereikend en **zelfs verkeerd toegepast** door te bezuinigen op de lengte, door de wapening nooit om de hoeken door te zetten, of om de binnenmuren niet aan de buitenmuren te verbinden. Hierdoor werd geen seismische versterking verkregen en onstonden er twee situaties:

- ⊗ Langs het uiteinden van de spiraalwapening onstaan bij een schok nieuwe scheuren, en
- ⊗ Muren die haaks op elkaar staan hebben geen treksterke verbinding en kunnen bij een nieuwe schok over de hele hoogte van elkaar losscheuren.

[293] *Helifix, https://www.helifix.nl/uploads/pdfs/downloads/HeliBar.pdf Thorhelical, https://www.thorhelical.nl/scheurherstel/ Total Wall, https://www.totalwall.nl/nieuws/een-wokkel-als-metselwerkwapening.html ABC Adamas, https://www.abcadamas.nl/scheurherstel. Reconex, https://www.reconex.nl/RVS-wapening, https://www.voegrenovatie.nl/nl/scheurherstel-aardbevingsschade-spiraalanker*

Figuur 6-103. Verkeerde toepassing Helifix.
Zowel boven het linker als rechter raam lopen de ingeslepen voegen of ankers niet door. Tussen die wapeningeinden zal de muur opnieuw scheuren.

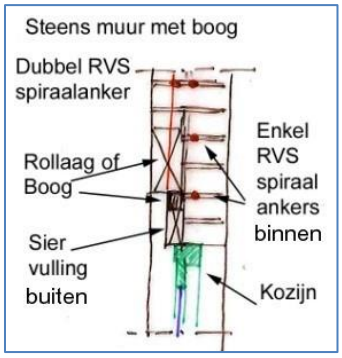
Naast de beperkte uitvoering in buitenmuren (herstel i.p.v. versterking) kwam het veel voor dat er wel wokkels in de buitenmuren werden toegepast, maar niet in de gescheurde binnenmuren boven de deuren of ramen, ter versterking van de lateifunctie. Tenslotte werden de binnenmuren ook niet aan de buitenmuren of de vloeren gekoppeld, iets wat wel noodzakelijk is in een aardbevingsgebied.

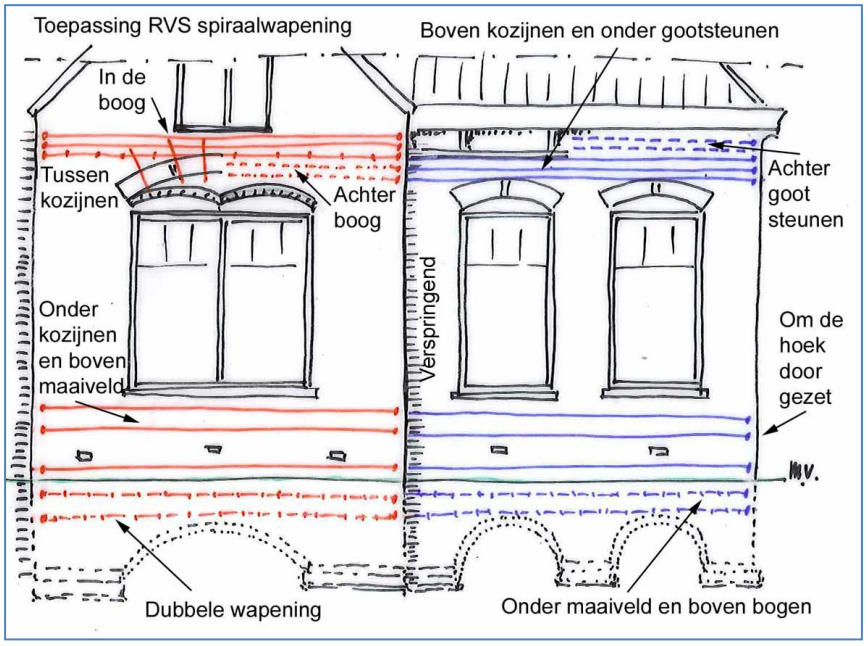
Figuren 6-104. Wegwerken is geen versterking.
Door bij binnenmuren slechts de scheur weg te plamuren, zonder muurversterking, onstaat er bij de eerst volgende schok weer een barst.

Muurversterking met rvs-spiraalwapening moet doorlopend over de gehele muurbreedte en rondom de hoeken van het gebouw aangebracht. Door de rvs-wapening om de hoeken door te zetten ontstaat er een verbinding tussen de haaks op elkaar staande buitenmuren.

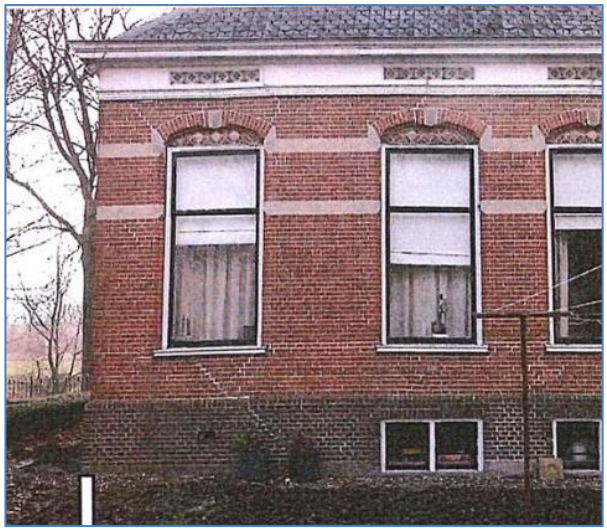
Figuur 6-105. Niet-doorlopende rvs-wapening.
In het midden is een onderbreking van de horizontale staaf van slechts enkele cm. Hier kan het gebouw dan opnieuw scheuren.

Figuur 6-106. Niet om de hoek aangebracht.
Toepassing slechts boven enkele lateihoeken, hetgeen tot nieuwe scheuren ernaast zal leiden. Hier is slechts sprake van muurherstel, niet van enige vorm van seismisch versterken.



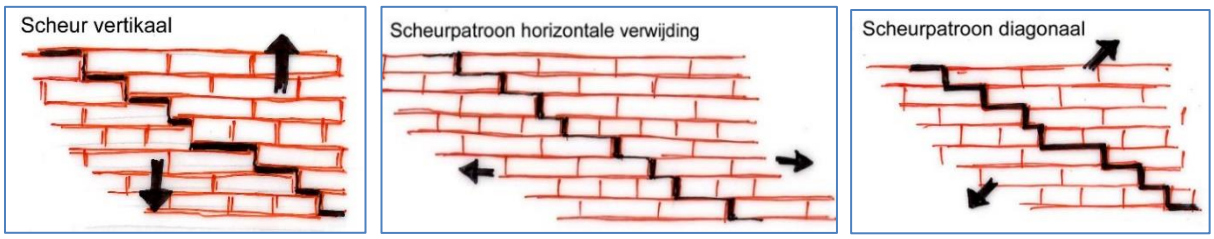


Figuren 6-107. Ruimte boven raam is klein.
Voor versterking moet tussen de raambogen en de goot in elke lintvoeg een rvs-wokkel worden toegepast om voldoende trekweerstand te kunnen ontwikkelen in de bovenkant van het gebouw en verbinding met het vloerdiafragma te maken.



Figuren 6-108. Gevel versterkingen.
Bij scheuren in de gevels is spiraalwapening vaak onvoldoende en moet er ook een verbetering van de draagkracht van de fundering plaatsvinden.
<u>Rechts</u>. De lintvoeg wapening is na het schilderen nog wel zichtbaar.

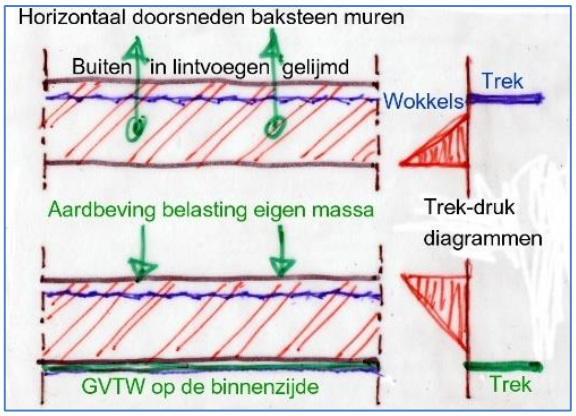
Bakstenen muren raken verzwakt door scheuren. Een haarscheur maakt weinig uit voor de druksterkte, maar geeft aan dat er ZERO treksterkte in die muur bestaat.[294] Hoe groter de scheur, hoe zwakker het metselwerk. De geheel horizontale lintvoegscheur ontstaat vaak bij penanten en kan niet versterkt worden met spiraalwapening in de lintvoegen. Diagonale en verticale metselwerk scheuren kunnen wel met spiraalwapening gestabiliseerd worden. Bij het in de lengte doortrekken van de wapening in meerdere lintvoegen wordt de muur versterkt.



Figuren 6-109. Drie typen scheuren in baksteen. Links. Horizontale verwijdering ontstaat vaak boven ramen vanwege gebrek aan horizontale verbinding (niet doorlopende lateien). Midden. Verticale verwijdering ontstaan vaak door verzakkingen. Rechts. Diagonale verwijdering door een combinatie van deze twee.

Figuur 6-110. Verticale hoekscheuren.
Zuiver verticale scheuren kunnen vaak ontstaan onder andere door thermische uitzetting en gebrek aan dilatatie, of gebrek aan binding met het vloerdiafragma.

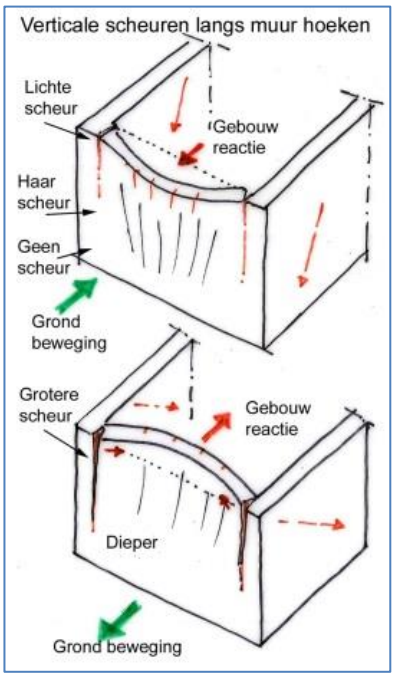
Door het aan de buitenzijde van een bakstenen muur inbrengen van wokkels, wordt aan die buitenkant van de muur treksterkte ingebracht.[295] In combinatie met de drukzone van het metselwerk aan de binnenkant, kan deze muur een redelijke belasting opnemen tegen het uitbuiken.



Figuur 6-111. Weerstand tegen vervorming.
Door het inlijmen van wokkels wordt de treksterkte in dat oppervlakte van de muur veel groter. De muur kan dan doorbuiging in de richting van de groene pijlen weerstaan.
Door aan de binnenzijde GVTW toe te passen kan deze muur ook buiging naar de andere zijde weerstaan.

[294] Baksteen metselwerk wordt niet op trek berekend, maar heeft wel een sterkte tegen afschuiving afhankelijk van de kwaliteit van de mortelvoegen en de breedte van die voegen. Bij verdiepte voegen is dit flink minder.
[295] Voor meer informatie over scheuren in oudere gebouwen zie: “Materialen en technieken in historische metselwerkconstructies”. https://lib.ugent.be/fulltxt/RUG01/002/367/226/RUG01-002367226_2017_0001_AC.pdf

Figuur 6-112. Ingeplakte wokkels nodig.
Deze geven treksterkte rondom het gebouw.
De schets geeft het gedrag van ongewapende muren weer bij een aardbeving loodrecht op het vlak van deze muur. De muur zal in het midden doorbuigen (uitbuiken), waardoor deze lostrekt van de zijmuren.
Verticaal zullen langs de zijkanten dan ook scheuren ontstaan.
Door lintvoegwapening in de buitenkant in te lijmen wordt dit uitbuiken en de scheuren voorkomen.
Door de wapening om de hoek te laten lopen wordt de verticale scheur voorkomen.
Hetzelfde geldt voor het naar binnen buigen.
De bovenkanten van de muren moeten echter hoofdzakelijk versterkt en ondersteund worden door een goede verbinding met een stijf vloerdiafragma.

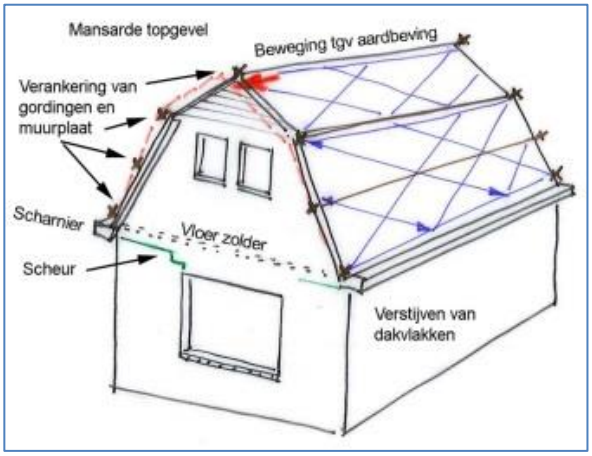


6.25. Verwijdering van de baksteen muur top

Door de massa van de bakstenen muur weg te nemen (de hele topgevel driehoek), zijn er minder aardbevingskrachten op die muren en de onderliggende muren en wordt het gebouw dus relatief sterker. Topgevels zullen door een flexibel houten dakbeschot meer verplaatsing ondervinden dan andere gebouwonderdelen. Dit kan/zal leiden tot scheuren in de basis van die topgevel. Hoe flexibeler de houten dakconstructie, hoe groter de verplaatsing.

Figuren 6-113. Scheuren geveltopbewegingen. Het Mansardedak heeft een scharnierscheur tussen de goot en het raam. Deze ontstaat door de beweging van het oude houten dak dat eraan verbonden is.

Figuren 6-114. Slappe kapconstructie. Deze beweegt de bovenkant van de topgevel. Hierdoor ontstaat er een horizontale breuklijn op de hoogte van de etage vloer. Een houten topgevel is lichter, en kan beter geïsoleerd worden en laat geen scheur zien.



Het getoonde Mansardedak heeft een steens-muur, maar geen bijzondere architectonische waarde. Door het dak te versterken en verstijven kan beweging worden voorkomen, maar ook door de geveltop in geïsoleerde houtbouw uit te voeren. Vele woningen in de provincie hebben dit soort van topgevels.

Bij een verduurzaming van dit soort oude woningen zal ook het dak beter geïsoleerd moeten worden. Wanneer de voorgevel ter plaatse van de zoldervloer wordt vastgezet en de zoldervloer wordt als een stijf diafragma uitgevoerd, is het niet veel extra werk om deze gevel te vervangen door een goed geïsoleerde, bekleed met kunststof, PVC, composiet, metaal of hout. Dit bespaart ook ruimteverlies wanneer er isolatie aan de binnenzijde moet worden toegepast. Het verschil in stijfheid tussen de dakconstructie en de nieuwe gevel is dan niet meer relevant is.

6.26. Kostenaspecten

De besluitvorming over welk muur-versterkingssysteem het beste is wordt hoofdzakelijk bepaald door de kosten van de ingreep:

A. De kostprijs van de (seismische) versterking. Deze omvat de projectvoorbereiding en uitvoeringskosten door ingenieursbureaus en aannemers en aan de ene kant, en aan de andere kant algemene communicatie, management, monitoring en coördinatie kosten.[296]
B. De mogelijkheid om seriematig te werk te gaan heeft een grote kostenreductie.
C. De tijdsduur van de operatie. Hoe langer een operatie duurt, hoe hoger de algemene kosten.
D. De tijdelijke relocatie van de bewoners is kostbaar en niet prettig voor de bewoners.
E. De korte en lange termijn milieueffecten en circulaire bouw. Deze omvatten afval, hergebruik materialen, energiekosten om bouwmaterialen te produceren, recyclen, de mate van energiezuinigheid en duurzaamheid van het versterkte gebouw.
F. De woonkosten gerelateerd aan de milieukosten. Bij een hogere investering in thermische isolatie en technische installaties kunnen de bewoningskosten sterk verlagen. Op termijn worden deze hogere bouwkosten terugverdiend op de rekening. Hogere investeringskosten kunnen daarom op de lange termijn goedkoper zijn. De vergelijking tussen netto bouwkosten van projecten moeten daarom vergeleken worden met een vergelijkbaar Energie-Index (EI = W/m^2 woonoppervlak).
G. De speciale eisen van de woningeigenaar voor de verbouwing en uitbreidingen.
H. De bijdrage van de woningeigenaar of woningbouwcorporatie of andere financieringsoptie.

Bouw-jaar	Rc-muur m^2.K/W	Rc-dak m^2.K/W	Rc-vloer m^2.K/W	Dikte isolatie	Rc-glas m^2.K/W	Letter	Punten scores	EPC rekenfactor	BENG 1 kWh/m^2.jr	BENG 2 F.E. kWh/m^2.j	BENG 3 H.E. kWh/m^2.jr
								0,0	0		
		10,		30 cm		A++++	51-61	0,1	≤ 15	0	> 50%
		8,0		28 cm		A+++	41-50	0,2 < EPC ≤ 0,4	≤ 30	0 < 50	> 50%
		6,5		17 cm		A++	31-40	**0,4 < EPC ≤ 0,6**	**≤ 70**	**30 < 50**	**> 40%**
2021	4,7	6,3	3,7	15 cm		A+	21-30	0,6 < EPC ≤ 0,8			
2015	4,5	6,0	3,5	13 cm	1,2	A	2-20	0,8 < EPC ≤1,05			
2005	2,5	2,5	1,3	8 cm	0,6	B	< 2	1,05 < EPC ≤ 2			
1992	2,5	2,5	1,3	8 cm	0,5	C		1,41 - 1,8			
1987	2,0	2,0	1,3	5 cm	0,5	D		1,8 - 2,1			
1982	1,3	1,3	1,3	3 cm	0,5	D		1,8 - 2,1			
1976	0,7	1,0	0,3	2 cm	0,5	E		2,11 - 2,4			
1965	0,43	0,86	0,17			F		2,41 - 2,7			
1930	0,35	---	---			G		< 2,71			

Tabel: Vergelijking van bouwjaar met isolatiewaarde, energie-labels en EPC-berekening en 2021 BENG eisen.

[296] Deze kosten zijn voor een enkele woning erg hoog, maar omdat veel woningen in eenzelfde structurele categorie vallen, kunnen die allemaal op dezelfde wijze versterkt worden. Wanneer een aannemer eenmaal een bepaald type heeft uitgevoerd, zullen gelijksoortige woningen weinig problemen opleveren.

Bij een aanzienlijke verbouwing, zal de NTA 8800:2020 met de nieuwe jaar 2021 BENG-eisen moeten worden toegepast. Als de thermische isolatie aan de binnenkant wordt toegepast zal het netto woonoppervlak verminderen. Extra verduurzamingsmaatregelen kunnen bestaan uit de aanleg van een Lage Temperatuur Verwarming (LTV), de aanpassing van sanitaire ruimtes, deuropeningen of trappen ten behoeve van senioren of extra vergroting van het PV-areaal, zonneboilers en installatie warmtepomp of warmtenet. Het vergelijken van de kosten van de seismische versterking kan slechts per gebouwtype. Voor een goede vergelijking dienen de voorwaarden A t/m H en het gebouwtype ongeveer gelijk te zijn.

Figuren 6-115. Gelijksoortige gebouwen. Deze kunnen samen worden uitgevoerd. De kosten voor de voorbereiding en uitvoeringskosten zullen sterk teruglopen ze een typologie zijn.

Veel bewoners uit de provincie Groningen (of in de rest van Nederland) hebben niet de financiële middelen om zowel schadepreventie te financieren (technische verduurzaming) als thermische verduurzaming (thermisch isoleren, warmtepomp en installaties), ook al zou op de lange termijn de woningwaarde hoger zijn en de gebruikerskosten voor energie lager.

Het aanvullend op de reparaties ontwikkelen van een duurzaam financieringsmodel in Groningen, gericht op een duurzame en milieu-efficiënte bouw en met Nederlands kapitaal is relevant.

**********Terug naar het begin van dit Hoofdstuk 6**********

**********Terug naar de inhoudsopgave figuren**********

Duurzaam Herstel en Versterking van Woningen in Groningen

Hoofdstuk 7 LATEIEN en TOGEN

SCHADE en HERSTEL

Na de aardbevingsproblematiek en de afbouw van de aardgasproductie

Abstract: Scheurpatronen in bakstenen muren met latei- en toogconstructies en hun versterkingsopties. De oorzaak van de scheuren wordt geanalyseerd en hoe muurherstel gerealiseerd kan worden. Een 20-tal scheurpatronen zijn omschreven met foto's[297] en schetsen, waarbij de meest voor de hand liggende oorzaak van de scheurvorming wordt bepaald en de mogelijke gebouwversterkingen.

Kernwoorden o.a.:
Baksteen, boog, diafragma, duurzaam, geïnduceerd, hanenkam, hoofdstructuur, isoleren, lateien, metselwerk, preventie, reparatie, scheuren, seismisch versterken, toog, veiliger maken, verbouwen, vloeren, verduurzamen.

Door: Sjoerd Nienhuys
Bouwkundig, seismisch ingenieur
Juli 2023

[297] De foto's zijn uitsluitend als illustratie en voorbeeldmateriaal bedoeld. Gebouweigenaren die in de foto's hun gebouw of gebouwonderdeel herkennen, kunnen of mogen hier geen consequenties aan verbinden.

7.0. Inleiding

Dit hoofdstuk is een aanvulling op het hoofdstuk 6 “Versterken van Muren”, omdat vaak de eerste (beving) schade aan de muren rondom de lateien of togen te zien is. Het herkennen van de scheurpatronen in baksteen muren en hun oorzaken is een basis voor het bouwkundig of seismisch versterken en het voorkomen van toekomstige scheuren. Ofschoon er in de provincie Groningen van 2006 tot 2018 aardbevingen voorkwamen met een PGAg van 0,085 tot PGAg 0,1, komen er met de definitieve vermindering van de aardgasextractie geen aardbevingen van dergelijke grootte meer voor, hoewel enkele kleine schokken van maximaal PGAg 0,05 theoretisch mogelijk zijn.

Als de maximale bevingswaarde van de NPR kleiner is PGAg 0,05, is er geen seismische versterking volgens de NPR nodig[298]. Bestaande spanningen in muren kunnen bij kleine schokken nog wel tot scheurvorming leiden, en bestaande scheuren kunnen verergeren.

Schaderapporten van na de 16 augustus 2012 Huizinge aardbeving laten veel scheuren rond de raam en deuropeningen zien en rondom de lateien van de oude woningbouw. Bij gebouwen van voor 1920 zijn vaak geen lateien aanwezig maar een gemetselde toog. Die scheuren beginnen bij de hoeken van de raamopeningen of bij de opleggingen en einden van de lateien. Bij oudere gebouwen beginnen ze in en rond in de toog (foto beneden). Wanneer de muren versterkt zijn zoals aangegeven in het vorige hoofdstuk moeten de lateien een integraal onderdeel vormen met die muren. Alleen de lateien versterken is niet voldoende. De schade rond de lateien en togen laten zien waar de constructieve problemen in de constructie zijn.

Figuur 7-1. Doorgezakte togen steens-muur. Deze oude gebouwen hebben te lijden van langzame zettingen in de fundering en gebrek aan muurwapening. Foto RTL-nieuws.

De maatregelen om scheuren rond lateien en togen te voorkomen gaan veel verder dan het dichtsmeren van de scheuren of er een korte rvs-wokkel inlijmen. In de Nederlandse woningbouw zijn lateien slechts dragend uitgevoerd zonder andere constructieve functie. In seismische gebieden moeten lateien doorgaande ringbalkconstructies zijn en een integraal onderdeel van de muren. De muren moeten op hun beurt met de vloerdiafragma’s verbonden zijn. Om grotere horizontale krachten op te vangen dan veroorzaakt door stormen, zijn dragende binnen- en buitenmuren nodig, inclusief sterke verbindingen met de diafragma’s. Gewapend metselwerk in combinatie met de diafragma’s is het basisconcept van aardbevingsbestendige woningen.

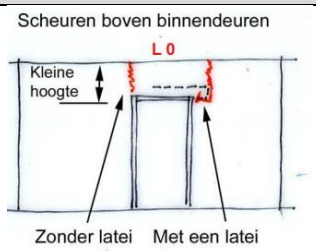
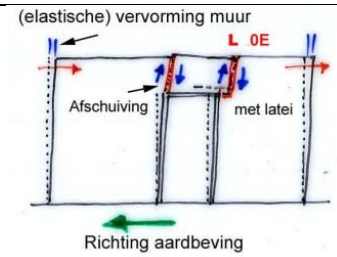
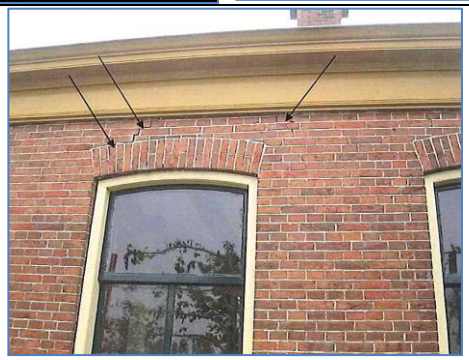
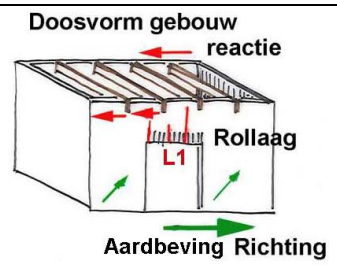
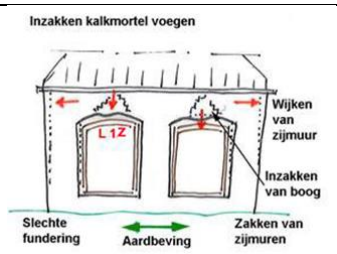
Omdat lateien bij spouwmuren het binnen- en buitenspouwblad dragen, maken ze een thermische verbinding tussen die muren. Bij muurversterking en constructieve verduurzaming van een gebouw moeten deze warmtelekken verholpen worden door extra goede isolatie.

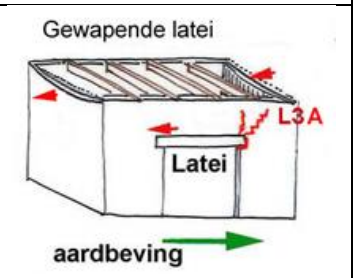
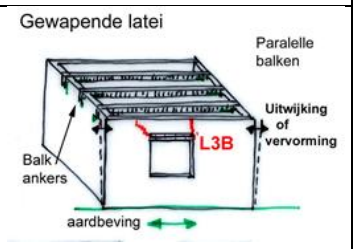
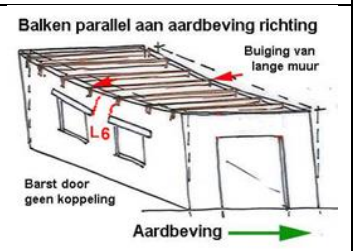
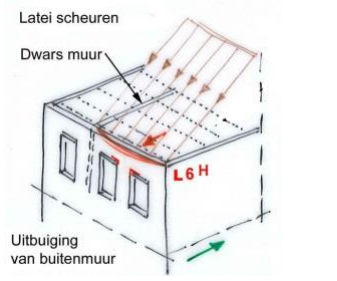
Slechts met een combinatie van de twee groepen maatregelen, constructief-technisch en thermisch-energetisch verbeteren samen is er sprake van volledig verduurzamen.

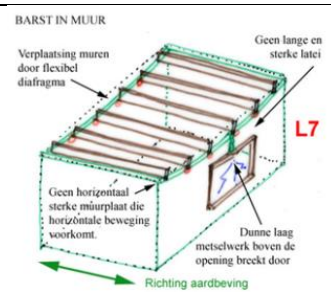
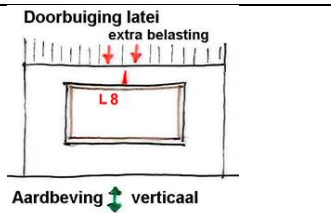
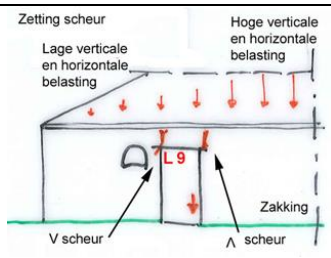
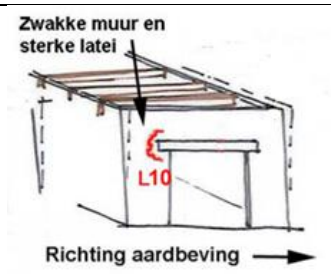
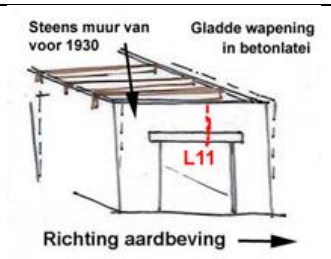
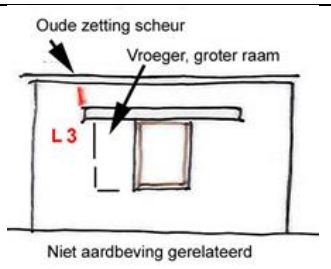
[298] Men gaat er hiervan uit dat de 2015 nieuwbouwnormen voldoende gebouwsterkte waarborgen en de maximale stormbelasting ongeveer hetzelfde niveau heeft als de PGA*g* 0,05 belasting (bij vrijstaande woningen). De duizenden woningen die nog scheuren hebben, kunnen wel meer scheuren krijgen, maar niet instorten, tenzij er andere bouwkundige problemen zijn zoals verzakkingen en bouwfouten.

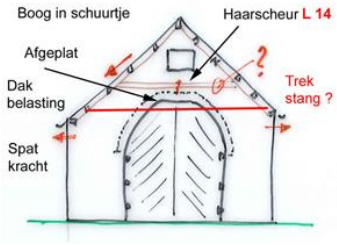
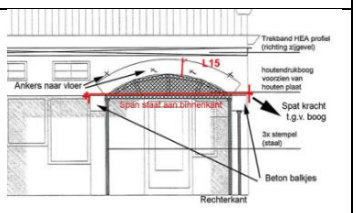
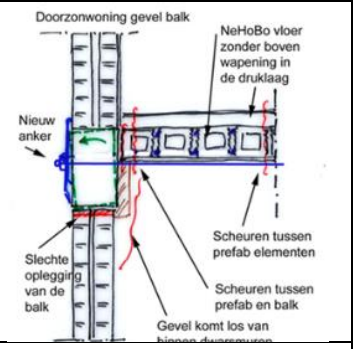
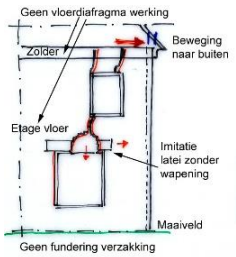
7.1. Tabel: Scheuren Rond Lateien en Togen in Bakstenen Muren

Beknopt overzicht van in 2012 verschillende geconstateerde schades in de provincie Groningen rond ramen en deuren, die te maken hebben met de afwezigheid van lateien of onvoldoende verbinding tussen de lateien en het omringende metselwerk. Sommigen hebben gelijksoortige oorzaken. Deze voorbeelden worden in dit hoofdstuk uitgewerkt.

#	Omschrijving	Foto's	Schets voorbeeld
L 0	Geen latei. Verticaal vanuit de kozijnhoeken naar boven tot aan het plafond of vloer.		
L 0	Geen latei. Vanwege **elastische** vervorming van het muurvlak.		
L 1	Geen latei. Ongewapende rollaag steunt op kozijn. Ongewapende hanenkam, toog of boog splijt wanneer de gebouw zijden wijken.		
L 1	Geen latei. Inzakken kalmortel metselwerk door wijken van de zijmuren.		
L1 en L2A	Geen latei. Verwijdering van zijmuren bij balklaag loodrecht op de muur.		

L1 en L2B	Geen latei. Verwijdering van zijmuren bij balklaag parallel aan de muur.		
L 3A	Latei achter rollaag. Balklaag loodrecht op de muur. Afschuiving op binnenmuur.		
L 3B	Latei achter rollaag. Balklaag parallel met de muur. Afschuiving op binnenmuur.		
L 4 + L 5	Horizontale scheuren onder ramen vanwege kantelen penant.		
L6	Verticale scheuren boven latei vanwege horizontale doorbuiging gevel over stijve lateien.		
L 6H	Horizontaal loodrecht op het vlak van de muur. Uitbuiging muur over een stijve betonlatei.		

L 7	Verticaal loodrecht op het vlak van de muur. Uitbuiging van een enkele latei.		
L 8	Verticale scheur door verticale doorbuiging van latei.		
L 9	Verticale verzakking van muurdelen en horizontaal scharnieren.		
L 10	Zwakke of verzwakte muur met sterke binding tussen latei en baksteen.		Hetzelfde type scheuren komt ook veelvuldig voor door verschillen tussen de thermische krimp of uitzetting van het beton en het metselwerk.	
L 11	Oude wapening van rondstaal in slechte beton kwaliteit.		
L 3	Verandering van raamgrootte. Lange latei.		

L 12	Torsie van achterliggend diafragma door excentriciteit.		
L 13	Wegdrukken van zijmuur door verzakking spanten. Ontwerp- of bouwfout.		
L 14	Doorzakken van niet ronde boog door spatkracht. Bouwfout.		
L 15	Uitwijken van de ondersteuning van een boog. Naar voren bewegen door dak druk. Bouwfout.		
L 16	Naar voren bewegen door gebrek vloer koppeling. Kanteling naar buiten. Geen diafragma werking. Bouwfout.		
L17	Geen latei. **Decoratie** is doorgezakt door gevelhoge verzakking.		

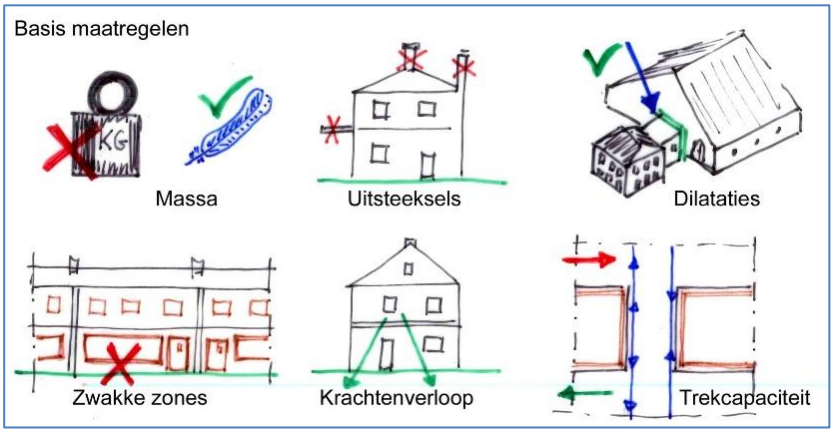
De bovenstaande lijst is slechts een greep uit de vele situaties die ontstaan door constructieve tekortkomingen van de oudere bouwmethoden, gecombineerd met veroudering, grondverzakking en trillingen (van aardbevingen). Spanningen die in de constructie en het metselwerk ontstaan door deze gebreken, resulteren door de korte felle schokken van de geïnduceerde aardbevingen in scheuren en de verergering van die scheuren. Bij het verduurzamen van de woningen moet niet alleen de muur gerepareerd worden, maar ook de onderliggende structurele problemen worden aangepakt.

Wanneer er eenmaal scheuren in het baksteen zitten zullen kleine kruimels baksteen in die scheur loskomen en vallen, waardoor de scheur niet meer dichtgedrukt kan worden. Na verloop van tijd worden bij meerdere trillingen daarom de scheuren groter.

7.2. Basisprincipes van seismisch versterken

Bij seismisch versterken moeten de basismaatregels worden toegepast die ook van toepassing zijn op gemetselde nieuwbouw constructies. De meest belangrijke zijn:

1. Reduceer de massa, houdt het gewicht laag.
2. Verwijder uitsteeksels (schoorstenen), zorg voor een compact gebouw.
3. Voorkom belastingen loodrecht op de baksteen muren (door ontwikkeling van diafragma).
4. Voorkom onregelmatige plattegronden; dilateer grote en verschillende gebouwdelen.
5. Voorkom zwakke zones zoals grote ramen en smalle raampenanten.
6. Krachten moeten van/naar de fundering lopen in het vlak van de dragende muren.
7. Voorkom torsiekrachten in een gebouw door een asymmetrische plattegrond.
8. Voorkom horizontale krachtenresultante van het dak op de dragende muren.
9. Dragende muren moeten druk- en trekkrachten (afschuiving) kunnen opnemen.
10. Dragende constructies zoals kolommen moeten sterker zijn dan vloeren.
11. Dragende constructies mogen bij overbelasting vervormen (ductiel), maar niet bezwijken.

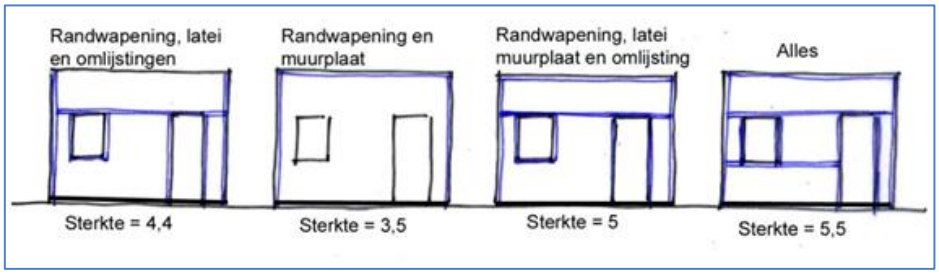


Figuur 7-2. Basisprincipes. Van seismisch bestendig bouwen en versterken. Bij lateien mist de bestaande bouw treksterkte over de gehele breedte van de gevels. Deze moet worden ingebracht tijdens het verduurzamen. Zie hoofdstuk 13.

Al meer dan 60 jaar geleden werd het principe van seismisch sterker bouwen goed gedefinieerd[299]. Op basis van tests werd bepaald hoeveel sterker een gebouwtje met kleine ramen werd door de toepassing van trekwapening langs de randen van alle muurvlakken in de dragende muren; dit liep op tot 5,5 keer de sterkte van het basisgebouwtje dat geen trekwapening had (bij beperkte raamgrootte). Bij deze opstelling ging men ervan uit dat de deuren en ramen als openingen worden beschouwd en geen trek- of druksterkte in het vlak van de gevel kunnen opnemen. Zoals toegelicht in het vorige hoofdstuk 6 is het tegenwoordig mogelijk om constructief sterke kozijnen toe te passen, of voor de ramen (niet de deuren) constructief sterke glaspanelen toe te passen.

[299] 1965. School of Research and Training in Earthquake Engineering. University of Roorkee in India. Dit is met uitzondering van *Base-isolation*, hetgeen het voorkomen van seismische belasting inhoudt.

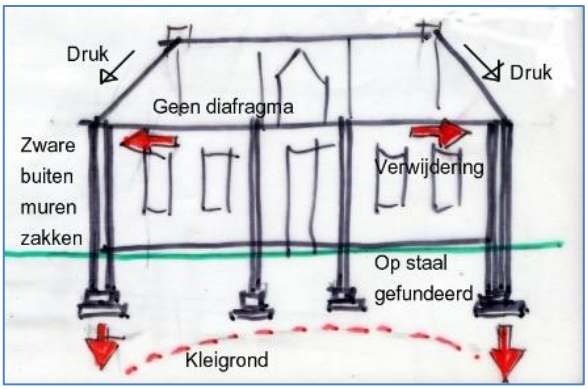
Kozijnen of constructieve glaspanelen kunnen dezelfde sterkte hebben als de draagmuren. Bij deze nieuwe versterkingsopties gelden de onderstaande gebouwprincipes niet, want dan kunnen de muren als een gesloten geheel beschouwd worden.



Figuur 7-3. Versterking niveaus.
Testgebouwtje in India.
Het gebouwtje zonder randwapening heeft een sterkte 1.
Plat dak is diafragma.

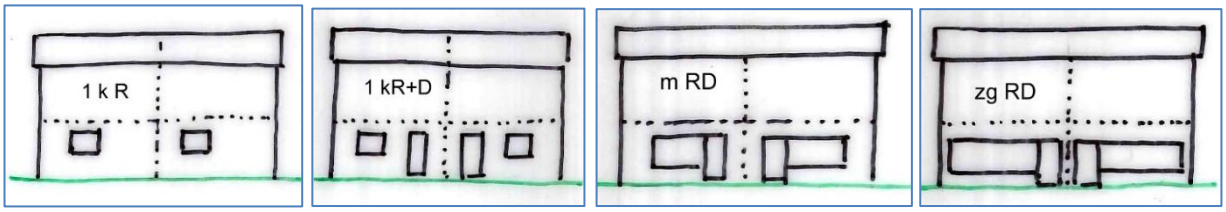
De situatie in van de Nederlandse woningbouw is op zes manieren anders.

1. Door verzakking van de buitenmuren ontstaan er scheuren die de muren verzwakken.
2. Bij gebrek aan een plafond- of dak-diafragma kunnen de buitenmuren gaan wijken.
3. De Nederlandse raamopeningen zijn meestal aanzienlijk groter dan de verhoudingen in de bovenstaande schets, waardoor de muurpenanten smaller zijn, en waardoor deze penanten minder op afschuiving worden belast en meer op kanteling.
4. Er wordt in Nederland nooit verticale wapening in de hoeken van de muren ingebouwd.
5. Veel woningen hebben een schuin dak dat soms zijwaartse belasting kan geven.
6. De binnenmuren zijn niet dragend.



Figuur 7-4. Verschillend verzakken. De zwaardere steens buitenmuren en binnenmuren kunnen verschillend verzakken van de binnenmuren.
Bij vochtige grond en trillingen kunnen binnen en buitenmuren verschillend verzakken. Afhankelijk van het ontwerp van de kapconstructie kunnen de spanten een zijwaartse druk op de muurplaat uitoefenen.

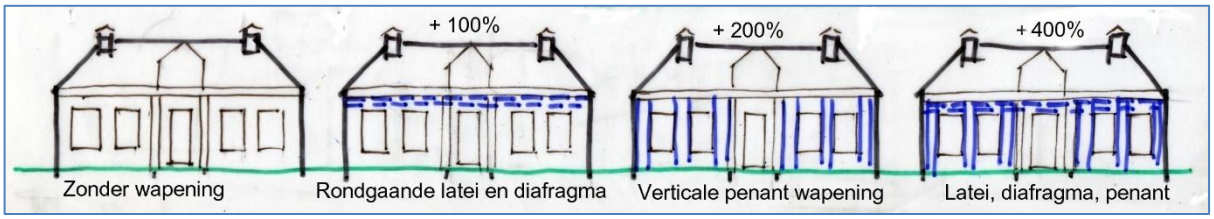
Analoog aan de testen die 60 jaar geleden in India werden gedaan zou men ook de typische Nederlandse woningbouw kunnen analyseren in hoeverre bepaalde maatregelen welke percentuele versterking van een gebouw zou inhouden[300].



Figuren 7-5. Grote ramen is minder sterkte. Bij de derde en vierde schets van links is het niet meer voldoende om in de gevel horizontale en verticale trekwapening toe te passen, maar zullen er momentsterke constructies aangebracht moeten worden zoals muur-vloer verbindingen en portalen. Als alternatief kunnen dan ook constructief sterke glaspanelen worden toegepast, waardoor de functie van de smalle raampenanten nagenoeg vervalt, of wordt samengevoegd met het constructieve glaspaneel.
1 klein Raam, 1 klein Raam + Deur, middelgroot Raam-Deur, zeer groot Raam-Deur.

[300] Met het ontwikkelen van de VersterkingsAdviezen (VA's) is dat eigenlijk al gedaan (op kosten van de overheid) , maar die informatie is niet publiekelijk gratis beschikbaar voor de burgers.

De mate van versterking van eenvoudige woningbouw hangt in hoge mate af van de kwaliteit van de fundering, de aanwezigheid van binnenmuren die bij aanpassing van het plafonddiafragma de belastingen kunnen overbrengen in het vlak van de muren en de slankheid van de raampenanten. Op basis van ervaring zal bij het onderstaande type woning de versterkingen ongeveer de volgende invloed hebben op de algehele gebouwsterkte, waarbij de rondlopende lateifunctie of een volledig plafond of zoldervloer diafragma erg belangrijk zijn (uitgezonderd sterke kozijnen of glaspanelen).



Figuren 7-6. Per typologie versterkingsschema.
Het maken van een rondlopende latei (band en vloerdiafragma) is de eerste belangrijke stap. Daarna komen andere versterkingen zoals het inbrengen van de verticale wapening in de raampenanten in aanmerking. Bij de toepassing van constructieve glaspanelen is ook een vloerdiafragma nodig.

Omdat het principe van constructieve glaspanelen nu alleen in de hoogbouw wordt toegepast is het nuttig om vergelijkende sterkteberekeningen uit te voeren voor de toepassing bij laagbouw.

Omdat rondom de lateien (tussen lateien en de dakrand of muurplaat) meestal de eerste scheuren ontstaan bij trillingen, zal de seismische versterking van die lateizones door het hele gebouw ook toekomstige scheuren voorkomen. Wanneer men gebouwen constructief gaat verduurzamen, waarbij men in de toekomst geen scheuren meer wil, is dit daarom één van de belangrijke maatregelen wanneer er geen structurele gebreken in de fundering aanwezig zijn.

Figuur 7-7. Ringbalk lintvoegwapening.
Bij slechts korte wapening stukken (midden boven de kozijnhoek) kan/zal na verloop van tijd naast het uiteinde van de wapening weer een nieuwe scheur ontstaan, omdat daar de trekkracht van het metselwerk niet verbeterd is.
De toepassing in de praktijk was geen seismische versterken.

De Juiste manier om lichte scheurvorming t.g.v. aardbevingen te voorkomen is om een doorgaande lintvoegwapening te maken, rondom de hoeken van het hele gebouw en die te goed te verbinden met het stijve (zolder) vloerdiafragma en de binnenmuren.

7.3. Uitrekenen of inzicht?

De hierboven voorgestelde percentages van versterkingen zijn slechts globale schattingen, waarbij de afmetingen van de muurpenanten en het functioneren van het plafond- en vloerdiafragma uiteindelijk bepalend zijn in de krachtenverdeling en de gebouwsterkte.

In theorie is het mogelijk om elk gebouw tot in detail uit te rekenen en vervolgens elk gebouw dat ongeveer dezelfde constructie (bouwperiode) heeft op dezelfde manier te versterken. Op basis van dit principe werd sinds 2013 de woningbouw in de provincie Groningen ingedeeld in een dozijn typologieën met gelijkluidende karakteristieken, en rijtjeswoningen of doorzonwoningen[301]. De doorzonwoningen kunnen echter niet volgens de principes van figuur 7-3 versterkt worden, omdat hier geen of onvoldoende muurvlakken in de voor- en achtergevels om krachten in het vlak van die muren op te nemen.

Figuren 7-8. Meerdere typologieën. Veel voorkomende vormen van woningen in de provincie Groningen. Per typologie kan een standaard versterkingsmethode en plan voor verduurzaming gemaakt worden, zodat er per individueel gebouw geen eigen en heel tijdrovend en duur rekenprogramma hoeft te worden opgezet. Met inzicht over de algemene seismische problematiek kan een kleine aannemer dan de versterkingen toepassen.

Voor scheurpreventie en muurherstel is per gebouwtypologie bekend waar de scheuren zitten of zullen ontstaan bij aardbevingen en hoe deze muursecties te versterken. Met een bouwkundige versterking[302] van ongeveer 100% zal het risico van scheurvorming vanwege kleine naschokken aanzienlijk voorkomen worden. Om dit door kleine aannemers te laten uitvoeren is bij hen een goed inzicht in de seismische problematiek nodig.

Het voorlichten van de vele kleine aannemers op het terrein van seismische constructie kan via formele kanalen zoals technische scholen van het MBO, maar dat is een tijdrovend proces. Het is daarom meer relevant om korte buitenschoolse bijscholing te organiseren per onderwerp (schoorstenen, funderingen, muren, ramen, vloeren, schuren, etc.) en die in video-lessen (YouTube) te ontwikkelen.

Bij het systematisch aanpakken per gebouw typologie zou niet alleen de aardbevingsschade aangepakt moeten worden, maar tegelijkertijd de constructieve gebouwproblemen verholpen die daaraan ten grondslag lagen, zoals oude normen, verzakkingen en bouwfouten. Dit is een eerste maar essentiële stap naar een compleet verduurzamingsproces.

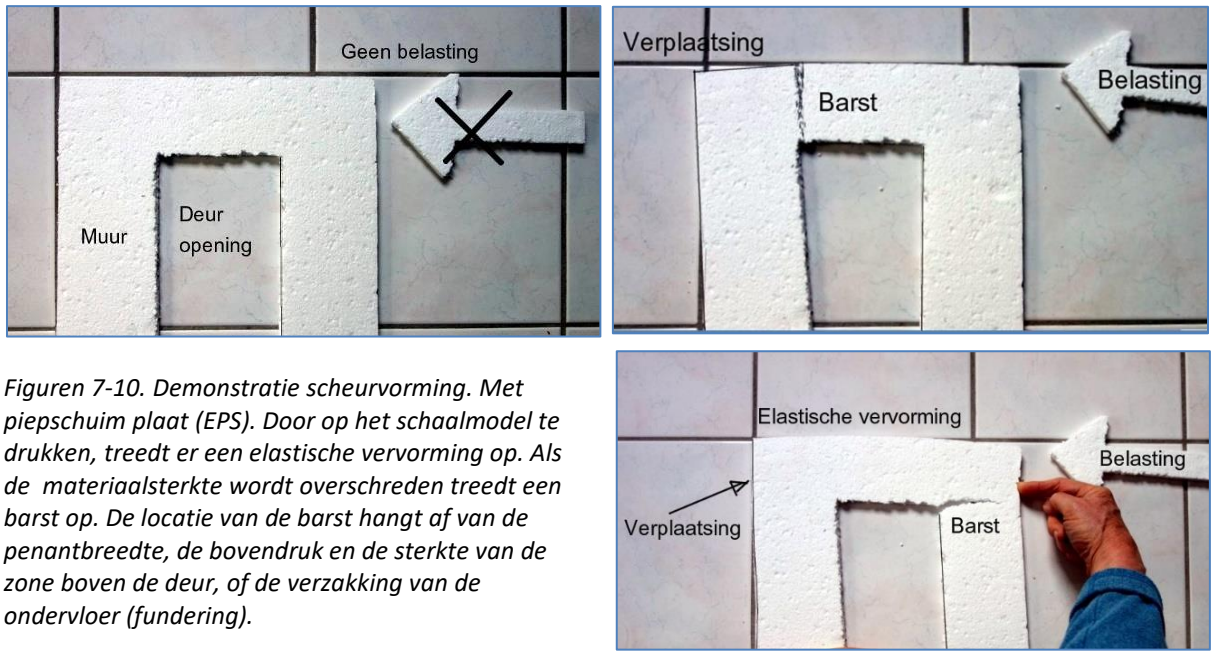
[301] In 2018 waren dit 60 verschillende typologieën geworden. Het TNO heeft de opdracht gekregen om per typologie VersterkingsAdviezen te maken (VA's). Deze adviezen zijn aan de NCG overgedragen.
[302] Bouwkundig versterken is niet seismisch versterken. Seismisch is slechts om te voldoen aan 'niet instorten'.

7.4. Geen latei boven de binnendeuren

De onderstaande foto's zijn van scheuren in gepleisterde binnenmuren van direct na de beving van 16 augustus 2012 in Huizinge (PGAg 0,085). Deze soort scheuren zijn als eerste zichtbaar vanwege het gladde en witte stuc-oppervlak. De aanbeveling van de schade-inspecteurs was dat de scheur iets wordt uitgehakt, epoxy ingevuld en glad-gestukt, en dan moest de hele muur opnieuw gesausd worden[303]. Dit hield dus geen seismische versterking in maar slechts cosmetische reparatie.

Figuren 7-9. Scheuren in binnenmuren. Deze zijn t.g.v. de beving 16-08-2012. De door de schade inspecteurs aanbevolen methode van muurherstel waren slechts cosmetisch.

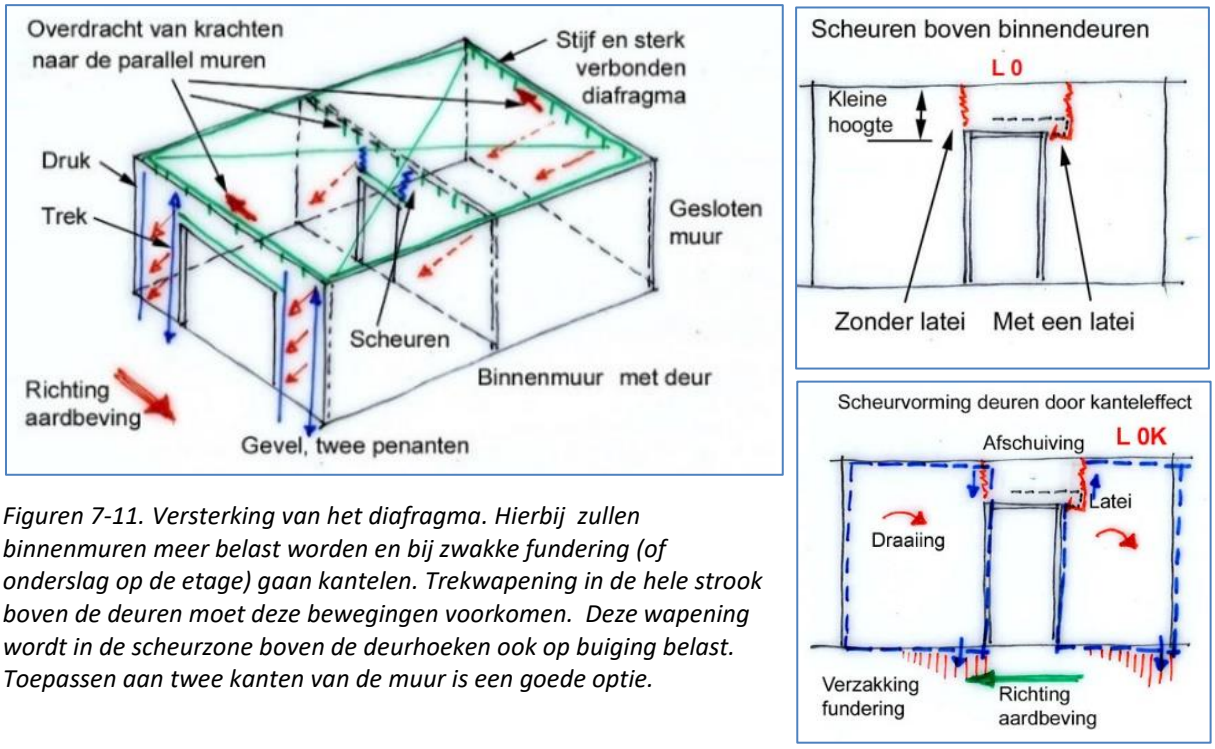
Binnendeuren hebben meestal geen lateien. De scheuren beginnen direct in de kozijn bovenhoek.



Figuren 7-10. Demonstratie scheurvorming. Met piepschuim plaat (EPS). Door op het schaalmodel te drukken, treedt er een elastische vervorming op. Als de materiaalsterkte wordt overschreden treedt een barst op. De locatie van de barst hangt af van de penantbreedte, de bovendruk en de sterkte van de zone boven de deur, of de verzakking van de ondervloer (fundering).

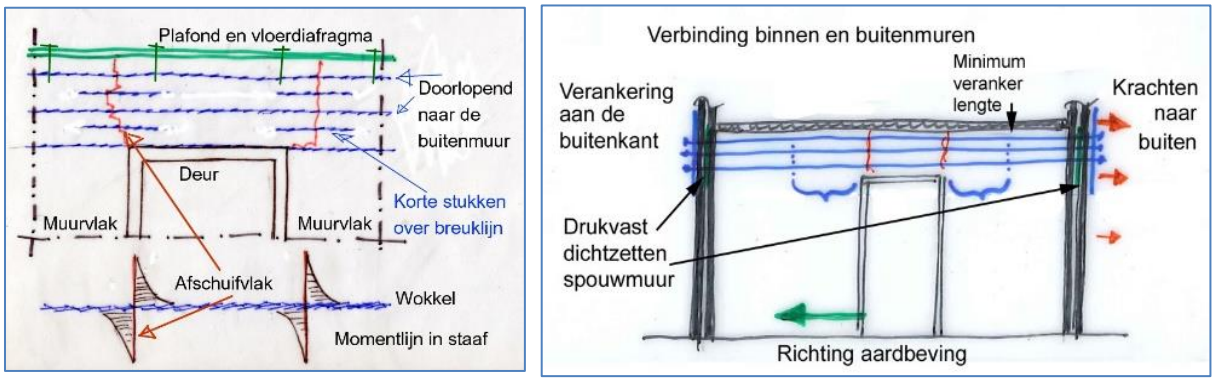
[303] Dit is een hele vreemde maatregel als men weet dat er meerdere gelijksoortige bevingen gaan komen. Het is nog vreemder, omdat men sinds 2014 stelde dat de nieuwe bevingen vele malen sterker zouden worden.

Het versterken van de binnenmuren boven de deuropeningen moet in overeenstemming zijn met de te verwachten aardbevingen. Dat houdt in de meeste situaties ook een versterking van de hele muur in zoals aangegeven in hoofdstuk 6. Misschien ook van de fundering. Wanneer de vloer/fundering onder de binnenmuren meegeeft of verzakt, vanwege de hogere belasting, en de penanten naast de deuren een horizontale kracht ondervinden, kunnen ze iets gaan kantelen, waardoor er horizontale of verticale (ook afschuiving) scheuren vanuit de deurhoeken kunnen ontstaan. Dunne binnenmuren zullen bij een seismische versterking van het diafragma meer belasting ondergaan en moeten daarom tweezijdig versterkt worden.



Figuren 7-11. Versterking van het diafragma. Hierbij zullen binnenmuren meer belast worden en bij zwakke fundering (of onderslag op de etage) gaan kantelen. Trekwapening in de hele strook boven de deuren moet deze bewegingen voorkomen. Deze wapening wordt in de scheurzone boven de deurhoeken ook op buiging belast. Toepassen aan twee kanten van de muur is een goede optie.

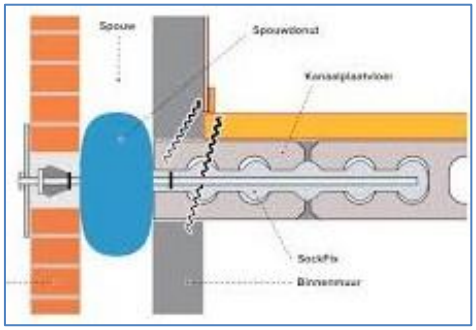
Door het in-frezen en inlijmen van rvs-spiraalwapening (Ø6 mm = 10 kN trekweerstand) kunnen deze muurdelen gerepareerd en versterkt worden. De uiteinden moeten aan de gebouw buitenmuren verbonden worden[304]. Omdat de verticale afschuivingskrachten in het breukvlak loodrecht op de lengterichting van de dunne 6 mm wapening staan, kunnen extra lengtes of een dikkere rvs-spiraalwapening (tot 12 mm) ter plaatse van de breukvlakken in-gelijmd worden.



Figuren 7-12. Versterken boven de deuren. Extra stukken rvs-wapening kunnen over de breuklijn ingebracht worden. De wapening moet aan twee zijden van de muur worden ingebracht.

[304] Verschillende manieren zijn mogelijk. Zie productbladen: https://www.helifix.nl/uploads/pdfs/downloads/ResiTie.pdf en https://www.helifix.nl/uploads/pdfs/downloads/Seismische-verbinding.pdf en https://www.helifix.nl/uploads/pdfs/downloads/RetroTie.pdf

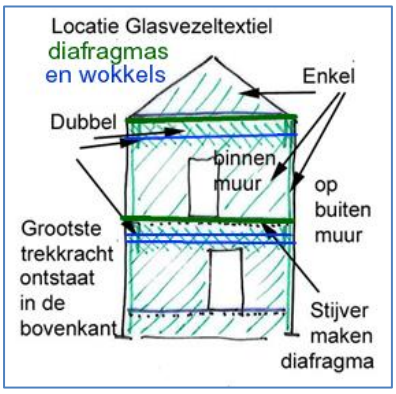
Bij verankering van de wokkels of andere muurankers aan de spouw buitenmuren, moet deze spouw ter plaatse van de verankering drukvast worden dichtgezet, zodat er geen beweging kan ontstaan. Dit kan bijvoorbeeld met HD-PUR schuim. Dit PUR invullen kan ook wanneer de spouw al is nagevuld met enigszins losse isolatiekorrels. De firma Strakee [305] ontwikkelde met de design competitie een drukvaste oplossing met een opvulbare ballon/donut achter het ankerpunt.



Figuur 7-13. Druk-trek vaste verbinding. De firma Strakee ontwikkelde een donut die gevuld wordt met mortel. Eenmaal verhard, creëert deze een strakke druk-trek verbinding tussen de twee spouwbladen ter plaatse van de verankering.

Bij de toepassing van schroef-wokkels maakt de schroef de stijve verbinding tussen de twee spouwbladen, maar dan zijn er meerdere schroeven noodzakelijk. Minder werk dan de donut.

De koppeling van de rvs-wokkel aan een dwarsmuur kan door deze in de hele hoek diep in te frezen en vol te verlijmen. Hoe meer staven in de hoek verlijmd worden hoe sterker de constructie zal zijn.



Figuur 7-14. Wokkels met GVTW. Bij halfsteens (dragende) binnenmuren moet dit aan twee kanten van de muur worden toegepast. Deze GVTW moet doorgezet worden aan de dwarsmuren. Een combinatie met de rvs-spiraalwapening is afhankelijk van het type en de massa van de woning.

Wanneer er grote (deur)openingen in de binnenmuren zijn dient op dezelfde manier als bij raampenanten een verticale wapening langs de openingen in-gefreesd te worden. De wapening moet met de onder- en bovenliggende vloerdiafragma's verbonden worden. Bij woningen die een gemeenschappelijke tussenmuur hebben, zijn deze muren goed bestand tegen lichte aardbevingen. De binnenmuren hoeven dan slechts boven de deuren de aangewezen versterking te hebben.

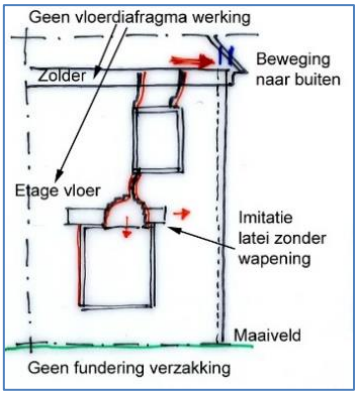
7.5. Imitatie lateien en togen zonder wapening

In de beginperiode van het gebruik van gewapend beton was het in de mode om namaak lateien boven de ramen te maken. Deze bestaan uit sierpleisterwerk en hebben geen interne wapening.

In de onderstaande *Figuur 7-15* is een extreem geval te zien van deze situatie met een wijkende buitenmuur. Aan het balkanker is te zien dat de balklaag van de eerste etage loodrecht op deze buitenmuur staat. Zonder vloerdiafragma is er weinig of geen verbinding in het vlak van de muur, bijvoorbeeld wanneer de planken van die vloer gewoon gespijkerd zijn. De kapconstructie kan ook een zijwaartse druk op de muurplaat uitoefenen. Door het gebrek aan de twee vloerdiafragma's (eerste etage en de zolder) en gebrek aan treksterkte in de muur, beweegt het raam en het muurpenant op de eerste etage naar buiten[306]. De ongewapende rollaag boven het kozijn zakt dan door.

[305] Een speciaal ontwikkelde optie is de spouw-donut van Strakee, die de spouw ter plaatse van de vloerbalk stevig dichtzet en zo verankering van het vloer diafragma aan beide muren bewerkstelligd.
[306] In dit geval zag het gebouw er slecht onderhouden uit met verweerde kozijnen en doorgezakt dak.

Bij dit soort schade kan men zien wat de oorspronkelijke bouwmethode was en begrijpen waarom deze niet bestand is tegen seismische belastingen.



Figuren 7-15. Geen echte latei. Door gebrek aan vloerdiafragma's en treksterkte in de steens-muur beweegt de dwarsmuur naar buiten.

Om deze muur duurzaam te repareren is het niet voldoende om een paar wokkeltjes in te metselen, maar zullen om te beginnen de twee vloerdiafragma's versterkt moeten worden en goed aan de steens buitenmuren verbonden moeten worden.

7.6. Verduurzamen, muurherstel, oplappen of slopen?

Wanneer een gebouw meerdere gebreken vertoont moet overwogen worden of deze economisch gesproken gezamenlijk te herstellen zijn en het gebouw versterkt en tegelijk verduurzaamd kan worden. Voor het verduurzamen zijn een groot aantal maatregelen relevant; Zie Hoofdstuk 12.

Herstel? De brede scheurvorming kan alleen worden weggewerkt als de scheuren helemaal worden uitgehakt, de muur teruggedrukt[307], trekwapening in de gevel en rondom de hoek ingebracht, en tenslotte de uitgehakte plekken opnieuw worden ingemetseld.

- Gezien de status van de kozijnen (verrot) zouden er dan nieuwe goed isolerende kozijnen, ramen en ruiten geplaatst moeten worden.
- Bij de creatie van vloerdiafragma's zullen de binnenmuren versterkt moeten worden en aan de steens buitenmuren verbonden.
- Ofschoon de fundering nu geen zetting vertoond, kan het noodzakelijk zijn dat deze na de creatie van de vloerdiafragma's die fundering plaatselijk wel verbreed moeten worden.
- In woningen van vóór 1940 zitten meestal rieten pleisterwerk plafonds die als activiteit bij het maken van de vloerdiafragma's ook verwijderd moeten worden (brandgevaarlijk).
- Na de structurele verbeteringen van muurherstel zal de buitenschil binnenzijdig geïsoleerd moeten worden tot minimaal Rc $\geq$ 4,7 m^2.K/W. Toegevoegde dikte ≈ 15 cm.
- Dakisolatie tot minimaal Rc $\geq$ 6,3 m^2.K/W, en wellicht het vernieuwen van de dakpannen en goten of toepassing van integrale PV of PVT-panelen.
- Bij verdikking van de muren aan de binnenkant wordt vaak de inrichting van de badkamer, toilet en keuken of het trappenhuis ook anders.
- In de meeste gevallen houdt dat ook het vervangen van elektra en CV en waterleidingen in.

Bij elkaar genomen een flinke operatie die in de meeste gevallen wel een jaar duurt en meer kost dan de waarde van de woning (zonder de grond). Als het geen monument is, dan is voor een laagwaardige naoorlogse woningwetwoning vaak de conclusie: slopen en nieuwbouw.

Oplappen? Het uitgezakte stuk boven het raam zal sowieso opnieuw gemetseld moeten worden, samen met het inbrengen van een latei- en lintvoegwapening.

[307] Het terugdrukken van een buitenmuur die geweken is, is geen courante oplossing. In de meeste situatie zal de hele muur gesloopt moeten worden en vanaf de fundering opnieuw worden opgebouwd.

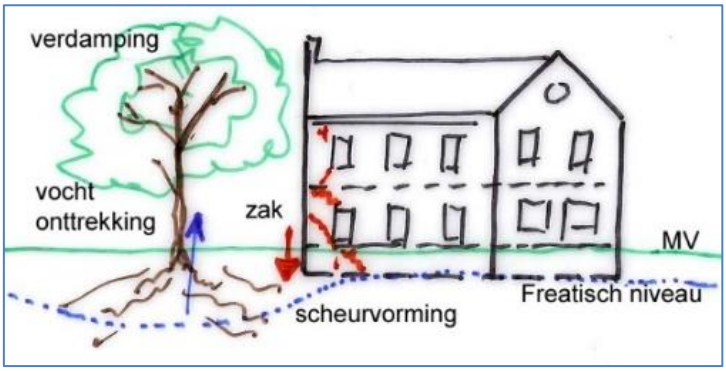
Boven de ramen op de eerste etage kan met uithakken en opnieuw inmetselen met lintvoegwapening een zichtbaar litteken in de muur voorkomen worden, maar de vloerdiafragma's moeten toch versterkt en aan de binnen- en buitenmuren verbonden.

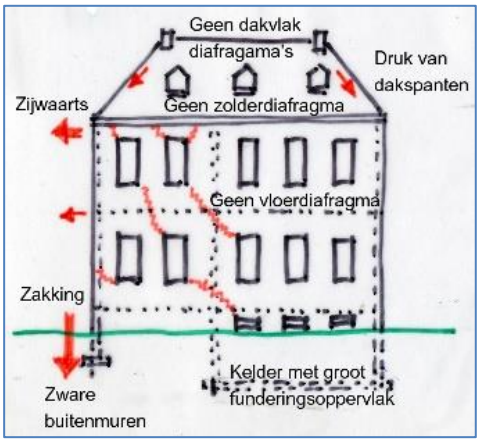
- Met de te verwachte maximale aardbeving van PGAg < 0,05 gaat het hoofdzakelijk over muurherstel, maar wel zodanig dat deze tegelijkertijd versterkt wordt.
- Met grondonderzoek en analyse van de binnenmuren kan het mogelijk zijn dat het versterken van de fundering achterwege kan blijven.
- Alle andere verduurzamingsmaatregelen uit de bovenste lijst blijven relevant.

De besluitvorming zal afhangen van de financieringsopties en in hoeverre het constructief en thermisch verduurzaamde gebouw nog een tweede leven van >100 jaar kan garanderen.

7.7. Geen latei maar wel funderingsproblemen

In het Hoofdstuk 4 worden verschillende funderingsproblemen aangegeven die leiden tot scheuren in de gevels en die verergeren door trillingen en zettingen.

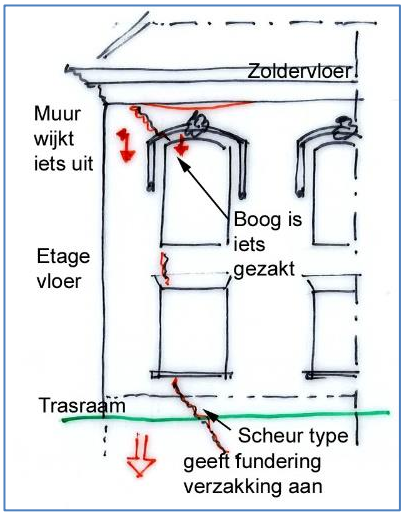




Figuren 7-16. Fundering verzakking. Door vocht onttrekking door boom. Verzakking kan ook vanwege verschillen in draagkracht t.g.v. een kelder onder een gedeelte van het gebouw.

In het volgende voorbeeld met toog is de verzakking van een kant van het gebouw de oorzaak. Door gebrek aan een goed verbonden zolderdiafragma, is de bovenkant gaan uitwijken en zakken.

Figuren 7-17. Hele gevel beoordelen.
De togen hebben geen wapening en drukken zijwaarts.
De scheur loopt langs het raam en door de toog.
Tussen het raam van de etage en de begane grond en onder het begane grond raam diagonaal naar het ventilatierooster.

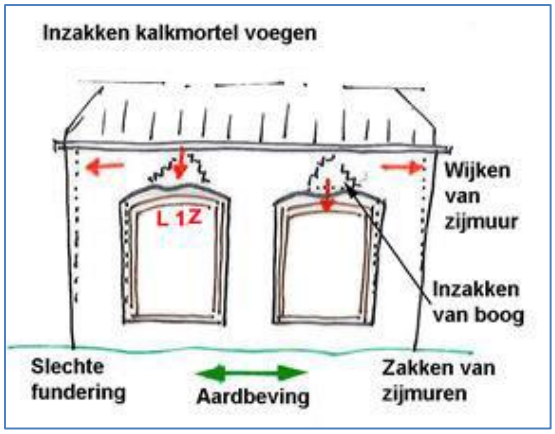


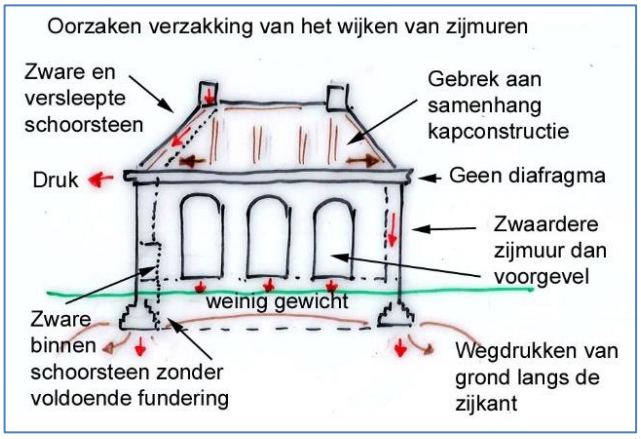
De oorzaak van de scheurvorming boven de toog is hier hoofdzakelijk het verzakken van de fundering t.g.v. het gewicht van de kopgevel en eventueel vocht onttrekking door de bomen aan die kant.

Door een overbelasting op de grond, of door vocht-onttrekking door een boom, is bij de linker gevel een zetting/inklinking ontstaan; in dit geval moet goed bestudeerd worden wat de oorzaak is. Wellicht geven grondboringen vlak naast de fundering een beter inzicht. Vóór het repareren van de toog is het noodzakelijk dat deze linker gevel van het gebouw beter gefundeerd wordt. Bij een verandering van het belastingpatroon van de binnenmuren (door de aanleg van een vloerdiafragma) dienen ook die funderingen verbreed te worden. In het slechtste geval moet de fundering van het gehele gebouw, inclusief de binnenmuren, verbeterd worden vóórdat met over verdere constructieve verduurzaming kan praten. Als rondom het gebouw een doorgaande lintvoegwapening wordt ingebracht, is zonder nieuwe bevingen extra versterking wellicht overbodig en kan het gebouw verder alleen thermisch en installatietechnisch verduurzaamd worden.

7.8. Kalkmortel metselwerk

Oudere gebouwen van vóór 1900 die met kalkmortel zijn gemetseld hebben geen met wapening versterkte lateien, maar boogconstructies of een toog boven de ramen. Deze gebouwen zijn in de provincie Groningen ‘op staal’ gebouwd. De kleigrond onder die funderingen kan samendrukken en ontwateren door de trillingen van zwaar verkeer, een slecht gebalanceerde wasmachine of aardbevingen, in combinatie met de continue druk van het gebouw zelf. Door het zeer langzaam verzakken van de buitenste steens-muren ontstaat er na vele jaren rek in de tussenliggende gevels en gaan deze vervormen op de zwakste plaats, namelijk boven de raambogen, omdat de zoldervloer de buitenmuren niet bij elkaar houdt (geen diafragma).





Figuren 7-18. Rentenierswoning uit 1800. Deze is ‘op staal’ gefundeerd. Met steens-muren in kalkmortel gemetseld. Het metselwerk vervormt langzaam (kromme voegen) en breekt uiteindelijk. Naast de hogere zijmuurbelasting dan de voorgevelbelasting, kan een uitgedroogde kapconstructie de zijmuren ook naar buiten drukken. Dat er aan de linkerkant meer vervorming van de raamboog is kan te maken hebben met een zware inwendige schoorsteen, die onvoldoende is gefundeerd. Een EVS-inspectie binnen in dat gebouw kan daar duidelijkheid over bieden.

Op de rechter foto is te zien dat de voegen boven de bogen golven en in schuine lijn zijn gaan openstaan en het metselwerk samen met de sier-boog iets is ingezakt. Bij een aardbeving zal de links-rechts beweging van het pand de buitenmuren verder doen wijken en het centrale gedeelte van het metselwerk verder naar beneden komen. De fundering van de voorgevel zal vanwege haar grote ramen, en de rechts-links richting van de balklaag, minder grondbelasting geven dan de zijgevels.

De beweging naar buiten kan ook ontstaan zijn vanwege het uitdrogen van het hout in de spanten, of in combinatie met een zware gemetselde en versleepte schoorsteen aan de binnenkant.

Een andere oorzaak van het wijken van de zijgevels kan zijn dat bij de bouw de grond ter plaatse van het gebouw is opgehoogd en dat deze bij de zijgevels zijwaarts meer is weggedrukt dan onder de voorgevel. Dit kan geconstateerd worden door het hele terrein te beoordelen en/of een gat langs de fundering te graven. Samenvattend kan worden gesteld dat het niet zonder meer duidelijk is wat precies de oorzaak is van de scheuren boven de toog, of de verzakking van deze raambogen. Een EVS-inspectie binnen in dat gebouw kan daar duidelijkheid over bieden. Het alleen versterken van de latei en het zoldervloerdiafragma zal een onvoldoende oplossing zijn.

Bij het beoordelen van scheuren in lateien, of muurherstel rondom de lateien is het belangrijk dat er verder naar het gebouw gekeken wordt, vóórdat men tot lateireparatie overgaat.

7.9. Geen latei, maar geen funderingsproblemen

Een zeer groot aantal woningen uit de eerste helft van de 20ste eeuw hebben geen gewapende lateien, maar een rollaag die op het kozijn ligt, een hanenkam (iets zelfdragend) en een toog of boog; de laatste twee veroorzaken zijwaartse druk in de gevel.

Figuren 7-19. Latei scheuren. Boven: Rollaag. Onder: Boog *Boven: Hanenkam. Onder: Toog*

Al deze boven-het-raam constructies van deze oudere woningen hebben scheuren die duiden op verwijdering van de muur boven het raam. Bij de toogconstructie is er bovendien een zijwaartse druk van de toog op de muurpenanten.

Vanwege de meestal korte afstand tussen de bovenkant van het kozijn en de dakgoot of zoldervloer zonder diafragmafunctie, en zonder enige trekwapening in de muren, ontstaan hier de eerste scheuren. Bij muren die al enigszins op spanning staan, zal een korte felle schok van een geïnduceerde aardbeving resulteren in een scheur en verwijdering die niet meer dicht te drukken is.

Figuren 7-20. Boven. Nep-latei. Onder: verwijderd en gespleten. Boven. Gebroken en verzakt. Onder. Verzakt.

Alvorens deze gebreken in de gevels te herstellen is het noodzakelijk om een plafond-zoldervloer diafragma aan te leggen en alle muren rondom intensief aan dat diafragma te verbinden. Daarna kan in de lintvoegen (achter de gootboord) rvs-lintvoegwapening in de muren worden aangebracht.

De hierboven getoonde scheuren geven aan dat het “repareren” van alleen de latei die door een aardbeving (verder) is gaan scheuren, niet de oplossing is. De basisoorzaak van de schade ligt in de oude bouwmethoden en aan het licht gebracht door de aardbeving. Voor het aanpakken van deze problemen moet er dus enerzijds een beter gebouwonderzoek gedaan worden om te bepalen wat precies de oorzaken zijn en anderzijds moet er een acceptabel financieringsmodel zijn die de woningeigenaren in staat stellen om de gebouwen te verduurzamen.

Bij de volgende oude boerderijwoning met steens buitenmuren (muurankers buiten) zijn bij de eerste etage oude ingevulde scheuren zichtbaar (wit) die het al lang geleden het inzakken van het metselwerk boven de toog aangeven, maar ook een verwijding tussen de twee gebouwdelen én het uitbuiken van de hele gevel.

Figuren 7-21. Oude gebouwschade. Deze is verergerd door bevingen. Links: Aan de kromme goot is te zien dat ter plaatse van het muuranker het rechter muurgedeelte naar buiten is gekomen en het linker gedeelte met de ramen is verzakt. Waarom het muuranker naar buiten is, gekomen kan alleen van binnen geconstateerd worden.
Rechts: Dit is de gevel die rechts van de linker foto op die gevel staat. Ook hier is aan de nagevulde voegen te zien dat daar de buitenmuur verwijderd en/of verzakt is. De zijwaartse druk van de kap-sporen kan hieraan bijgedragen hebben. Door trillingen van aardbevingen zal de verzakking/verwijdering doorzetten. Door het inbrengen van rvs-lintvoegwapening rondom het gebouw, in combinatie met sterke vloerdiafragma's, is dit proces grotendeels te stoppen. Waarschijnlijk is er ook een verbetering van de fundering nodig.

Met deze twee foto's wordt aangegeven dat de eerste identificatie via scheuren rondom de ramen en lateien is, maar dat voor het verduurzamen veel verder moet worden gekeken.

7.10. Geen wapening in rollaag met scheur middenin

Bij de onderstaande woning uit 1980 zit een scheur (verwijding) midden in de rollaag van een zijraam. Ogenschijnlijk als het gevolg van het bovenliggende balkje van de goot, die de gemetselde band extra laag maakt en daardoor zwak. Dichtsmeren is een optie, maar wanneer de voorgevel van het gebouwtje en de binnen balklaag ook wordt bekeken blijkt dat een onvoldoende maatregel.

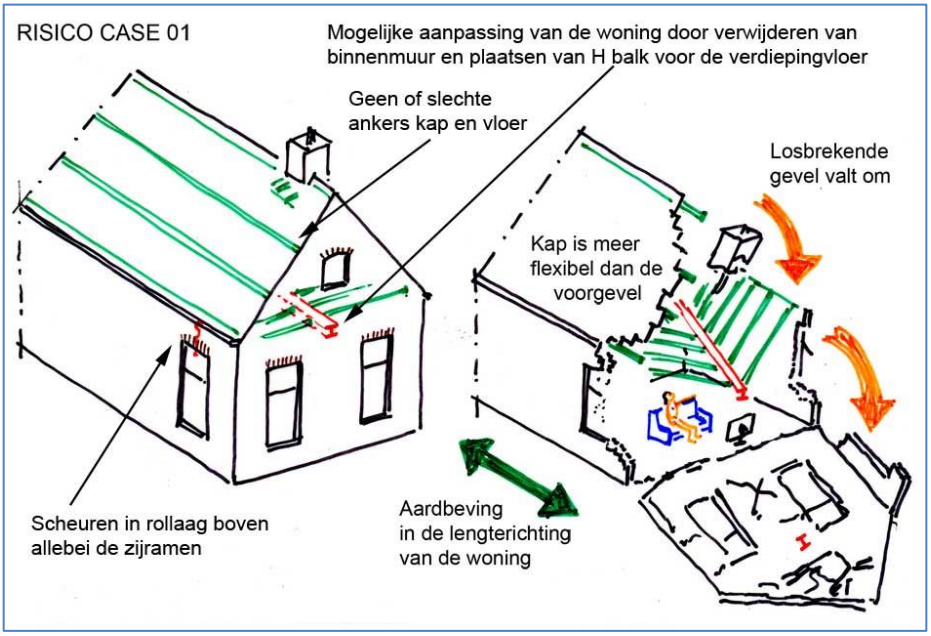
Figuren 7-22. Scheur in de rollaag. De schets geeft aan wat het effect van een aardbeving is op een laag en doosvormig gebouw met de vloerbalken loodrecht op de richting van de aardbeving, zonder diafragma.

De schets is het aanzicht van deze zijgevel.

Bij een aardbeving in de lengterichting van de kap (loodrecht op de voorgevel schets *Figuur 7-23* beneden), zal de flexibele houten kapconstructie de top van de kopgevel naar voren en achteren doen bewegen, waarbij het metselwerk van de voorgevel ter hoogte van de verdieping vloer horizontaal zal breken. Hier is er dus een verankeringsprobleem van de voorgevel.

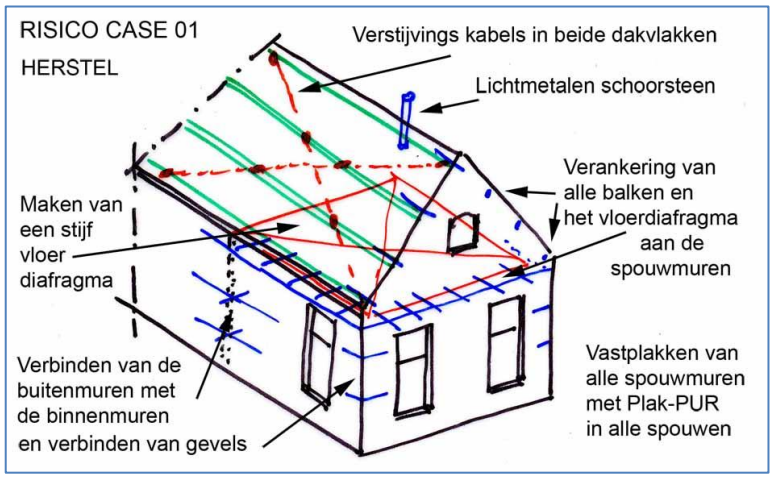
Bij onvoldoende verankering van de nok, de gordingen, muurplaat en de verdiepingsvloer, kan de kopgevel bij een aardbeving van enkele seconden naar buiten vallen.[308] In dit geval zullen de niet-verankerde nokbalk en gordingen uit de binnen spouwmuur getrokken worden. Op basis van de bouwmethode uit die periode is dit geen ondenkbare situatie.

In dit gebouw werden twee kleine voorkamers tot een grotere kamer samengevoegd en de vloerbalken in een onderslagbalk gelegd. Wanneer de later aangebrachte metalen onderslagbalk alleen is opgelegd in de spouwmuur en binnenmuur aan de andere kant, en niet is verankerd kan de gevel wegvallen. Bij het verliezen van de ondersteuning van de schoorsteen door dakbalken die in de kopgevel waren opgelegd zal ook de schoorsteen naar beneden komen.



Figuur 7-23. Wegvallen gevel.
Een klein scheurtje in een schijnbaar weinig belangrijke rollaag. Deze scheur in de zijkant van de woning is in dit geval een aanwijzing dat er meer aan de hand is. Bij onvoldoende verankering kan de hele gevel wegvallen.

Het nader onderzoek kan gedaan worden met het bestuderen van de bouwtekeningen. Het kan zijn dat BoWoTo nooit de inwendige aanpassing heeft goedgekeurd. Heel veel verbouwingen worden nooit gemeld, maar bij seismische belastingen kan een verkeerde verbouwing risico's opleveren. Bij gebrek aan tekeningen en een blijvende onzekerheid over het nummer en de kwaliteit van de voerbalkankers zal het plafond en de verdiepingsvloer opengemaakt moeten worden.



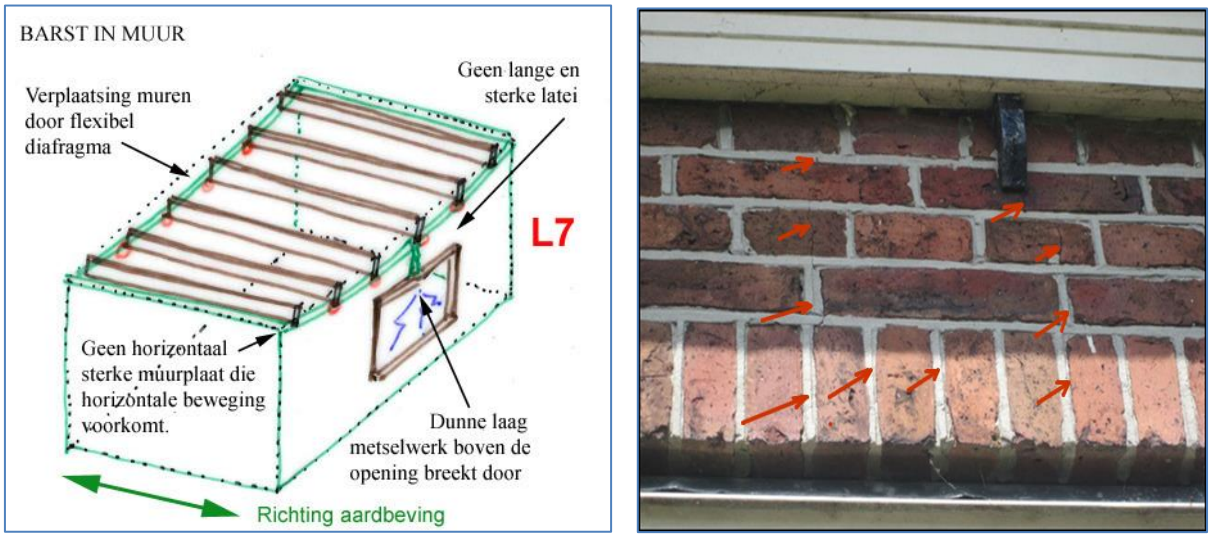
Figuur 7-24. Versterking op zes manieren. Allemaal noodzakelijk:
- *A. Het verwijderen van de schoorsteenmassa.*
- *B. Het maken van vloerdiafragma.*
- *C. Het verstijven van de dakvlakken.*
- *D. Verbinden van gordingen en nok aan de voorgevel.*
- *E. Het volledig koppelen van het vloerdiafragma aan alle muren.*
- *F. Toepassing van een dubbele en doorgaande trekwapening in verschillende lintvoegen boven de rollaag en rondom het gebouw.*

[308] Dit is een onwaarschijnlijke situatie met de lichte aardbevingen in Groningen, maar de schets geeft het principe aan van wat er op de lange duur kan gebeuren als er niet tijdig wordt versterkt.

Dit voorbeeld laat zien dat er bij verbouwingen, in combinatie met oude en nieuwe bouwfouten, risicovolle situaties kunnen ontstaan, terwijl er van buiten slechts een kleine scheur te zien is. Het goed bouwtechnisch analyseren blijft daarom een noodzaak voor de eigenaar en de aannemer.

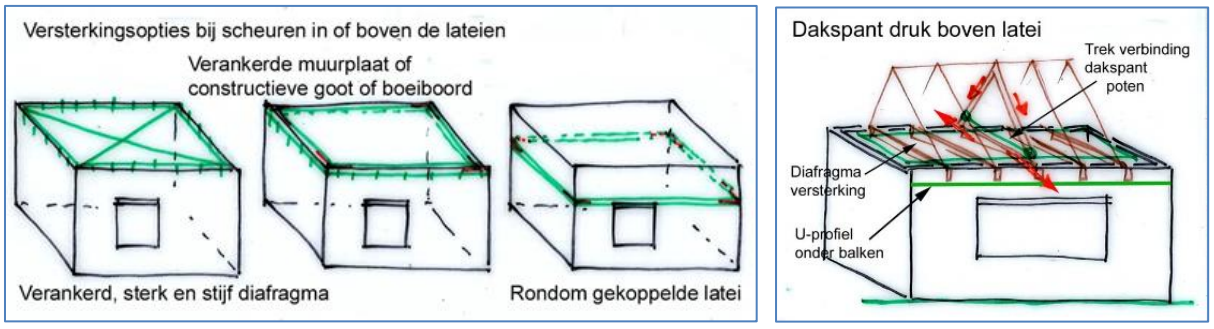
7.11. Slappe latei in het vlak van de muur

Bij krachten loodrecht op het vlak van de muur kan zonder stijf dakvloer-diafragma midden boven de raamopeningen een scheur in de lateizone ontstaan. Een lange latei of lage muurstrook die in het midden van de lange muur zit, zal daarbij iets vervormen. Een latei met wapening zal na een kleine elastische vervorming terugkeren naar de oorspronkelijke positie. Echter, er zal een haarschuur in de beton en het bekledende metselwerk achterblijven.



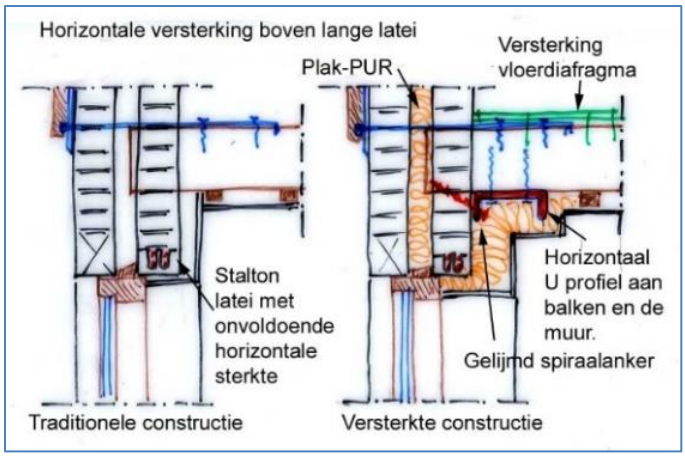
Figuren 7-25. Haarscheuren in het midden. Ten gevolge van horizontaal uitbuigen. Door gebrek aan een stijf vloerdiafragma kan de gevel uitbuigen. Bij een flexibele kapconstructie is er een extra horizontale belasting op de muurplaat. Dit is een steens-muur (muuranker) waarbij de vloerbalk de horizontale druk uitoefent.

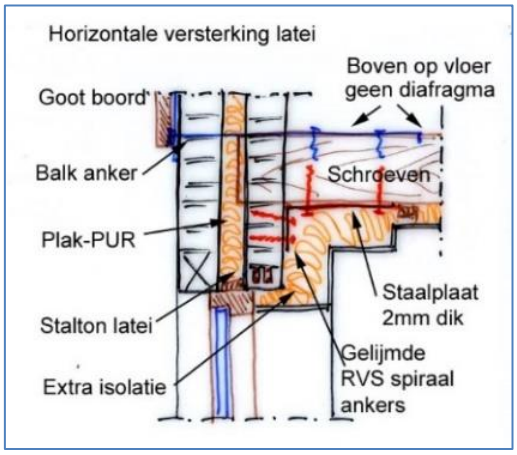
Een sterk en stijf vloerdiafragma zal de krachten van de muurbelasting overbrengen naar de zijmuren van het gebouwtje. De werking van het vloerdiafragma wordt uitgelegd in Hoofdstuk 8.



Figuren 7-26. Rondom gebouw wapening. Samen met een sterk diafragma voorkomen deze scheuren.
<u>Links.</u> Door ringbalken of wapening aan te brengen kan het uitbuigen van de muren ook vooromen worden.
<u>Rechts</u>: Gebrek aan een trekverbinding aan de basis van de kapspanten zal een horizontale druk op de muur uitoefenen. Deze kracht kan vergroot worden door een zware schoorsteen op het dak.

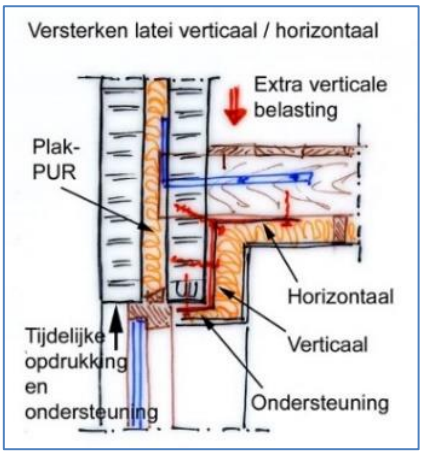
Bij het samenvoegen van twee ramen tot een groot panoramaraam, is het belangrijk dat de latei niet alleen in de hoogte voldoende sterk is maar ook in de breedte. Het dakspant kan wellicht de eigen spatkrachten opvangen, maar langs de muur moet horizontaal een versterking worden aangebracht.





Figuren 7-27. Oude en nieuwe situaties. Bij het plaatsen van een versterking aan de binnenzijde. <u>Midden</u>. Het U- profiel geeft weerstand tegen horizontale uitbuiging.
<u>Rechtsboven</u>. De dikke metalen plaat kan zowel onder als boven op de balklaag bevestigd worden en geeft een versterking van het diafragma en verbinding aan de muur.

<u>Rechts</u>: Door de metalen plaat vanaf de dag van het kozijn naar boven door te zetten en horizontaal aan het diafragma te maken, geeft deze ook versterking tegen het doorzakken t.p.v. het kozijn.



In de volgende situatie zijn een aantal factoren aanwezig die tegelijkertijd meespelen en die allemaal te maken hebben met de bouwmethode uit de periode (1920), gecombineerd met een beving loodrecht op het vlak van de gevel.

Figuren 7-28. Raam en overdekte entree. Diagonaalscheur vanuit raamhoek linksonder naar etageraam rechts vanwege het doorzakken van de hoek.
<u>Rechtsboven:</u> Detail van het uitbreken van de latei. Ook hier ontbreekt de functie van een eerste etage vloerdiafragma.
<u>Rechts:</u> Detail van de uitgebroken bakstenen.

De foto's zijn van matige kwaliteit vanwege de beperkte middelen van de schade inspecteurs in 2012.

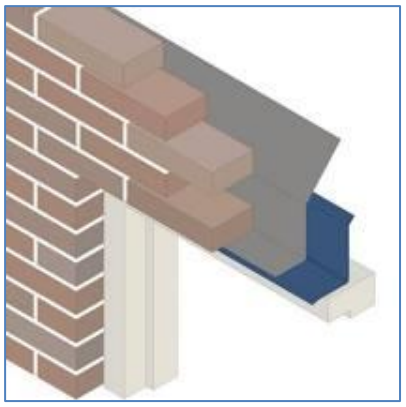
Op basis van de oude diagonaalscheur vanuit de linkerhoek van het grote raam naar de rechter onder hoek van het kleine rechterraam, is te constateren dat de spouwmuur over het grote raam al eerder een verzakking heeft ondergaan, hetgeen duidt op een zwakke latei of zelfs helemaal geen latei. Geen latei is alleen mogelijk wanneer de balklaag parallel aan de voorgevel loopt. Het gevelstuk direct boven het grote raam is door een de aardbevingsbelasting loodrecht op de muur naar buiten gedrukt, waarbij de linkerhoek van de gevel ongeveer 2 cm naar buiten is afgeschoven.

De volgende bouwkundige aspecten kunnen worden genoemd:

- Waarschijnlijk geen latei boven het grote raam.
- Alleen een onderslagbalk bij de overdekte entree.
- Portiek draagt links op een houten kolom aan het kozijn en aan de buitenkant op een metselwerk kolom. Deze kolom kan iets zijn ingezakt.
- Etagevloer met balken parallel aan de voorgevel.
- Geen vloerdiafragma waar de buitenmuur aan is verbonden.

Het terugdrukken van de gevel en dichtsmeren van de scheuren is géén goede oplossing.

✓ Het hele gevelsegment verwijderen en de etagevloer als verbindend diafragma uitvoeren.
✓ Een nieuw aan te leggen latei dient links >0,5 m door te lopen en rechts op de houten kolom met de portiekbalk verbonden te zijn. Versterking met een verticaal metalen profiel is een optie.
✓ Over de gehele breedte van de gevel moet wapening ingebracht worden.



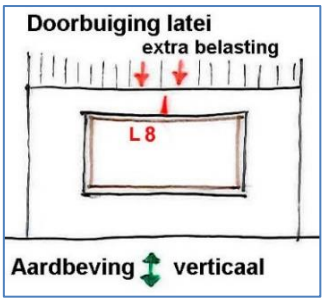
Figuren 7-29. Muurversteviging met wapening.
Het aanbrengen van een de latei in een gevel wanneer deze opnieuw wordt opgemetseld. Treksterk muur-weefsel in de binnen en buitenmuren, metaalgaas of draad, prefab betonnen lateien met of zonder rollaag en verschillende soorten metalen lateien.

Wanneer het buitenspouwblad goed aan het binnen spouwblad wordt verankerd en het binnen spouwblad aan het vloerdiafragma, zal de gevel voldoende sterk zijn. Na de structurele verbetering zal de gevel ook nog thermische isolatie moeten krijgen tot minimaal de nieuwbouwnorm.

In het bovenstaande geval moet ook bekeken worden of/waarom het rechter gevelgedeelte verzakt is. Het kan zijn dat de ene metselwerk pilaar van het portiek afzonderlijk gefundeerd is (en te klein). Wanneer er geen doorgaande balkverbinding met de overige fundering van de woning is, dan zal eerst de fundering van die kolom verbeterd moeten worden.

7.12. Doorgezakte latei

De twee onderstaande foto's zijn van een doorgezakte latei. Dit is te concluderen uit de doorbuiging van de bovendorpel van het raamkozijn, en omdat de scheur aan de onderkant wijder is dan daarboven. In dit geval is er direct onder de dakgoot geen haarscheur meer te zien (van dichtbij).



Figuren 7-30. Verhoging gebouwbelasting.
In het epicentrum kunnen verticale trillingen een hogere PGA hebben dan de horizontale. Dit veroorzaakt een extra verticale belasting op de constructie. Het is waarschijnlijk dat er een dakspant midden boven het kozijn draagt. Dat is dan van binnen te controleren.

De directe oorzaak van de scheur is de doorzakking van de latei (bouwfout), eventueel versterkt door een aardschok. De onderliggende oorzaak kan bijvoorbeeld ook een van de volgende zijn:

- Wijziging van twee kleine ramen en een penant van die voorgevel naar een groot raam, waarbij onvoldoende versterking van de latei plaatsvond.
- Het maken van een groot raam door een dragende middenstijl te verwijderen.
- Het in gebruik nemen van de vliering en de nieuwe zoldervloer meer belasten.
- Het vervangen van lichte Oudhollandse dakpannen met zwaardere betondakpannen.
- Het toevoegen op het pannendak van een partij zonnepanelen.[309]
- Het doorbreken van een stijf dakvlak met nieuwe dakramen (hierboven niet het geval).
- Extra trillingen van verkeer en aardbevingen.

Ofschoon de woning oorspronkelijk aan de toen geldende bouwverordening voldeed, kan dit na een wijziging van de constructie niet meer het geval zijn. De kleine verticale component (< 10%) van een lichte aardbeving zou geen invloed mogen hebben op de draagkracht van de constructie. Als dat wel het geval is door wijzigingen van de constructie, dan zou men kunnen spreken van een 'eigen gebrek'.

Door de aardbevingen worden dit soorten tekortkomingen van een vroegere bouwmethode of gebruiken zichtbaar. Een oorspronkelijk goed ontwerp kan door een ondeskundige aanpassing ook zichtbaar worden. Niet alle aanpassingen worden aan BoWoTo gemeld, of door BoWoTo gezien of goedgekeurd.

[309] In 2015 worden op grote schaal zonnepanelen op daken in de Groningse aardbeving regio geplaatst. Dit houdt een lichte verzwaring van het dak in. Bij een andere jaren '60 woning met een te slappe dakconstructie veroorzaakte een grote partij PV-panelen een additionele zijwaartse druk op de buitenmuur.

7.13. Muur versterkingsopties boven ramen

De meest eenvoudige methode is die van het inbrengen van lintvoegwapening die doorloopt in de hele gevel én om de hoek, zodat de haaks erop staande gevel ook verankerd wordt. Afhankelijk van de massa en de hoogte van het gebouw kunnen er meerdere rvs-spiraalwapeningen in vastgelijmd worden. Omdat de aanhechting tussen de wokkels, epoxylijm en baksteen bepalend is voor de overdrachtssterkte (Ø6 mm = 10 kN = 1000kg) is het gunstiger om meerdere dunne wokkels toe te passen dan enkele dikke. In een lintvoeg kunnen direct boven de ramen bijvoorbeeld twee dunne wokkels worden gelijmd.

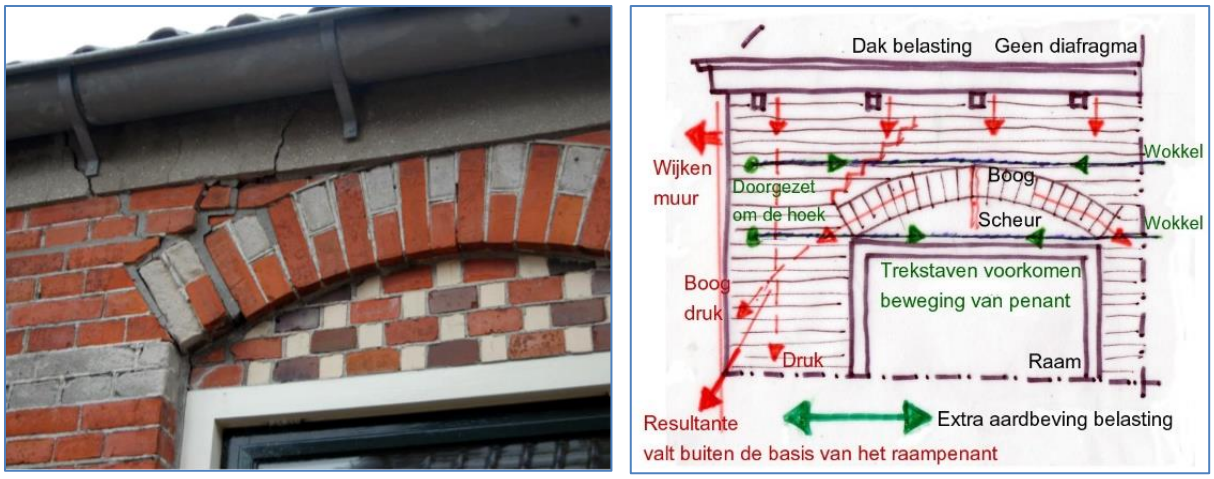
Bij een PGAg < 0,05 moet 5% van de gebouwmassa berekend worden voor de belasting. Te rekenen van minstens een meter onder de wapening en van de gehele gebouwmassa boven de wokkels.

Figuren 7-31. Lintvoegwapeningen ramen. Afhankelijk van de architectuur van het gebouw en de constructiedetails boven de ramen, kunnen in elke lintvoeg een of twee wokkels in die lintvoegen gelijmd worden.
<u>Boven</u>. De problemen van de gemetselde topgevel werden al eerder besproken.

De toog- of boogconstructie boven ramen werkt goed in een statische situatie wanneer het penant naast dat raam <u>van boven zwaar belast wordt,</u> zodat de resultante van de zijwaartse druk en de verticale druk binnen de basis van het raampenant valt. Bij weinig bovendruk, brede ramen en smalle penanten als geveleinde is dat zelden het geval. De lintvoegwapening houdt de gevel boven de ramen bij elkaar. Deze wapening mag dus niet onderbroken zijn.

Alleen weerstand tegen afschuiving in het oude metselwerk (erg weinig) en de nieuwe trekwapening tussen de verste uiteinden van de boogconstructie voorkomen het kantelen van het raampenant. Metselwerk in de smalle penanten kan de afschuifkracht meestal niet opnemen, zeker niet wanneer deze een korte piekbelasting krijgt door een aardschok[310].

[310] Op basis van deze opmerking zijn de meeste scheuren rond lateien met bogen en togen het resultaat van een tekortkoming in de bouwmethode, en in eerste instantie van de aardschok. De schok toont het probleem.

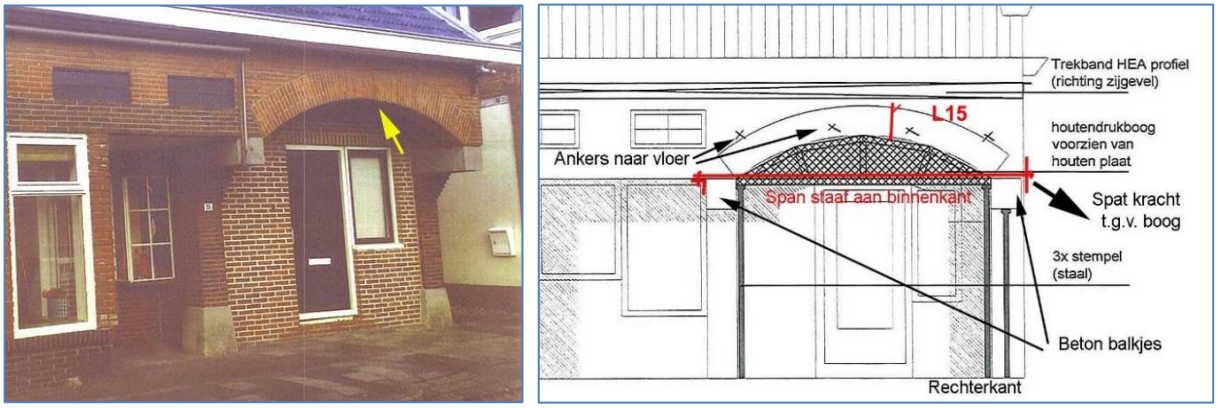


Figuren 7-32. Krachtenresultante buiten basis. Bij veel oude raamontwerpen zal het raampenant naast de boogconstructie onder een afschuifspanning staan. Vanwege verwering, verzakking of trillingen kan de afschuifweerstand in de lintvoegen overschreden worden en gaat het penant wijken. Alleen met trekwapening die naar de andere kant van de ramen en over de gevel doorloopt voorkomt dit.

7.14. Portiekboog

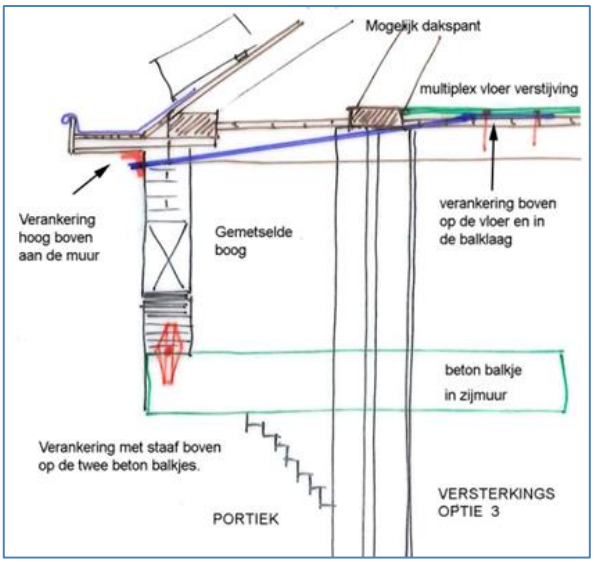
Deze draagconstructie is in de vorm van een gemetselde boog, die aan beide zijden ondersteund wordt door betonbalkjes. Links is de boog zijwaarts gesteund door metselwerk, rechts niet. De boog is in het midden gebarsten met een Λ-vormige scheur (gele pijl). Dit betekent dat de boog is gedaald en het rechter balkje naar buiten is gedrukt.

Deze boog ondergaat door de extra verticale belasting van trillingen zoals van verkeer of aardbevingen een extra spatkracht. De uitkragende betonnen steunbalk aan de open rechterkant is te kort in de zijmuur langs het steegje opgelegd en daardoor onvoldoende in de zijgevel verankerd.



Figuren 7-33. De eenzijdige oplegging. Het betonbalkje kan bij horizontale druk uitwijken. Omdat de oplegging van de rechter ondersteuningsbalk verkeerd is uitgevoerd kan bij het losraken van dat balkje de boog instorten. De eenvoudigste oplossing van dit probleem is het aanbrengen van een trekstang.

Ook kan bij een belasting loodrecht op het vlak van de gevel de gemetselde boog naar buiten wijken vanwege gebrek aan horizontale verankering naar achteren. Dit is ook afhankelijk van de (spat) krachten van de kapconstructie op de boog of muurplaat. Ook in dit geval is verdere inspectie aan de binnenkant noodzakelijk om te beoordelen of dit een risicovolle constructie is. Als de vloerbalken parallel aan de voorgevel lopen dient de trekstang door de vloer aan tenminste twee balken te worden bevestigd en het vloerdiafragma versterkt. Zie volgende schets.



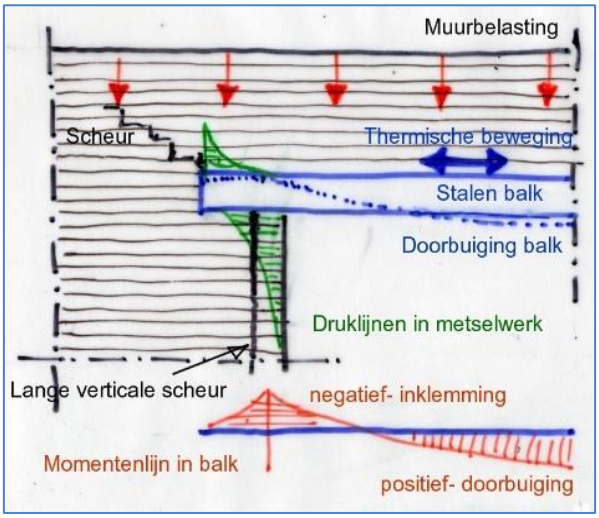
Figuur 7-34. Verankering boogconstructie.
De boog moet tegen het uitbreken aan het vloerdiafragma verankerd worden. Het vloerdiafragma kan gemaakt worden door het opbrengen van een laag multiplex en volledig op alle balken te schroeven. Alle zijden van het vloerdiafragma moeten aan de omringende muren zijn verankerd.

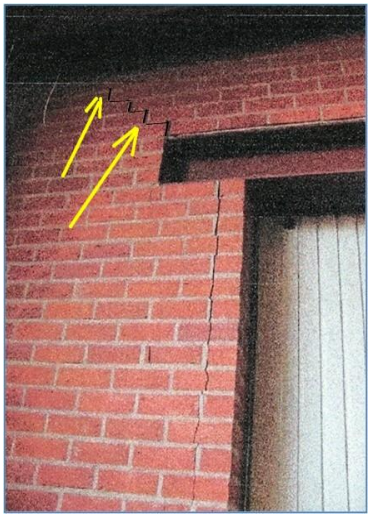
Het groene balkje in de zijmuur wordt aan de onderzijde vastgehouden door een trekstaaf in de gevel.

7.15. Scheuren rondom latei oplegging

Een sterke latei over de binnen- en buitenmuur kan een penant stuktrekken wanneer de binding tussen de korte oplegging van de betonlatei en het metselwerk goed is. Hetzelfde type beschadiging kan voorkomen bij thermische verschillen tussen de latei en het omringende metselwerk. Ook hier zal de muur scheuren op de zwakste plek.

Figuren 7-35. Latei trekt metselwerk los.
Hier ontstaat het begin van de scheurvorming door een verroest anker van een oud deurscharnier. De roest zet uit en breekt de baksteen. De kanteling van het smalle penant is de verdere oorzaak.





Hoge druk, en buig-vervorming.
De stalen balk drukt zwaar op de rand van het metselwerk. Thermische krimp trekt aan de balk en veroorzaakt de verticale scheur.

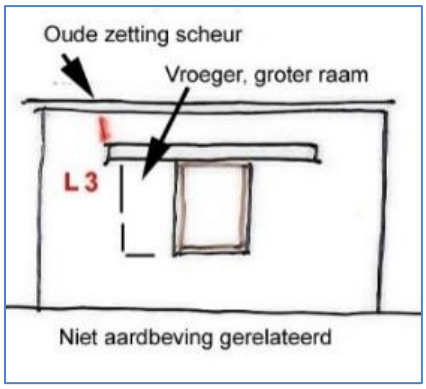
De doorbuiging (inklemmingsmoment) tilt het uiteinde van de balk op en drukt de bakstenen omhoog, waardoor de diaginale scheur ontstaat. Zowel de veriticale als diagonale scheur kunnen bij een slappe balk en een aardbeving dit veroorzaken. Met een drukverdelende oplegging was dit grotendeels voorkomen.

Verschil in de uitzettingscoëfficiënten tussen metaal en baksteen zullen zowel opleggingsproblemen opleveren als baksteenscheuren aan de uiteinden van lange stalen balken. Spanningen die rondom die uiteinden in het metselwerk ontstaan zullen door trillingen omgezet worden in barsten. In veel situaties zijn de metselwerkscheuren al veel eerder ontstaan dan de toename van de aardbevingen.

Figuren 7-36.Thermische uitzetting. Links: Horizontale thermische uitzetting drukt de smalle metselwerk rand naar buiten. Rechts: Het grote verschil in stijfheid tussen de twee metselwerk vlakken en thermische beweging van de balk veroorzaakten de scheuren. In deze situatie zou alleen een balk over de hele gevelbreedte dit hebben voorkomen.

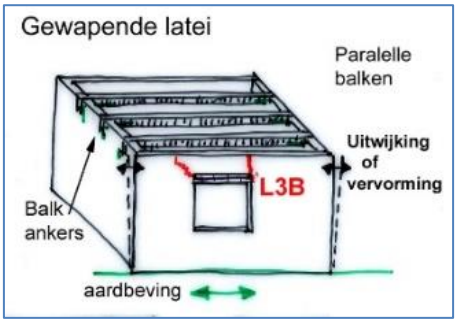
Het nieuwe metselwerk onder de witte betonlatei (*Figuren 7-37*) geeft aan dat het raam is verkleind. De scheur tussen de gootsteun en het einde van de latei was de zwakste plaats van het metselwerk. Omdat de zware betonnen latei nu over een grotere lengte is opgelegd, is het ontstaan van deze scheur door een aardbeving onwaarschijnlijk. Deze scheur is al ontstaan voordat het raam werd verkleind.

Figuren 7-37.
Scheur naar dakrand.
De oude, lange latei is een muurversterking, maar de kleine afstand tot het dak veroorzaakt hier een scheur aan het einde.

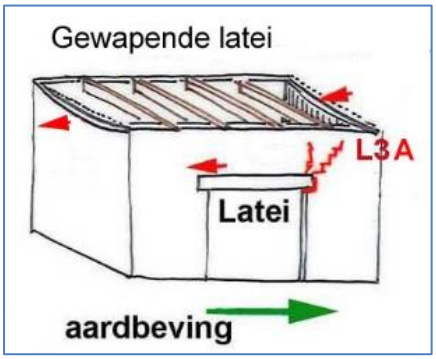


Sinds 1960 - 1970 hebben de ramen en deuren in de buitengevel meestal lateien en is de buitenkant voorzien van een rollaag die aan de latei vastzit. Deze lateien zijn echter uiterst kort opgelegd, waarbij de vertanding meestal alleen op de binnen spouwmuur dragend is.

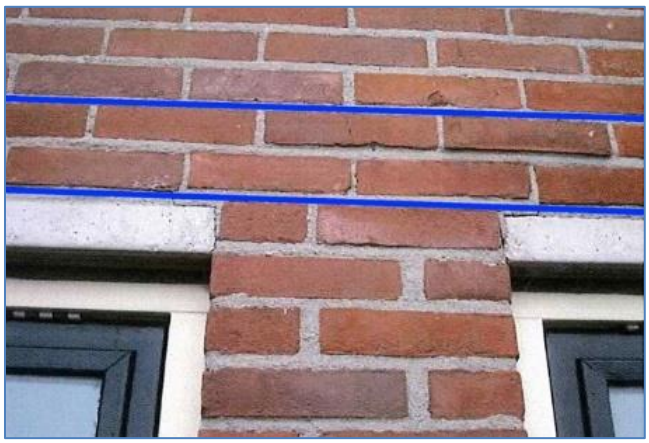
Figuren 7-38. Kort op binnenmuur gelegd.
De rollaag met latei komt van hier los van het buitenspouwblad. De oplegging is meestal niet meer dan een halve baksteen lengte.



Figuren 7-39. Draagt op binnen spouwblad. Hier is te zien dat het buitengedeelte van de latei loskomt van het buiten spouwblad. Bij het binnen spouwblad schuift deze dus af.



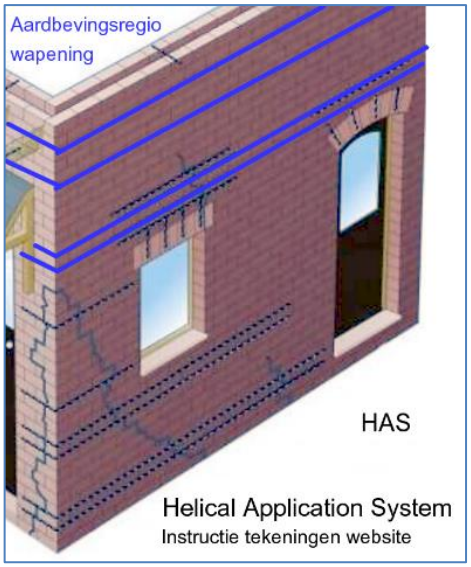
Vanwege de bouwmethode, ook van nieuwe woningen, is de oplegging van lateien minimaal en niet bestand tegen horizontale afschuifkrachten of kanteling. Om scheuren te voorkomen is het verbinden van alle lateien, over de gehele breedte van de gevel noodzakelijk. Dit is het eenvoudigste met het inbrengen van rvs-spiraalwapening in de lintvoegen.

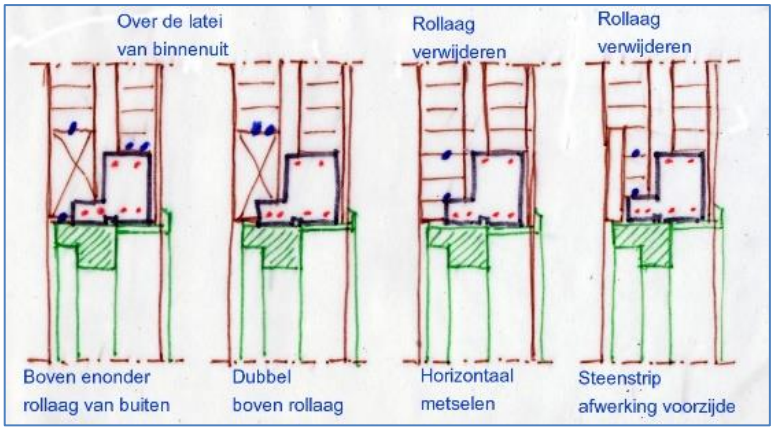


Figuren 7-40. Doorlopende lintvoegwapening. Deze wapening moet zo dicht mogelijk langs de latei lopen. Bij zwak metselwerk zou dit ook van binnenuit zo moeten en door de binnen dwarsmuren lopen. De lintvoegwapening kan aan de dwarsmuren verbonden worden met hulpstukken.

De hierboven schade bij de lateioplegging kan ook veroorzaakt worden doordat een dwars staande binnenmuur tussen de ramen op de eerste etage de buitengevel niet vasthoudt tegen uitbuiging, door belasting loodrecht op het vlak van die gevel. Bij de binnen aansluiting moet dan een barst te zien zijn. De betonnen lateien zijn erg stijf waardoor de muur breekt bij de latei-einden.

Figuren 7-41. Adviestekeningen HAS-systeem. Helical Application System.
Deze tekeningen zijn onjuist in de detaillering van de wapening boven de ramen wanneer het over seismische versterking gaat. De wapening moet dan over de hele gevel doorlopen en de penanten bovenlangs met elkaar verbinden, overeenkomstig de extra toegevoegde blauwe lijnen rechts.



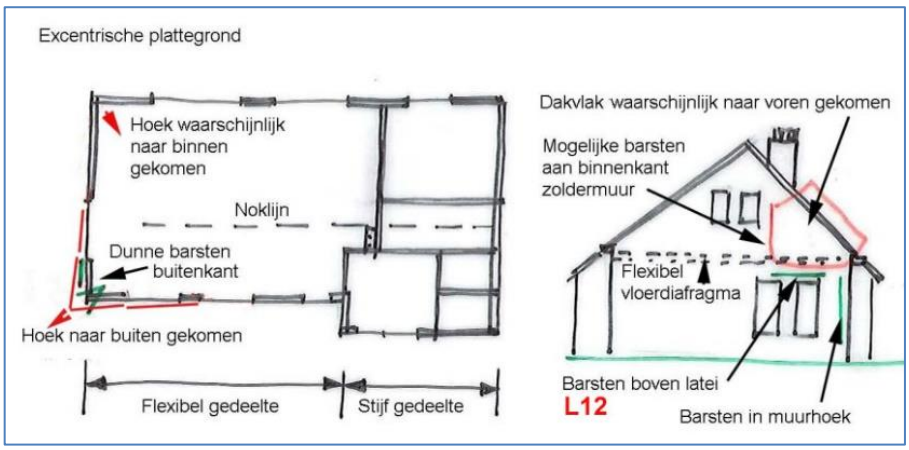


Figuur 7-42. Versterking korte lateien. Toepassing met extra en doorlopende spiraalwapening. Deze kan zowel in de binnen-spouwmuur als de buiten-spouwmuur worden aangebracht.

7.16. Torsie scheuren

Bij een gebouwvorm die in de stijfheid een excentrisch plan heeft, kan boven de openingen een verdraaiing van de muur plaatsvinden. Bij een stijve betonlatei kan het metselwerk boven de latei scheuren. Het onderstaande voorbeeld is een woning met een grote open woonruimte en een houten etagevloer dat geen stijf diafragma vormt. In de achterzijde van het gebouw met de entree, waar verschillende dwarsmuren zitten en minder ramen, is geen beschadiging zichtbaar.

Figuren 7-43. Torsie scheuren. De latei boven het rechterraam, het tweede raam rechts naast de lantaarnpaal.

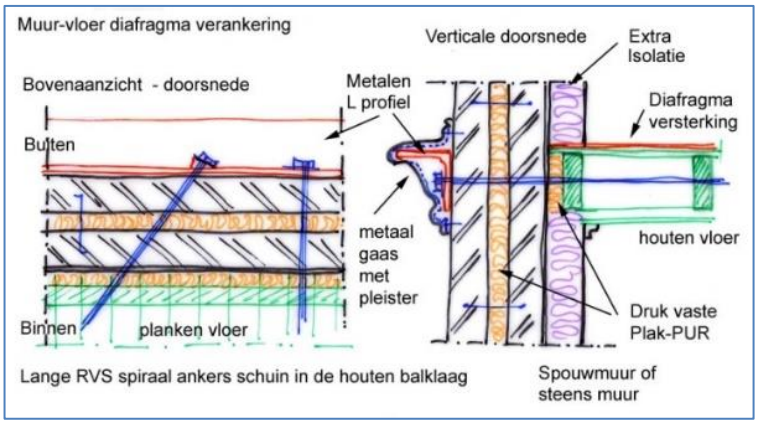


Figuur 7-44. Hoek is naar buiten gekomen. De torsie ontstaat bij een aardbeving beweging dwars op de noklijn. Dit is mogelijk door een flexibele verdieping vloer en eveneens het flexibel houten dakbeschot.

De problematiek van een plattegrond die excentrisch is in stijfheid wordt hierbij in de gevel zichtbaar. Het constructief herstellen houdt het versterken in van het hele vloerdiafragma, of het plaatsen van constructieve sterke glaspanelen. Gevel lintvoegwapening helpt hier niet.

7.17. Ringbalkconstructie rondom gebouw

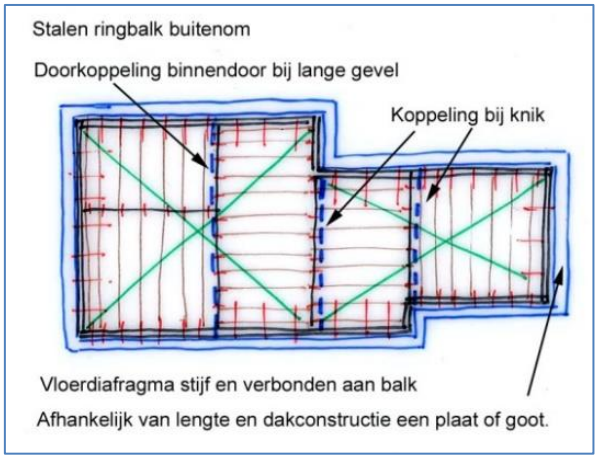
Door het aanbrengen van een doorlopende ringwapening rondom het gebouw, in combinatie met stijve vloerdiafragma's worden bijna alle scheuren rondom lateien voorkomen. Hierbij is het aanbrengen van rvs-lintvoegwapening in baksteen gevelwerk een vrij eenvoudige en effectieve methode. Het aanbrengen van deze wokkels in inwendige hoeken van de buitengevels vereist echter ook werkzaamheden binnen in het gebouw. Afhankelijk van de architectuur van een gebouw kan daarom gekozen worden voor een ring van stalen balken die aan het vloerdiafragma is gekoppeld. Aan de buitenkant kunnen deze decoratief worden afgewerkt met pleisterwerk.



Figuren 7-45. Ringbalken gepleisterd. Op de eerste etage vloer is de balk groter dan op de zolderetage. Het kan goed ingepast worden in de architectuur.

Omdat er een grotere belasting op de ringbalk van de eerste etage komt is deze groter dan de zolder- of dakbalk. Bij hoeken in het gebouw dient dwars door het gebouw een verankering naar de andere kant gemaakt worden; bij lange muurstukken eveneens.

De ringbalk constructie gaat er vanuit dat verticaal de muren voldoende sterkte hebben, maar hier kunnen buiten-op verticale stalen versterkingen worden aangebracht (tussen de ramen en op de hoeken) en omkapseld met (sier)pleisterwerk. Door het structurele element decoratief te integreren in het geveldesign kan een attractieve architectuur van het gebouw verkregen worden.



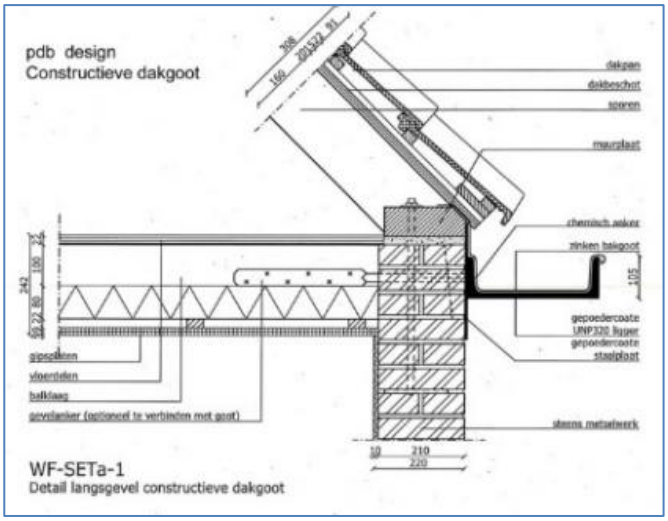
Figuren 7-46. Doorkoppeling ringband. Bij verspringingen moet de ringversterking dwars door het gebouw gekoppeld worden. <u>Rechts.</u> Verticale versterking op de hoeken met sier-pleisterwerk.

<u>'Pdb' design: Constructieve goot.</u> In de NAM-designcompetitie[311] heeft bedrijf 'Pdb' een variant van deze externe versterkingsconstructie uitgewerkt als sterke goot rondom een kleine woning.

[311] Georganiseerd door Arup in 2014. Overeenkomstig de voorwaarden voor de participatie aan deze competitie zijn de ontwerpen voor iedereen in te zien en te kopiëren zonder patent of eigendomsrechten.

Bij het Pdb design gaat men ervan uit dat deze ringbalk aan de muurplaat wordt opgehangen of met chemische bouten aan de muur wordt bevestigd, of door de muur heen aan de balklaag (vloerdiafragma) wordt gekoppeld. De verbinding aan de balklaag is het gunstigste, waarmee aanvullend het diafragma versterkt wordt. Het goot-brede U-profiel is een erg zware constructie.

Wanneer er geen diafragmaversterking nodig is, kan deze alleen van buiten aangebracht worden, zodat de bewoner niet hoeft te ontruimen. Dat wil zeggen als het gebouw al goed geïsoleerd is. Een kostenvergelijking met het aanbrengen van rvs-lintvoegwapening is wel relevant.



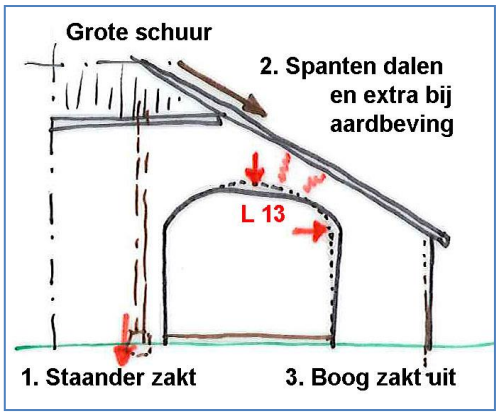
Figuren 7-47. Metalen ring-balk/goot. Hiervoor dienen de constructiedetails van het gebouw precies bekend te zijn. De balk of goot kan in grote delen geprefabriceerd worden en daarna aan in de bouw gemonteerd. De goot kan met Butylfolie of EPDM bekleed worden voordat de zinken goot erin wordt gemonteerd. Dit om het contact van metaal op metaal te voorkomen.

In dit ontwerp wordt dus de ringbalk gecombineerd met de gootfunctie. Bij een goede verbinding met de etagevloer aan alle kanten wordt dan meteen een vloerdiafragma verkregen. Bij een gebouw met inhammen of verspringingen moeten er extra maatregelen genomen worden.

7.18. Vroegere bouwmethoden en bouwfouten

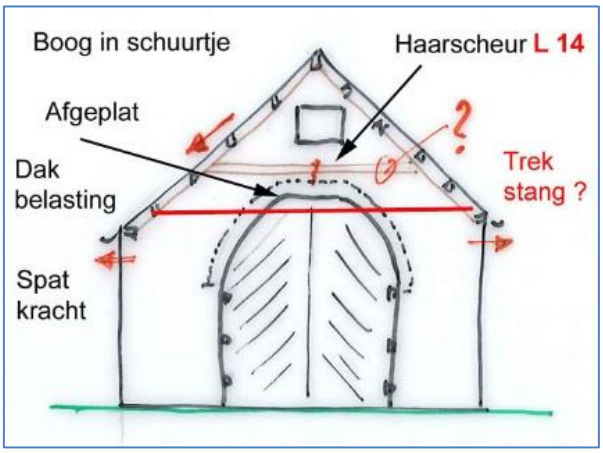
In de vorige pagina's werd vermeld dat veel scheuren rond lateien vaak een combinatie zijn van de manier waarop woningen voeger werden gebouwd, en de felle korte schokken van de geïnduceerde aardbevingen die het op al spanning staande metselwerk doet breken.

<u>Grote boog van een schuurdeur</u>.
Het metselwerk aan de bovenzijde is hier erg smal en zwak, waarbij de kapconstructie de rechter zijkant wegdrukt. Deze situatie is alleen te versterken door achter de grote schuurdoor een metalen frame te maken waar het (nieuwe) metselwerk aan verbonden is. Een andere optie is om het hele rechter gevel gedeelte met de deur in staalframe met kunststof platen uit te voeren, zodat dit flexibel is. Zie ook Hoofdstuk 10.



Figuren 7-48. Metselwerk schuurdeur boog. In combinatie met wegdrukken van het penant door het dak zakt de boog door. Dit kan zijn vanwege de verzakking van de staanders van de gebinten.

<u>Garage zelfbouw.</u>
De persoon op de foto geeft de plaats aan van een haarscheur in het nieuwe metselwerk boven deze boogconstructie. Deze scheur kon slechts beoordeeld worden met onderzoek aan de binnenkant. De schade bleek vanwege het verwijderen van een trekstang te zijn, een bouwfout.



Figuren 7-49. Geen trekstang aanwezig. De boog is niet rond gemetseld, terwijl binnen een trekstang tussen de muurplaten links en rechts was verwijderd om meer hoogte te creëren. Dit is een geval van eigen gebrek door ondeskundige uitvoering door de aannemer of DHZ.

Deze scheur is ontstaan door de volgende oorzaken:

- De boog is niet rond, maar vlak/doorgezakt gemetseld.
- Er zit geen wapening in of boven het metselwerk van de boog.
- Het raampje boven de boog is een verzwakking van de muur.
- De kapconstructie is extra belast zijn vanwege nieuwe en zwaardere dakbedekking.
- De trekstangen (tussen de muurplaten) in de kapconstructie zijn met de verbouw verwijderd, waardoor de spatkrachten de zijmuren uit elkaar drukken.
- De resultante van de belastingen in de penanten komt buiten de muurbasis uit.
- Het metselwerk boven de boog is op spanning komen te staan.
- De schok van de beving heeft de zaak doen barsten.

Het inbrengen van rvs-spiraalwapening in twee voegen boven de boog is onvoldoende om de spatkrachten van het dak op te vangen. Er moeten binnen treksterke verbindingen tussen de twee muurplaten zijn die de zijmuren bij elkaar houden. Als deze hoog moet zitten kan er een metalen portaal gemaakt worden.

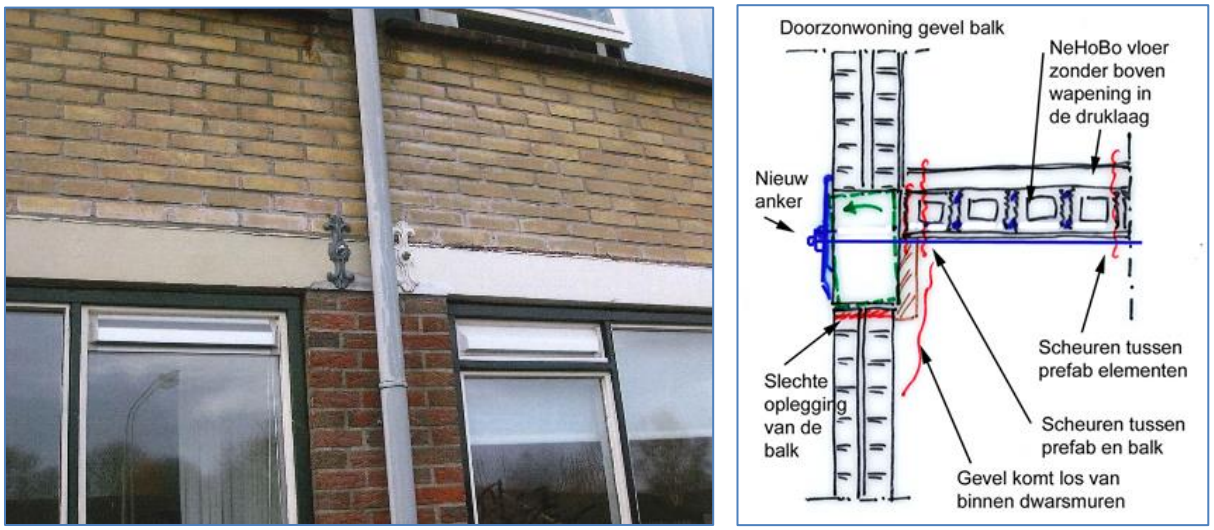
Doorzonwoning.

Deze latei loopt over de gehele breedte van de doorzonwoning gevel en is op de woning tussenmuren opgelegd. Deze lateibalk loopt niet door naar de volgende woning, maar is tussen de woningen onderbroken, precies achter de regenwaterafvoer. De latei is niet aan de vloer verbonden.

Figuren 7-50. Jarino woningen Loppersum. Deze werden gesloopt in 2015.
(1) De latei is aan de binnenzijde bekleed met baksteen strippen of houtvezel-cement platen als isolatie.
(2) Er bestaat geen horizontale verbinding tussen de balk en de prefab NEHOBO-systeemvloer.
(3) De balken zijn te kort en gebrekkig (op de houtvezellaat) opgelegd op de woning-scheidende muren.
(4) De gemetselde penanten waar de balken op dragen zijn onvoldoende sterk.

In de druklaag van het NeHoBo-vloersysteem is geen trek of krimpwapening aangelegd. De prefab vloerelementen liggen los naast elkaar en vormen geen diafragma met de gevelbalk, loodrecht op de richting van de overspanning; dit is een ontwerpfout. De detaillering van de oplegging werd slecht uitgevoerd; door een gedeeltelijke oplegging op een zijkant kon de balk gaan draaien; dit is een bouwfout. Hierdoor viel de verbinding met de vloer helemaal weg (middelste foto).

Een mogelijke versterkingsmethode is om de balk aan de tussenmuur te koppelen met een lang anker. Dit anker moet langer zijn dan de breedte van enkele prefab vloerelementen. De balk moet bij de oplegging met krimpvrije epoxy onderstopt worden en het dragende muureinde versterkt.



Figuren 7-51. Extra lateiankers oplegpunt. Deze ankers zitten diep in de tussenmuur vast. Doorkoppelen naar de andere kant van de woning is een optie als daar dezelfde type lateien zitten.

De latei is hiermee wel (tijdelijk) vastgezet, zodat de voorgevel niet van het gebouw wegvalt; dit is nog geen seismische versterkingsmaatregel van het gebouw als geheel. Sinds de woningwaarde euro <100.000 was en de reparatie, versterking (fundering was ook slecht) en verduurzaming (isolatie) euro >200.000 zou kosten, werden hele rijen van dit type doorzonwoningen gesloopt en vervangen door goed geïsoleerde nieuwbouw.

7.19. Hele gebouwconstructie bestuderen

Een woning is een doosconstructie die de bewoner beschermd tegen weersinvloeden en een vorm van veiligheid geeft. Om naar buiten te kunnen, en om naar buiten te kunnen kijken, zijn er openingen in de wanden gemaakt in de vorm van deuren en ramen. Die openingen zijn weersbestendig gemaakt, maar dat zijn ook bouwtechnisch gezien verzwakkingen van die muren en het gebouw.[312] Om de muren boven de openingen te versterken zijn vaak lateien, togen of boogconstructies boven de ramen gemaakt. In het verleden werd de woningbouw in Nederland niet met een stijf vloerdiafragma gebouwd dat rondom deze vloeren de muren bij elkaar houdt.

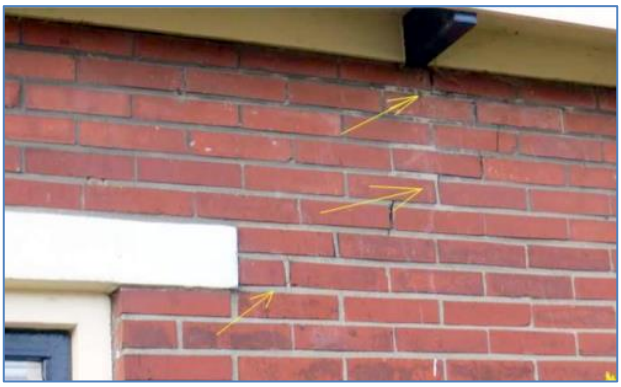
Figuren 7-52. Erker uitbouw. Hier zijn geen goede verbinding met de woning. De erker is onvoldoende sterk aan het gebouw gekoppeld, terwijl het raampenant erg smal is. Er zit geen trekwapening in of boven de toog.

De in dit hoofdstuk genoemde voorbeelden geven verschillende zaken aan:

A. Scheuren in metselwerk ontstaan vaak door verzakkingen van de fundering. Rond de openingen (ramen, deuren en lateien) ontstaan daardoor spanningen in het metselwerk, die bij trillingen scheuren kunnen worden.
B. Gebouwen die verschillende soorten of dieptes van funderingen hebben (palen en ‘op staal’, of met gedeeltelijk kelder) kunnen makkelijk spanningen en scheuren oplopen.
C. De meeste scheuren in het metselwerk en rond lateien zijn vaak het gevolg van een combinatie van zetting van de fundering en trillingen. Deze trillingen kunnen verschillende oorzaken hebben zoals verkeer, aardbevingen en wasmachines.
D. Bij funderingsproblemen moeten die eerst verholpen worden, voordat de muren en de lateien versterkt gaan worden.
E. Slecht onderhoud van vloerverbindingen en kapspanten, of verandering van belasting patronen in een gebouw door gebouwwijzigingen, kunnen makkelijk leiden tot scheuren.
F. Scheuren in of boven lateien kunnen verschillende problemen in een gebouw aangeven, zoals fundering verzakking, elastische of thermische vervorming, kanteling of geen diafragma.
G. Kapconstructies zonder voldoende treksterkte of verdroging kunnen zijwaartse belasting op de muren geven.
H. Het dichtsmeren van een scheur kan bij een volgende schok een nieuwe scheur worden.
I. Een korte rvs-lintvoeg spiraalwapening dwars over een scheur (40 cm links en 40 cm rechts) kan resulteren in een nieuwe scheur naast de zone waar de wapening loopt.
J. De rvs-spiraalwapening moet rondom het hele gebouw lopen.
K. De technische informatie van spiraalwapening is niet gebaseerd op seismische versterking.
L. Met de rvs-spiraalwapening kunnen de binnenmuren aan de buitenmuren gekoppeld worden.

[312] Door de toepassing van moderne constructieve glaspanelen wordt deze situatie geheel anders.

Figuren 7-53. Oorzaken schade rond lateien. Gebouw onregelmatigheid door een aanbouw zonder voldoende dilatatie of te korte oplegging.



Figuren 7-54. Meer gebouwonderzoek. Veel van de schademeldingen gebeurden n.a.v. scheuren rond lateien. Om de oorzaken weg te nemen is vaak een uitgebreider gebouw onderzoek naar de vloer-muur verbindingen noodzakelijk.

Samenvatting. De belangrijkste maatregelen voor verbetering zijn de volgende:

A. De onderliggende oorzaken van de scheuren moeten worden aangepakt. Dit is meer werk dan alleen het esthetisch repareren van de muur zoals het dichtsmeren en overschilderen.
B. De reparatie boven deuren van binnenmuren moet dorgaande wapening gemaakt worden tot en met de verbinding met de buitenmuren.
C. Dunne binnenmuren die dragend worden door constructie van een vloerdiafragma, moeten tweezijdig versterkt worden en diens funderingen moeten op de nieuwe belastingen berekend zijn, wat vaak een verbreding inhoudt.
D. De reparatie van lateien moet gecombineerd worden met het aanleggen van vloerdiafragma's.
E. Lateien moeten onderling en doorgaand rondom het gebouw met elkaar verbonden worden.
F. Versterking van lateien is slechts een onderdeel van het constructieve verduurzamingsproces van de woning. Daarna moet ook de isolatiewaarde van de ramen, deuren en muren als ook de rest van de buitenschil van die woning verbeterd worden.

De goede beoordeling van het type scheur in het metselwerk van een gebouw of rond een latei zal vaak slechts kunnen geschieden door een inspectie van de bouwtekening, de inwendige constructie, de funderingen, de richting en verankeringen van balklagen en de kapconstructie. De totale samenhang van het gebouw moet beoordeeld worden.

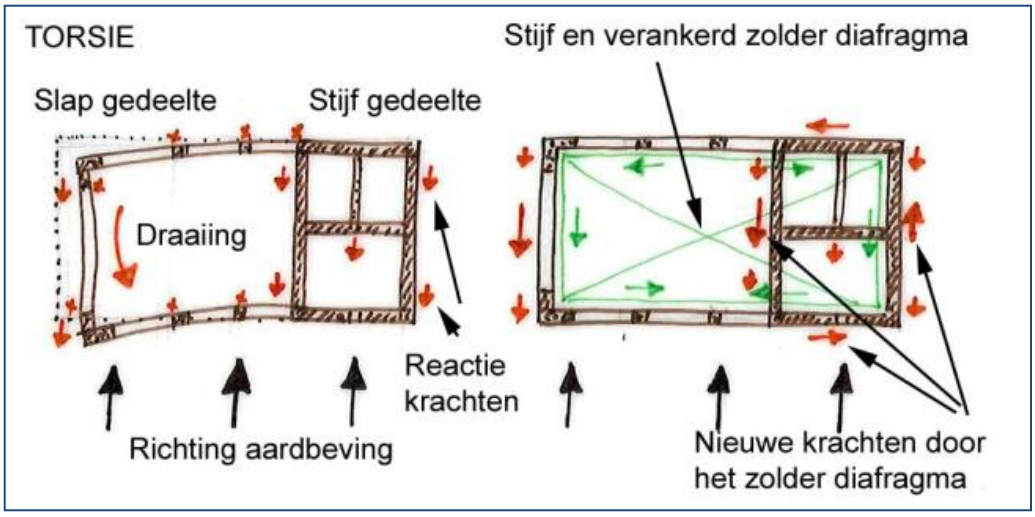
**********Terug naar het begin van dit Hoofdstuk 7*********
**********Terug naar de inhoudsopgave figuren**********

Duurzaam Herstel en Versterking van Woningen in Groningen

Hoofdstuk 8 VLOERDIAFRAGMA'S

van Hout en Beton

Na de aardbevingsproblematiek en de afbouw van de aardgasproductie



Abstract: Het vloerdiafragma is een erg belangrijk element om de horizontale aardbevingsbelasting loodrecht op het vlak van de muren te verminderen. Bij een stijf en sterk vloerdiafragma en goede vloer-muur verbindingen zal een woning beter bestand zijn tegen aardbevingen, in vergelijking met een woning zonder of met slappe vloerdiafragma's. Een 16-tal verschillende versterkingsmethoden van houten vloerdiafragma's wordt behandeld en de verbindingsmethoden met de ondersteunende muren. Enkele opties voor de verbetering van de vloer-muur verbinding met stijve betonnen of elementen vloeren zijn aangegeven. Geïllustreerd met foto's[313] en schetsen.

Kernwoorden: aardbeving, ankers, baksteen, beton, diafragma, doorzonwoning, duurzaam, metselwerk, muur-vloer verbindingen, houten vloeren, systeemvloeren, schijfwerking, seismisch versterken, spiraalwapening, spouwmuur, uitbuiken, verbinden, verbouwen, verduurzamen, vloeren, woningbouw,

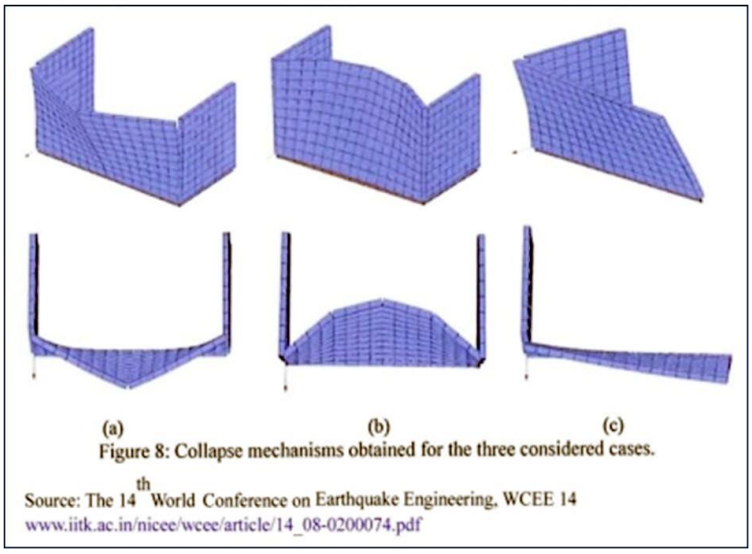
Door: Sjoerd Nienhuys
Bouwkundig, seismisch ingenieur
Juli 2023

[313] De foto's zijn uitsluitend als illustratie en voorbeeldmateriaal bedoeld. Gebouweigenaren die in de foto's hun gebouw of gebouwonderdeel herkennen, kunnen of mogen hier geen consequenties aan verbinden.

8.0. Inleiding

In het hoofdstuk 6 MUREN en hoofdstuk 7 LATEIEN, wordt uitgelegd dat een horizontale belasting op een vrijstaande in baksteen gemetselde muur zonder wapening, makkelijk kan leiden tot vervorming, scheuren, breken en instorten van die muur. De onderstaande tekening laat drie soorten vervormingen en scheuren zien vanwege een belasting loodrecht op het vlak van de muur:

1. Losscheuren op de hoeken en in het midden bij een sterke vervorming naar buiten;
2. Doorbuiging naar binnen, vooral aan de bovenzijde waar de muur niet ondersteund wordt;
3. Vervorming van een muur die slechts aan één zijde verticaal is verbonden met een dwarsmuur;

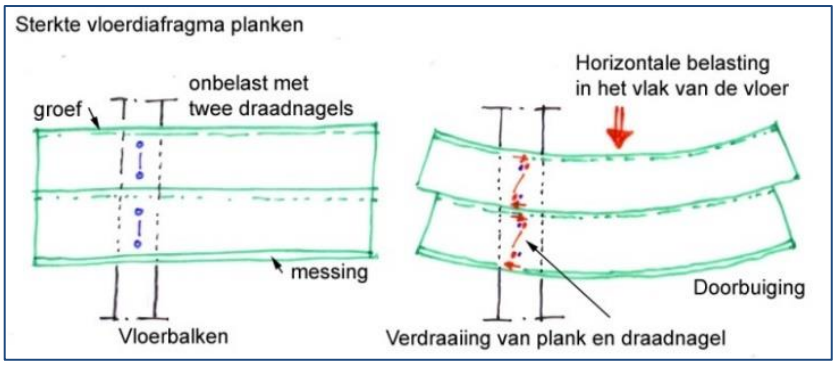


Figuur 8-1. Geen zij-ondersteuning. Muren die aan de bovenzijde of de zijkanten niet zijn ondersteund. Korte of lange muren die geen interne wapening hebben tegen doorbuigen, kunnen makkelijk vervormen en scheuren door horizontale belastingen loodrecht op het vlak van die muren. Dit soort belasting moet daarom vermeden en voorkomen worden.

In de Nederlandse woningbouw ontbreekt traditioneel horizontale en verticale muurwapening of hoekverbindingen die de gemetselde muren onderling verbinden. Dit is alleen verplicht in aardbevingsgebieden met een maximale aardbeving van PGAg > 0,2. De houten balklagen van de etage vloeren zijn in Nederland meestal slechts op enkele plaatsen aan de muren verankerd, terwijl het vaak voorkomt dat de balken die parallel aan de muren lopen helemaal niet verankerd zijn.

Figuur 8-2. Geen goede verankering. Bij steens-muren, maar zijn vaak slechts om de andere vloerbalk toegepast of erg sporadisch en niet aan balken die parallel aan de zijmuren lopen.

Behalve het gebrek aan sterke verbindingen tussen de vloeren en muren kunnen die verbindingen flexibel zijn of beweging toelaten en kan de vloer zelf ook flexibel zijn of beweging toelaten. Dit laatste is vaak het geval bij oudere houten vloeren waarbij de planken gespijkerd werden.

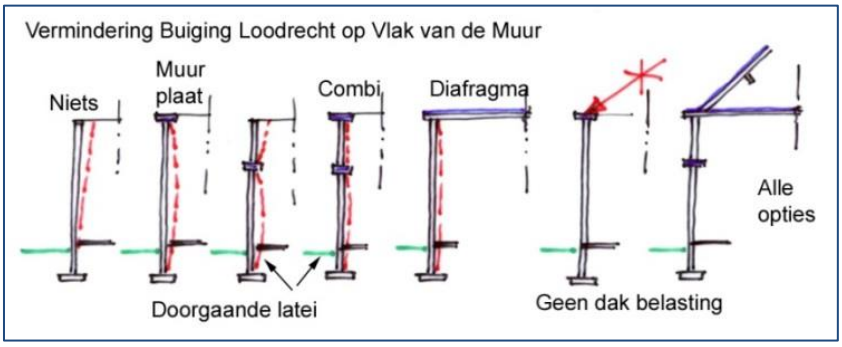


Figuur 8-3. Plankenvloer uitgedroogd.
Hierbij zijn ze uitgedroogd en gekrompen. De (vaak losse) draadnagels kunnen de kleine vervorming van de planken niet tegenhouden.

8.1. Horizontale doorbuiging van muren

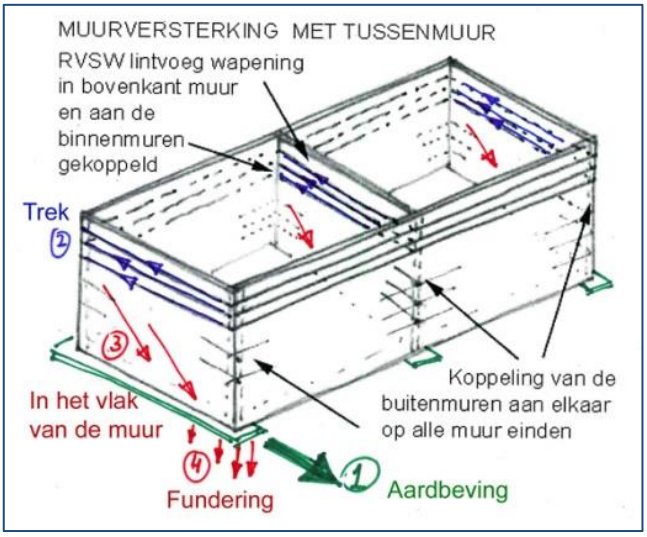
Hoofdstuk 6 MUREN liet zien dat er minder horizontale doorbuiging van een muur ontstaat als er:

a. Een horizontaal sterke muurplaat op de muur vast zit;
b. Een horizontaal sterke en extra lange latei in de bovenkant van de muur zit;
c. Een combinatie van de muurplaat en de lange doorlopende latei aanwezig is;
d. Aan de muren een sterk vloerdiafragma aan alle muren rondom gekoppeld wordt;
e. Vermeden worden dat het dak een horizontale belasting op de muur kan uitoefenen;
f. Korte vrije muurlengtes zijn door dwarsmuur of portaal ondersteuningen in de lengte.



Figuur 8-4. Muur versterkingen. Deze verbeteren de sterkte van de muur tegen horizontale belasting loodrecht op het vlak van de muur.

Bij het verkorten van de vrije muurlengte en het toepassen van een tussenmuur in de lengte van het gebouw, dient deze niet alleen op de druk op te vangen maar ook trek. Er dient een intensieve, op trek berekende verbinding te bestaan tussen de muren en rond de hoeken. Deze op trek belastbare verbindingen moeten vooral in de bovenkant van de muur zitten omdat daar de grootste trekkrachten optreden. Door het inbrengen van lintvoegwapening (wokkels) kan deze versterking van binnenuit of van buitenaf worden aangebracht.

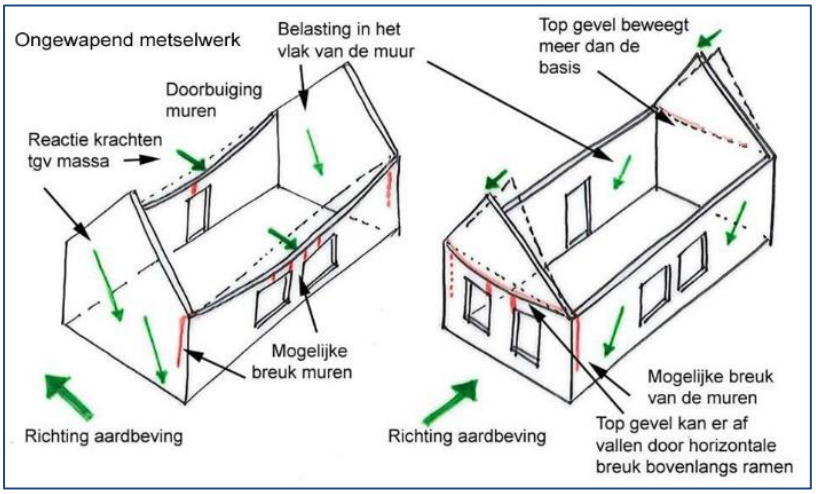


Figuur 8-5. Trekwapening in bovenkant.
(2) Van de latei en muurplaat moet de wapening over de gehele muurlengte lopen en gekoppeld zijn aan de dwarsmuur.
De trekkrachten dienen via het vlak van de muur (3) overgebracht te worden naar de fundering (4).

Het plaatsen van een tussenmuur zonder versterking van de gehele vloer als een stijve schijf, zal ertoe leiden dat de helft van de totale vloerbelasting op deze tussenmuur komt. Zoals vermeld in Hoofdstuk 4 FUNDERING, zal de fundering van die tussenmuur op deze extra belasting berekend moeten zijn. Omdat het plaatsen van een extra tussenmuur met de daaraan verbonden fundering vaak niet een gewenste optie is, vanwege het ruimtebeslag dat die muur in zal nemen, zal het versterken en verstijven van het vloerdiafragma de meest praktische oplossing zijn om de schijfwerking te verbeteren.

Figuur 8-6. Plaatsen van binnenmuur. Door koppeling en verstijven van het vloerdiafragma zal de tussenmuur een hoge belasting krijgen en op diens fundering.

Een vloerdiafragma moet berekend zijn op de eigen massa, de bovenliggende gebouwmassa en een nuttige verticale belasting. De horizontale krachten vanwege de massa van de vloer met de hierop geplaatste binnenmuren en een percentage van de nuttige belasting, worden tijdens een aardbeving naar de zijmuren overgedragen. De zijmuren moeten deze krachten overbrengen naar de fundering. De daar boven staande muren zullen eveneens krachten op het diafragma uitoefenen die eveneens in het vlak van de dwarsmuren moeten worden afgevoerd.



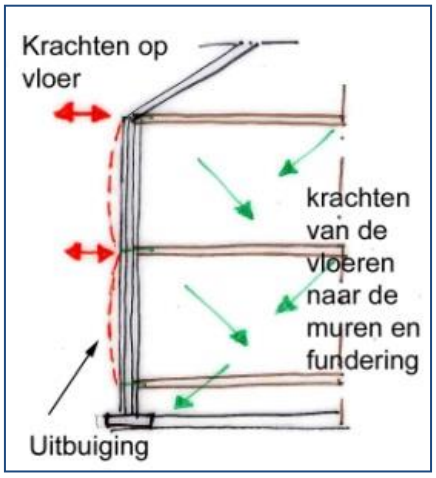
Figuur 8-7. Beoordeel in twee richtingen.
Elke woning moet in de twee loodrecht op elkaar staande richtingen op sterkte beoordeeld worden. Er moet bepaald worden of bestaande (slappe) vloerdiafragma's de gebouwbelastingen loodrecht op de muren zullen uitoefenen. Uitbuiging van de muren.

8.2. Verticale doorbuiging van muren

Wanneer de vloerdiafragma's voldoende stijf zijn om de horizontale uitbuiging van de muren te minimaliseren, moet ook beoordeeld worden of het eigen massa van de muren en penanten geen uitbuiging (uit-buiken) in de hoogte van die muren kunnen veroorzaken, naar binnen of naar buiten.

Bij metselwerk is het eenvoudig om lintvoegwapening in te frezen en te verlijmen. Dit zal voorkomen dan de muur naar binnen of naar buiten uitbuigt. Om in schoon metselwerk te voorkomen dat de muur of het muurpenant naar buiten uitbuigt zijn binnenzijdig verankerde profielen of balken nodig om dit te voorkomen. Deze profielen kunnen tegelijkertijd dienen als versterking van de smalle raampenanten in het vlak van de muur tegen kanteling (hoofdstuk 6 MUREN).

Het versterken van een woning hierdoor een combinatie zijn van het versterken of verbreden van de funderingen, het verstijven en verbinden van vloerdiafragma's en het versterken van de muren in hun vlak en in loodrecht op het vlak van die muur, bij stijve en goed verankerde diafragma's.

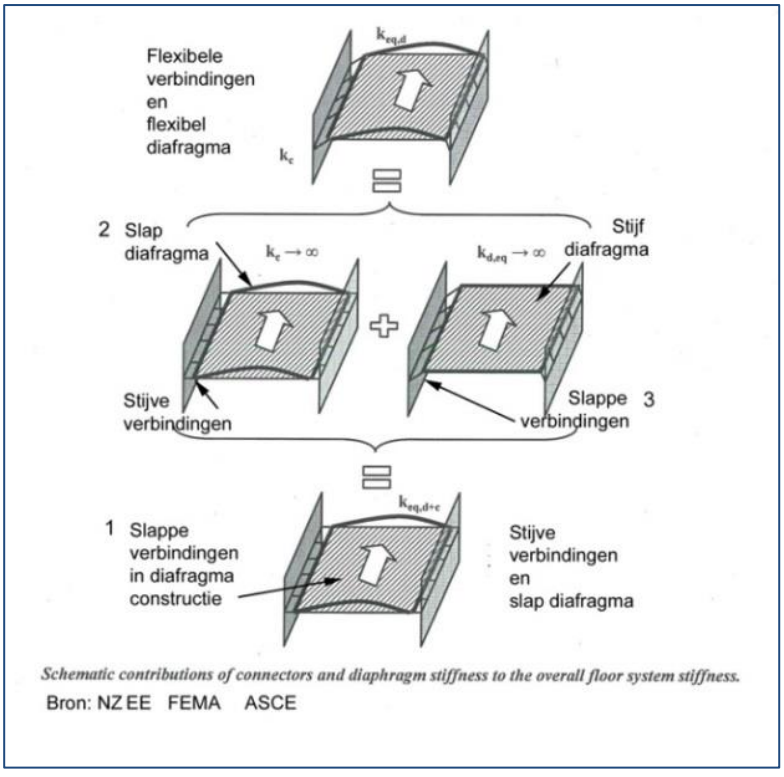


Figuur 8-8. Uitbuiging van de muur. Om dit te voorkomen moet binnen verticale wapening aan die muur verbonden worden (chemische ankers). Tegen het inbuigen kan trekwapening binnenzijdig in de muur worden gefreesd.

8.3. Verschillende vervormingen van vloeren

Er zijn drie soorten van vervormingen van het vloerdiafragma ten opzichte van de ondersteunende muren en combinaties daarvan, die alle drie voorkomen moeten worden.

Bovenste afbeelding: slappe verbindingen met slap vloerdiafragma met slappe connecties van de onderdelen binnen het diafragma zoals de spijkerverbindingen tussen de planken en de balken.
Afbeelding midden links (2): een slap diafragma met sterke en stijve vloer-muur verbindingen;
Midden rechts (3): een slappe vloer-muur verbinding met een stijf diafragma.

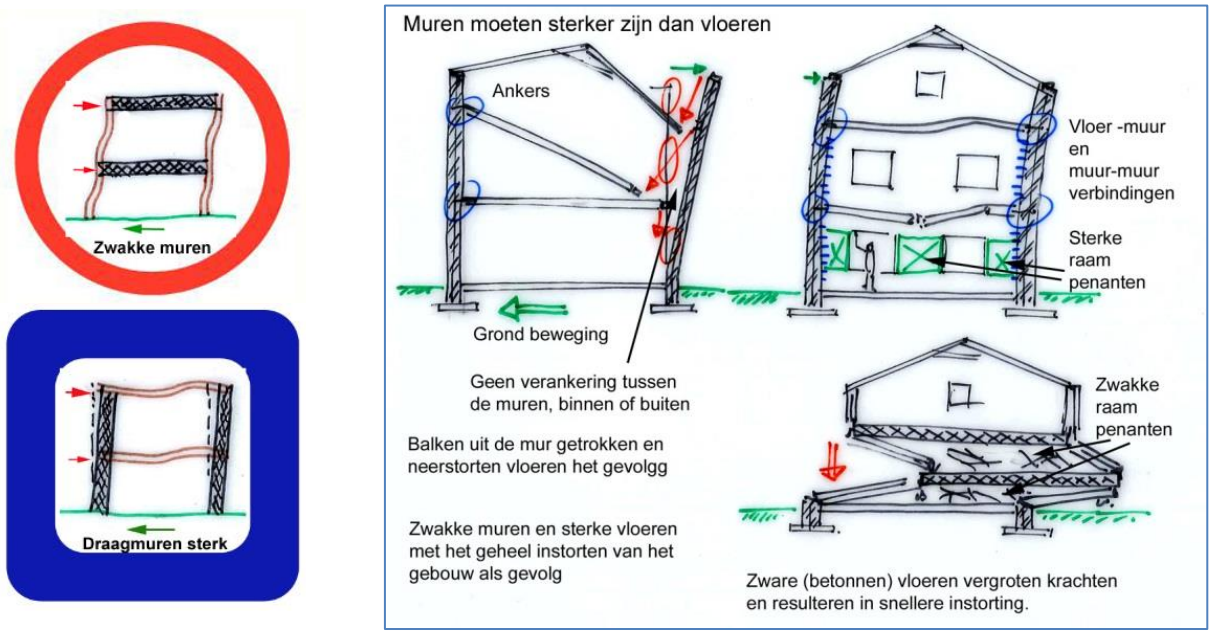


Figuur 8-9. Muur-vloer verbindingen. Stijfheidsvormen van de diafragma verbindingen.
Bovenste tekening: een slap (flexibel) vloerdiafragma met slappe (flexibele) verbindingen zal de meeste vervorming geven.
Midden: bij de analyse van een vloer dienen de twee aspecten (schijf en schijfverbindingen) beide te worden beoordeeld.
Bij tekening 3 (midden rechts) zal de hoekverbinding tussen de kopse muur en de langs-muren verticaal openscheuren.
De verbindingen gelden voor de twee orthogonale richtingen.
Tekening NZEE, FEMA, ASCE.

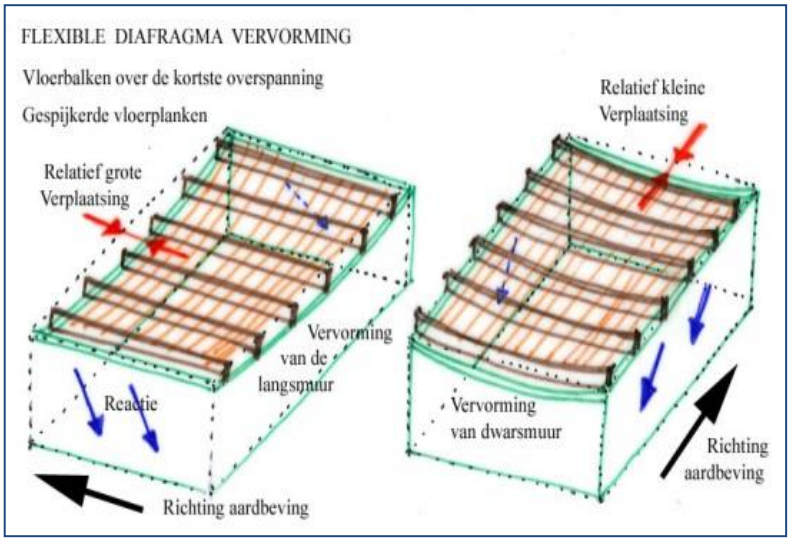
De belastingen loodrecht op de muren worden door een goede verankering naar de vloerschijf overgedragen in het vlak van de zijmuren. De vervorming (*drift*) van de vloer mag echter niet groter zijn dan de overspanning/300 of maximaal 17 mm (Metselwerkcode EC 8). Bij een kamerbreedte van 450 cm is dit horizontaal 1,5 cm. Bij een langwerpige plattegrond is de doorbuiging langs de lange kant meer dan aan de korte kant (schets). Bij uitgedroogde planken, weinig draadnagels, dunne balken en slechte verbindingen, zal het diafragma slap zijn en daarom de mogelijke vervorming groter.

Bij alle drie van deze constructies moeten de muren voldoende sterkte hebben dat ze niet naar elkaar te getrokken worden, maar slechts de verbindingen de eventuele beweging op vangen.

Wanneer een muur of kolom bezwijkt, heeft dat grotere gevolgen in een gebouw dan het bezwijken van een vloer. Het principe van een sterke kolom- of muurconstructie (verticaal) in combinatie met een flexibele balken- en vloerconstructie (horizontaal) is daarom belangrijk in een aardbevingsresistent ontwerp. De Nederlandse steens-muren en halfsteens spouwmuren zijn echter slecht bestand tegen krachten loodrecht op het vlak van de muur. Bij onvoldoende steun of verankering tijdens een horizontale aardbevingsbelasting kunnen ze knikken of omvallen, c.q. instorten, waardoor ook de vloeren naar beneden storten.

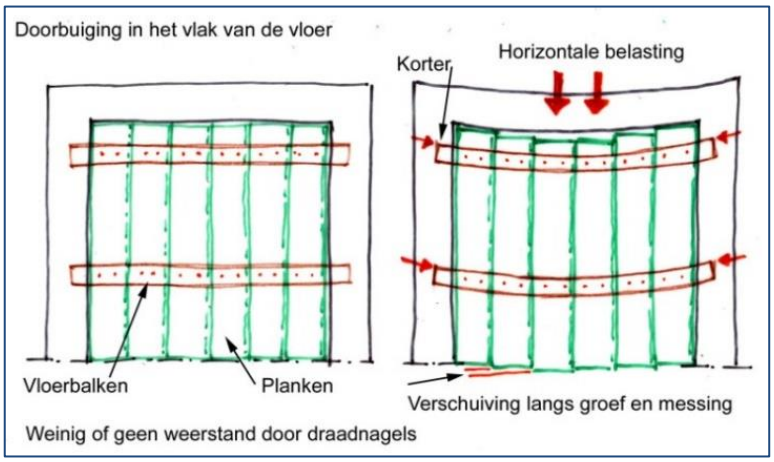


Figuren 8-10. Slechte verbindingen vloeren. Hierbij kan de muur naar buiten wegvallen. Bij excentrische belasting kan knik ontstaan. De verbindingspunten van de muren moeten momentsterker zijn dan die van de vloeren. Verbindingen moeten ductiel zijn. Wanneer de kolom of muur bezwijkt, stort het hele gebouw in.



Figuur 8-11. De grootste vervorming.
De meeste vervorming is in de richting loodrecht op de langste muur. Smalle vloerplanken kunnen in hun vlak doorbuigen wanneer de messing en groef verbinding door uitdroging los is. Deze horizontale doorbuiging zal kleiner zijn bij brede of dikke planken. Verstijving kan met OSB of multiplex platen.

In de richting van de kortste overspanning zal de netto horizontale doorbuiging minder zijn en wordt veroorzaakt door de buiging van de balken en het langs elkaar schuiven van de planken. Hoe smaller de balken zijn en hoe minder strak de groef en messing in elkaar schuiven (door uitdroging van de planken), hoe groter de doorbuiging zal zijn.

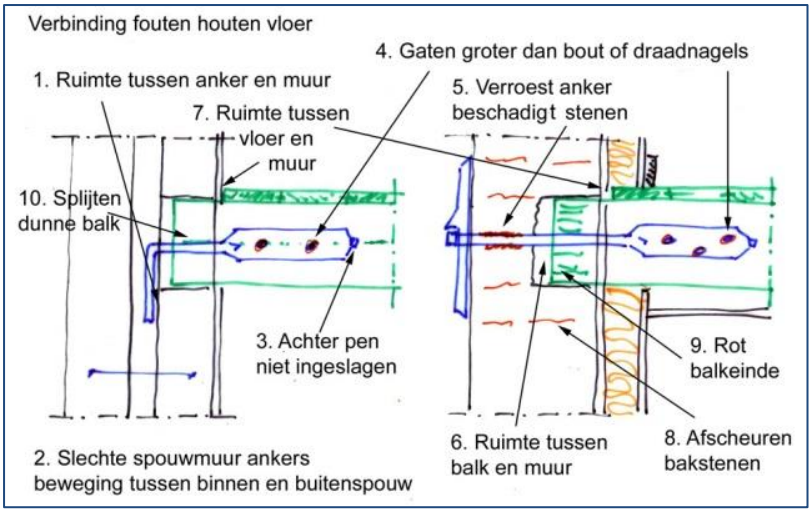


Figuur 8-12. Goede vernageling belangrijk.
Bij brede planken kan op elke balk een extra schroef toegevoegd worden. Bij smalle vloerplanken levert dit echter weinig op.
OSB-platen zijn dan een betere optie.

Bij een vierkante vloer zal het doorbuigen sterk afhangen van de balk- en plankbreedte, de vernageling tussen de planken, de afmetingen van de balken en het niveau van uitdroging van de vloerplanken. [314] Bij het gebruik van twee draadnagels/schroeven per plank zullen deze ietsje weerstand bieden tegen draaiing, echter, bij dunne draadnagels, een enkele draadnagel per plank, smalle planken of zachthout is dit nauwelijks het geval. In de oudere Nederlandse woningbouw kan niet op enige weerstand tegen buiging gerekend worden door extra draadnagels. **Bij bijna alle oude houten vloeren moeten deze dan verstijft en versterkt worden en verbonden aan alle omringende muren.**

De stijfheid van een houten vloer of dakbeschot wordt sterk beïnvloed door de strakheid waarmee de planken tegen elkaar aan zijn gespijkerd en met groef en messing in elkaar grijpen. Bij gebouwen die ouder zijn dan 50 jaar is veel houtkrimp opgetreden omdat in de jaren 1960 en 1970 veel met goedkoop spinthout werd gebouwd. Sinds 1980 wordt in de bouw veelvuldig van plaatmateriaal gebruik gemaakt dat geen krimp heeft.

De verbinding tussen de balken en de muur kan bewegelijk (flexibel) zijn in de lengterichting van de balk en loodrecht op de balk. Vaak is er slechts om de andere balk een balkanker toegepast, hetgeen dan onvoldoende verankering geeft. Dit is zo bij oude steens-muren en nieuwere spouwmuren.

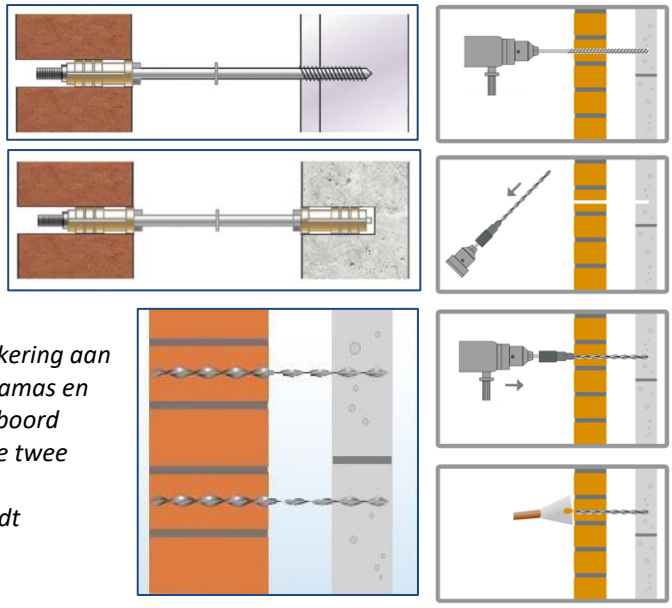


Figuur 8-13. Verbindingsmogelijkheden balken. De bewegelijke muur-vloer verbinding. Elk van deze opties maakt de verbinding meer flexibel.

1. <u>Ruimte tussen muur en anker</u>. Hier kan het anker worden losgemaakt, de oude gaten van de schroeven opgevuld en het anker opnieuw strakker vastgezet met sterkere bouten.

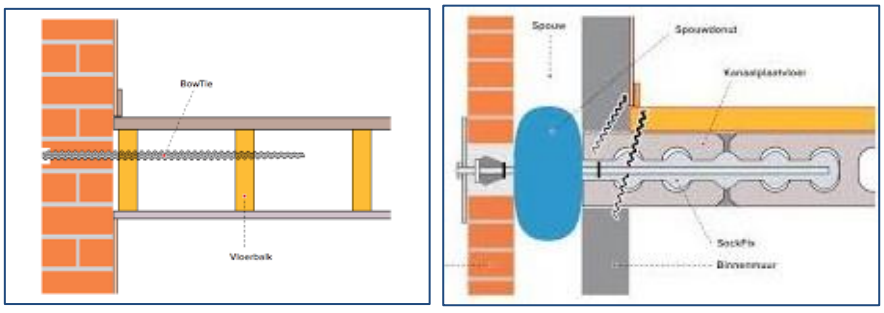
[314] In sommige oude gebouwen kan je tussen de vloerplanken door kijken. De groef en messing hebben hier in het geheel geen weerstand meer tegen onderling verschuiven. Dit is ook vaak het geval met oud dakbeschot.

2. Slechte spouwankers waardoor de (dragende) binnen spouwmuur bewegelijk is ten opzichte van de buiten spouwmuur. Met kijkoperatie misschien te constateren. De spouwbladen kunnen van binnen of van buiten aan elkaar gezet worden met rvs-spiraalankers (wokkels) en Helifix retrofit ankers[315] die in beide muren worden geschroefd.



Figuren 8-14. Helifix anker toepassingen.
Boven Helifix Torfix, ook voor vliesgevels en verankering aan betonconstructies. Rechts en onder Helifix, ABCadamas en Totalwall met spiraalankers die van buitenaf ingeboord worden en eventueel verlijmd. Hierdoor worden de twee spouwbladen intensiever met elkaar verbonden.
De weerstand van de muur tegen doorbuigen wordt verhoogd door meer en sterkere spouwankers.

3. De achterste punt van het anker is niet strak of diep genoeg in de balk geslagen.=> zelfde als 1.
4. De schroeven of draadnagels zitten niet strak in de te grote gaten van het anker. => zelfde als 1.
5. Een ijzeren anker in een steens muur is verroest en maakt de bakstenen kapot. => hier is het vervangen van het hele gevelanker noodzakelijk met een roestvrij anker, en opnieuw aanmetselen.
6. Er is ruimte tussen de kop of parallelle balk en de muur zodat de balk verder ingedrukt kan worden. => De ruimte opvullen, of de balk(en) met spiraalankers aan de muur verbinden.

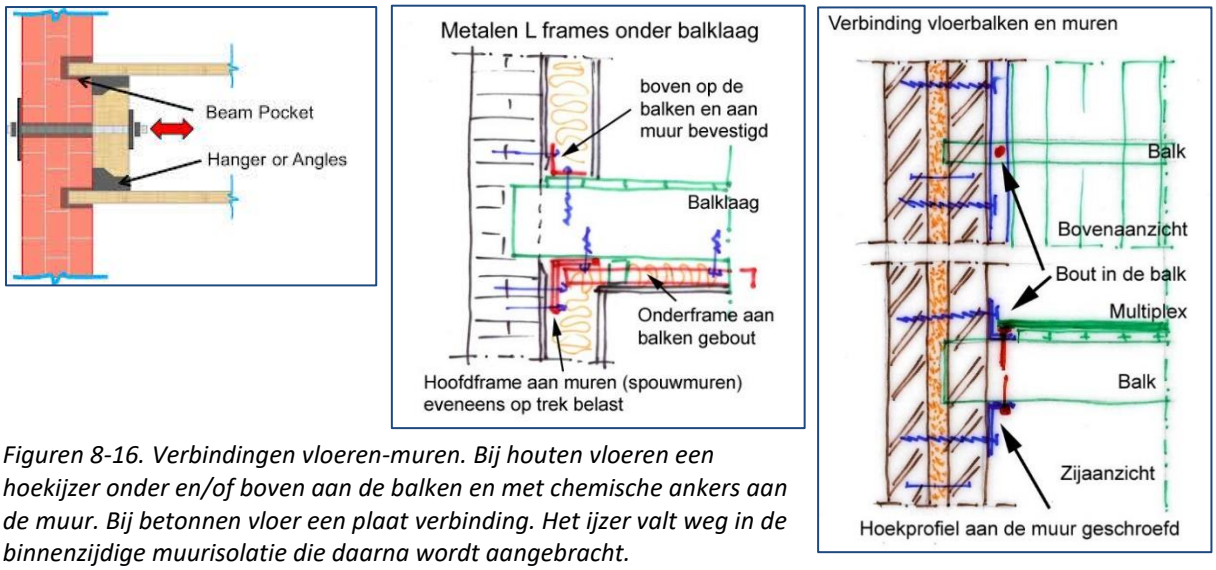


Figuren 8-15. Verbinding muur-balken.
Dezelfde bedrijven hebben oplossingen voor het verbinden van de balklaag of de vloer met de muur.
Rechts de TotalWall-Strakee donut oplossing[316].

7. Er is ruimte tussen de gespijkerde vloerdelen en de muur zodat vloer en balk verder ingedrukt kunnen worden. => zelfde oplossingen als 6.
8. Bakstenen in een steens-muur achter een te kort anker scheuren af door afschuiving. => Het anker kan hier langer gemaakt worden zodat het achter meer stenen aangrijpt, terwijl ook alle balken ankers moeten krijgen en niet slechts om de andere balk.

[315] https://www.helifix.com/products/retrofit-products/torkfix en www.ABCadamas.nl en www.Totalwall.nl die beiden de Helifix producten in Nederland toepassen.
[316] Dit product werd ontwikkeld door TotalWall en Strakee als resultaat van een in 2013 design competitie voor het vinden van goede muur-diafragma oplossingen. De donut wordt door een gat in de spouw geplaatst en opgepompt met een verhardende mortel zodat een drukvast punt ontstaat.

Bij houten vloeren kan op en onder de balken een stijf hoekprofiel verbonden worden en met chemische ankers aan de muur verbonden. Bij betonnen vloeren kan een plaatverankering worden toegepast. Het metaalwerk valt weg in de dikte van de binnenzijdige muurisolatie als onderdeel van het verduurzamen.

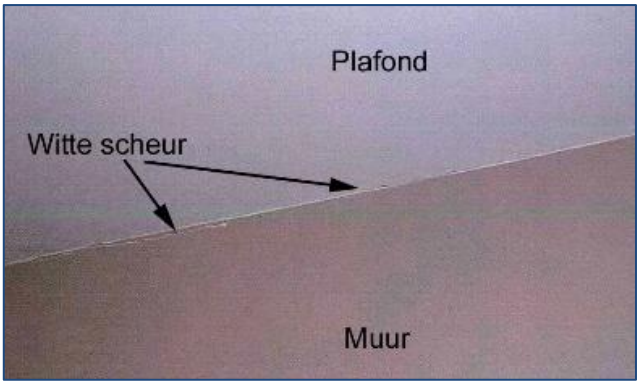


Figuren 8-16. Verbindingen vloeren-muren. Bij houten vloeren een hoekijzer onder en/of boven aan de balken en met chemische ankers aan de muur. Bij betonnen vloer een plaat verbinding. Het ijzer valt weg in de binnenzijdige muurisolatie die daarna wordt aangebracht.

9. Balkeinden zijn verrot door indringend vocht of inwendige condensatie door warmtelek. => nieuwe balken of balkeinden en het vocht of condensatie probleem moet worden voorkomen, o.a. door een goed afsluitende binnenzijdige dampkering.
10. Dunne of oude balken zijn gespleten door de kern en langs de schroeven of bouten. => ankers verwijderen, hout repareren of vervangen en op een nieuwe plaats het anker aanbrengen.

De bovenstaande voorbeelden geven ook aan dat er meestal iets beweging zit tussen de balk en de muur, hetgeen zich na een aardbeving of schok uit in een dunne scheur (≤ 1 mm) langs het plafond. Dit heeft uitsluitend esthetische consekwenties, geen structurele. Indien deze scheur groter is dan 2 mm is er meestal iets anders aan de hand, zoals losse of geen balkankers.

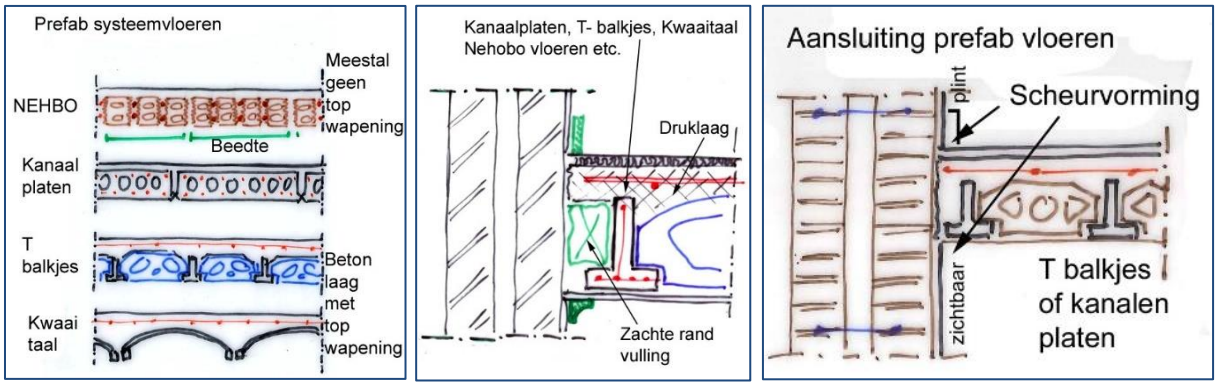
Figuren 8-17. Scheuren langs het plafond.
De oorzaak is het gebrek aan een vloerdiafragma. Wanneer de scheuren groter worden dan 2 mm is er meestal wat meer aan de hand dan een flexibel diafragma of iets flexibele verbindingen tussen de vloer en de draagmuren.



8.4. Muurverbinding van stijve systeemvloeren

Bij gewapend betonnen elementen vloeren zoals kanaalplaten, Nehobo vloeren komt het soms voor dat er geen krimpwapening over deze elementen is gelegd zodat alle elementen aan elkaar verbonden zijn (Figuur 8-18 beneden). Het komt echter veelvuldig voor dat in de paralelle richting tussen de muur en de vloer helemaal géén verbinding aanwezig is.

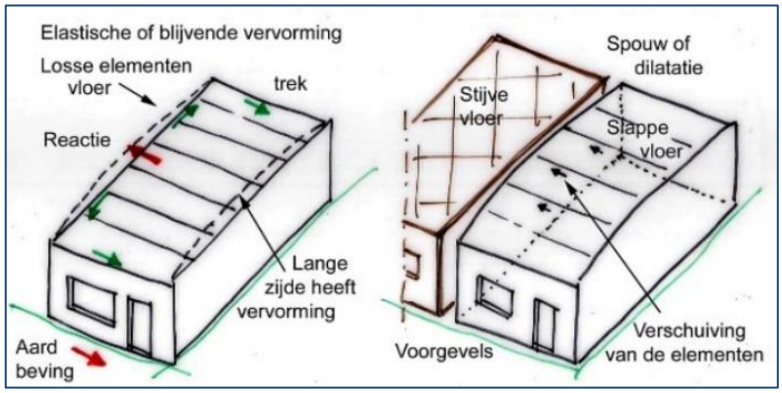
Aan de oplegzijde (bouwmuren) is het slechts de afschuifweerstand in die oplegging die beweging voorkomt. Vanwege de grote massa van betonnen vloeren zijn hier de horizontale belastingen heel veel groter dan bij houten vloeren en moet de verbinding met de muren dan ook sterker zijn. Bij het toenemen van de systeembouw, vooral bij rijtjeswoningen, komt dit probleem veelvuldig voor.



Figuren 8-18. Stijve betonnen vloerelementen. Deze dragen kamerbreed (4m), maar zijn soms onderling niet met een krimpnet met elkaar verbonden werden, en zelden verbonden zijn met de parallelle muren of gevels.

<u>Rechts.</u> De foto is van de voorgevel van rijtjeswoningen waar de gevelbalken niet aan de kanaalplatenvloer is verankerd. Na het tijdelijk vastzetten werden deze woningen gesloopt omdat ze meer bouwfouten hadden en economisch niet te redden waren.

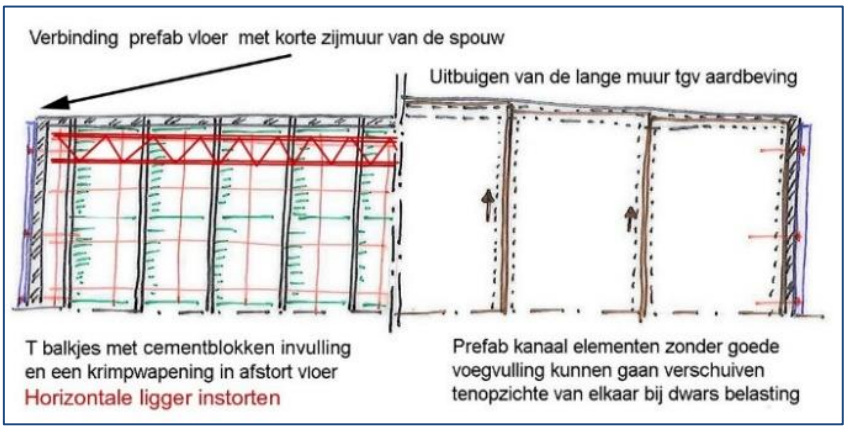
Bij de toepassing van losse elementen die op de tussendraagmuren van woningen zonder verdere verbindingen zijn opgelegd, bestaat de mogelijkheid dat bij korte aardbevingsschokken de elementen onderling verschuiven en de draagmuur meetrekken. De lange draagmuren kunnen daarbij naar binnen of naar buiten doorbuigen. Dit kan voorkomen worden door samen met het krimpnet een horizontale ligger van extra wapening aan beide lange zijden van de vloer in te storten. De kopwanden of portalen moeten de optredende extra belasting in het vlak van die wanden opvangen.



Figuur 8-19. Krimpnet voorkomt uitbuiging.
Wanneer de vloer elementen niet aan elkaar verbonden zijn kan onderlinge verschuiving optreden. Dit kan verschuiving tussen de elementen en uitbuiging van de draagmuren opleveren.
.

Figuur 8-20. Ligger langs de vloerrand.

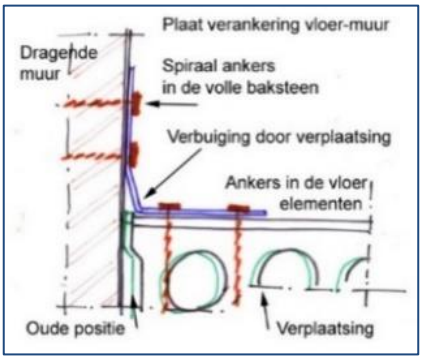
Met de twee horizontale liggers wordt uitbuiging aan de lange zijde voorkomen. Bij goedkope bouw werd niet altijd het krimpnet toegepast.

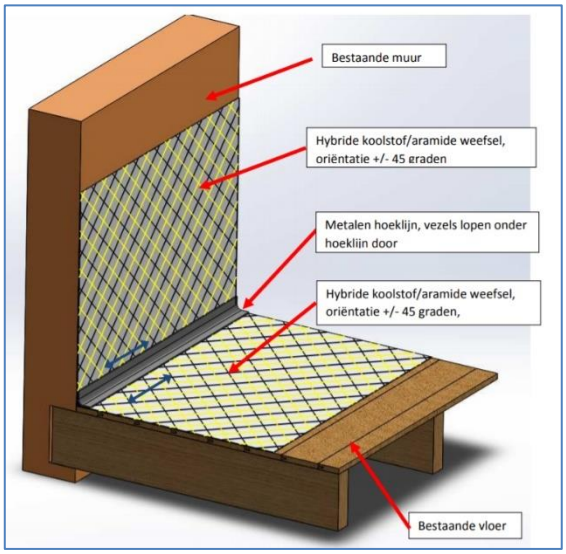


Figuur 8-21. Plakstroken CRFP op de vloer.
In de testwoningen werd op de cement of houten vloer meerdere sterke Carbon fiber stroken (CRFP, koolstof laminaat) in een diagonaal patroon geplakt.[317]
Hierna moet de vloer geëgaliseerd worden.

Aan de korte zijde (niet dragend) moeten deze vloeren intensief aan de gevels of tussenmuren worden verbonden om de krachten in het vlak van die muren naar de fundering af te voeren. Echter, aan die korte zijde zitten hoofdzakelijk ramen en kan er geen overdracht van krachten naar de fundering zijn, tenzij met een extra portaal. Dit is een geheel verschillend krachtenverloop dan waarop de meeste woningen in Nederland zijn gebouwd.

Figuren 8-22. Kruiselings gelijmde stroken. Dit kan ook met CRFP weefsel op de vloer.
De verbinding met de muur eist speciale aandacht.[318]

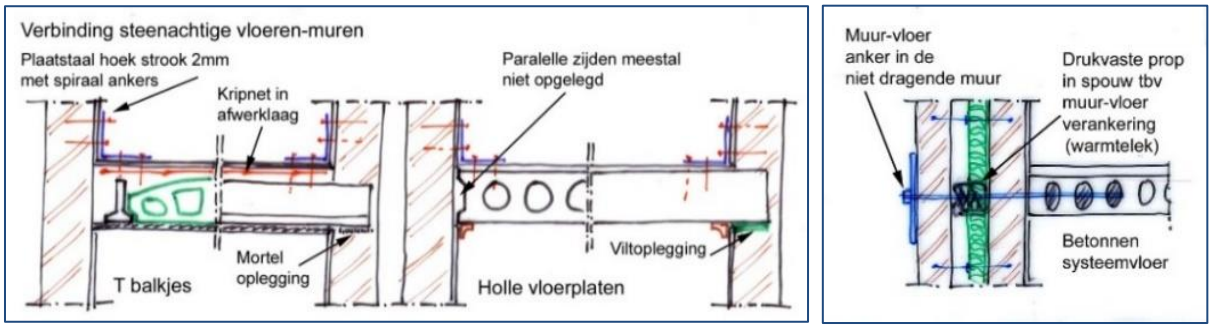




Met breed-flens hoekijzers wordt zowel de horizontale uitbuiging weerstaan als dat dit de mogelijkheid geeft om op meerdere plaatsen de flens aan de draagmuur te bevestigen. De breed-flens zal ruim binnen de binnenzijdige gevelisolatie vallen.

[317] Voorbeeld van verschillende berekeningen van vloer versterking met koolstof laminaat. https://repository.officiele-overheidspublicaties.nl/externebijlagen/exb-2018-48567/1/bijlage/exb-2018-48567.pdf en https://docplayer.nl/10095059-Nieuwe-generatie-gelijmde-wapeningen.html
[318] Brands Bouw en Onderhoud bedrijf, Groningen met design competitie Aramid toepassing.

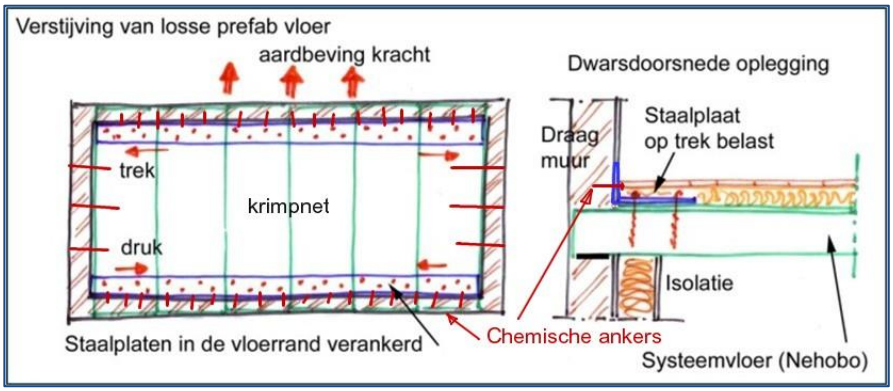
Bij de toepassing van gevouwen staalplaten, mag de plaat niet te dun zijn of te hoog worden bevestigd, want anders bestaat de kans op te veel vervorming van de plaat waardoor er toch beweging ontstaat en daardoor een plafondscheur. De toepassing van de donut verankering (Strakee) verbindt ook het buitenspouwblad, maar is plaatselijk. De spouwdonut oplossing is niet mogelijk bij tussenmuren.



Figuren 8-23. Brede hoekijzers vloer-muur. Ze verbinden tegelijkertijd het vloerdiafragma met de muur. Deze verbindingen vallen weg in de gevelisolatie. Rechts. Principe spouw-donut van Strakee.

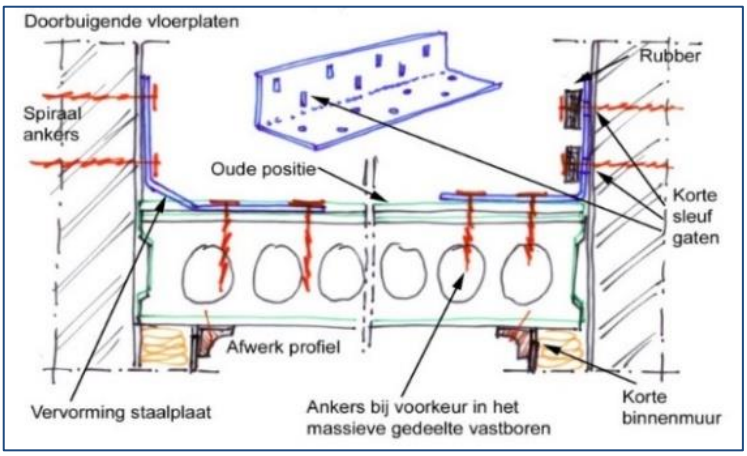
Bij de toepassing van de gevouwen staalplaat geldt dat hoe hoger de ankers in de muur zijn geplaatst, hoe makkelijker de vervorming van de staalplaat zal zijn. Wanneer de belasting op de ankers te groot wordt zullen eerst de onderste ankers uit de muur getrokken worden en daarna pas de bovenste. De constructie kan wel wat vervormen, terwijl de verbinding in stand blijft en voorkomt dat de muur van de vloer wegvalt van de oplegging, waardoor het gebouw zal instorten.

Figuur 8-24. Beweegbare verbinding. Een beweging van 1-2 mm is seismisch gunstig voor hoge gebouwen.
Holle kanalen moeten t.p.v. de ankers ingevuld. De vaste ramen moeten dan ook deze mm tolerantie kunnen opvangen.



Als belangrijk principe in aardbevingsbestendig bouwen is dat een constructie element (herhaaldelijk) moet kunnen vervormen voordat het begeeft (ductiele verbinding). Door de vervorming wordt een gedeelte van de aardbevingsbelasting geabsorbeerd.

Figuur 8-25. Goede muur-vloer verbinding. Hoe groter de massa van de betonnen systeemvloeren, hoe beter de verbinding met de muren moet zijn.
Bij zware belastingen zijn ductiele verbindingen noodzakelijk.

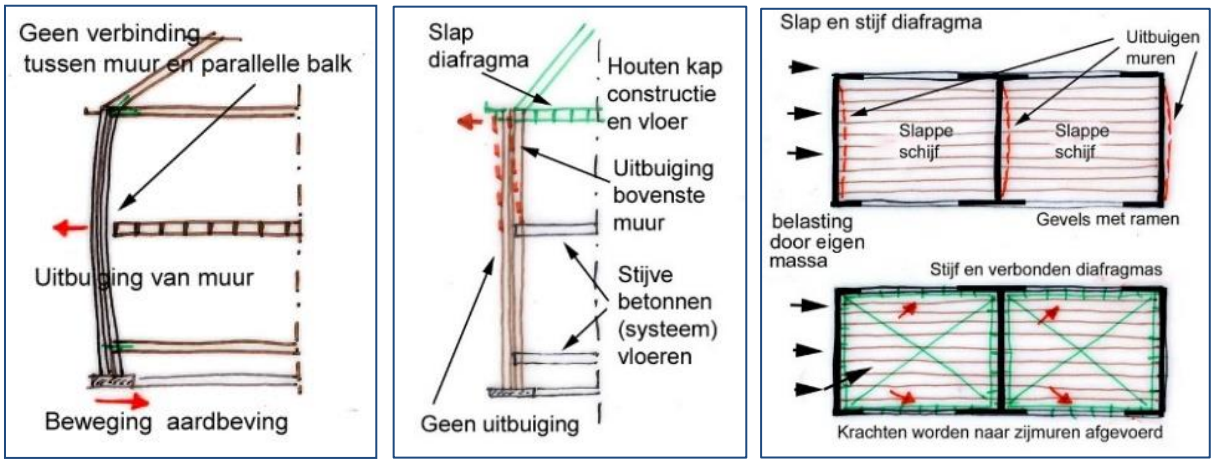


Volgens de aardbevingscode dienen de verbindingen echter sterker te zijn dan theoretisch minimaal noodzakelijk is. Dit betekent dat de verbindingen niet mogen bezwijken, maar bij overbelasting moeten vervormen; zij moeten hun verbindende functie behouden ook al zijn ze iets vervormd[319]. Dit is mogelijk met buigbare taaie metalen onderdelen, of er moet op een andere manier wat beweging in de verbindingen zitten zonder dat de verbindende functie verloren gaat en er geen direct instortingsgevaar bestaat.

In de situatie in Groningen na 2020 is dat risico van instorten niet aanwezig en gaat het hoofdzakelijk om muurherstel. Bij de toepassing van iets flexibele binnenzijdige muurisolatie zullen er ook geen scheuren zichtbaar worden, zeker niet als er voor de afwerking hoeklatjes langs het plafond en de plinten worden toegepast. De juiste detaillering van de plafondafwerking zonder doorlopend stucwerk (daarin zijn snel hele kleine scheuren zichtbaar) is daarom belangrijk.

8.5. Verstijven van houten vloeren; de balken

Houten vloeren zijn lichter van gewicht dan betonnen of prefab elementenvloeren, maar zijn ook vaak erg flexibel vanwege veroudering/uitdroging, en vaak de afwezigheid van goed verankerde muur verbindingen. Bij gebrek aan muurverbindingen parallel aan de balkrichting, kan de muur naar buiten toe loskomen van de vloer, waardoor bij verticale belasting knikgevaar ontstaat.



Figuren 8-26. Uitbuigen is knikgevaar. Dit kan door de combinatie van de eigen massa van losstaande mure, en door de horizontale en verticale druk van het dak. Alle etage- en zolder-diafragma's helpen om de samenhang van het gebouw te verbeteren en de balastingen in het vlak van de muren af te voeren naar de fundering. Belasting loodrecht op het vlak van de muren wordt hiermee voorkomen.

Een van de vloer loskomende muur heeft een verhoogd risico van bezwijken door knik wanneer er ook een (verhoogde) verticale belasting bestaat (verticale trilling). Een niet ondersteunde twee-etages hoge muur heeft een veel te grote slankheid volgens de Eurocode 8 en de NPR om enige aardbevingsbelastingen op te mogen nemen [320]. Het maken van een sterke en iets ductiele verbindingen tussen de muren en de vloeren is hier een eerste vereiste.

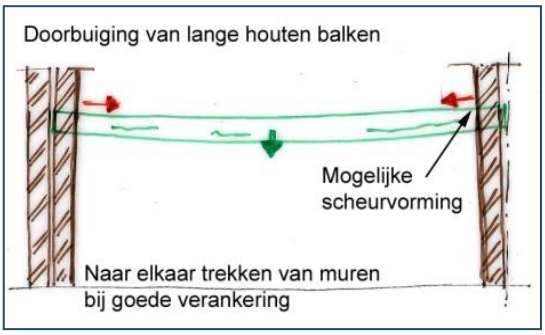
De draagmuren moeten goed verticaal staan. Al uitgebolde/uit-gebuikte muren hebben een verhoogd knikrisico bij extra verticale belasting; deze kunnen beter worden afgebroken en opnieuw opgemetseld met de noodzakelijke versterkingen.

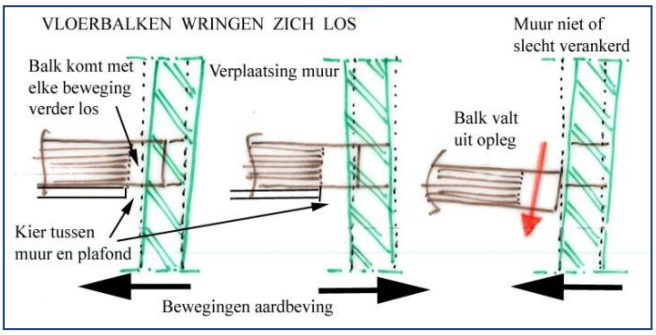
[319] Bij tektonische aardbevingen zijn de aardbevingsbewegingen vele malen groter dan in Groningen en houden ook vele malen langer aan. In Groningen is de maximale horizontale verplaatsing hooguit 1 cm, maar na 2020 niet meer dan 0,5 cm bij een maximale PGAg van 0,05 in het epicentrum.
[320] Overeenkomstig EN 1996-1-1:2004 mag de maximale hoogte/dikte verhouding niet groter zijn dan 12.

Figuur 8-27. Maatregelen bij vloeren.
Deze zijn nodig om een gebouw met een slappe houten vloer seismisch te versterken zodat het vloerdiafragma zijn werk doet.
De verbindingen met de muren langs de vier zijden is net zo belangrijk als de vloerverstijving

De naar binnen of naar buiten hangende muren zullen ook extra horizontale belasting ondervinden bij verhoogde verticale belasting[321]. Hoe dunner de muur, of hoe meer openingen er in de muur zitten, hoe zwakker de muur zal zijn en hoe belangrijker het is dat er geen belasting van de vloeren loodrecht op het vlak van die muren komt.

Slappe balken die doorbuigen en wél aan de dragende muren zijn gekoppeld kunnen de muren naar binnen trekken. Het is op verschillende plaatsen waargenomen dat lange zolderbalken zijn gaan doorbuigen omdat de zolder in gebruik werd genomen en er daardoor extra belasting op die balken kwam. Bij een niet-verankerde balk kan bij het op-en-neer bewegen van die balk de heen-en-weer beweging in de draagmuur resulteren in het loswrikken van die balk, omdat deze wel uit de muur wordt getrokken, maar vaak niet meer terug in de muur kan schuiven vanwege het gruis.





Figuren 8-28. Loskomen uit balkoplegging. Bij doorbuiging ontstaat er trek aan de muren. Bij losse verbindingen kunnen kruimels het terugschuiven van de balken tegenhouden.

Omdat in de provincie Groningen veel zogenaamde rentenierswoningen staan, die van oorsprong alleen een begane grond woonruimte hadden, is de balkconstructies van de vliering niet ontworpen voor woongebruik belasting en werd ook niet volgens de bouwnormen zo bedacht. Bij het bewoonbaar maken wordt dan de vloer te hoog belast en gaat doorbuigen. Bij langdurige belasting in de vorm van opslag van zware materialen zullen de balken ook gaan doorbuigen. In sommige situaties zijn er op de begane grond tussenmuren verwijderd.

Het kan ook zijn dat het in gebruik nemen van de ruimte onder de kap als woonruime zonder bouwvergunning is uitgevoerd. [322]

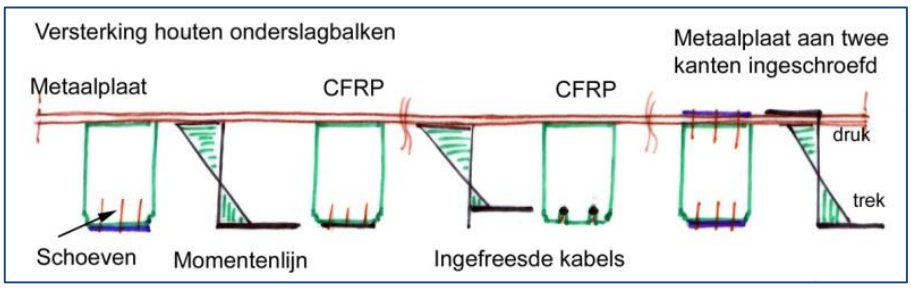
[321] Overeenkomstig NEN-EN 1996 2:2006 artikel 3.4 tafel 3.1, mag de verticale verplaatsing van een muur niet meer zijn dan 20 mm of 1/200 van de hoogte van de verdieping hoogte (bij 3m verdieping hoogte = 15 mm), met een maximum van 50 mm voor de totale gebouwhoogte bij 3 of meer verdiepingen.
[322] BoWoTo in de provincie Groningen heeft gedurende de laatste decennia een onderbezetting in de dorpen en zal dus niet in staat zijn geweest om uitvoerig controle uit te oefenen op (ver)bouwactiviteiten.

Figuren 8-29. Te zware zoldervloerbelasting. Dunne balken kunnen leiden tot het doorbuigen van die balken. Voorbeeld van het in gebruik nemen van een zolder voor bewoning. Slappe balken buigen meer door vanwege de verticale amplitude van de aardbevingsschokken. Het resultaat is dat de plafondbalken milimeters uit de muur worden getrokken (Links onder) Dit kan verholpen worden door het versterken van die balken.

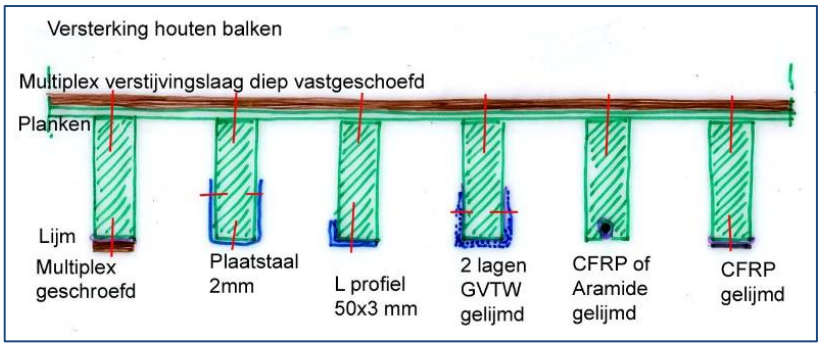
Te lange en te slappe houten balken die teveel doorbuigen kunnen versterkt worden door het opschroeven van een metaalplaat (of L-profielen) aan de onderzijde; het oplijmen en inschroeven van *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP); of het inlijmen van een *Carbon Fibre* wapeningkabel met een twee componenten polymer[323]. De druk-trek lijn van de balk veranderd door deze bewerkingen. Voor het op- of inlijmen van een CFRP-strook dient het hout goed schoon te zijn en de balk eerst opgedrukt met een kleine toog. De tijdelijke ondersteuning kan pas verwijderd worden wanneer de verbinding goed is uitgehard.

Om een goede aanhechting te garanderen moet het CFRP tevens geschroefd worden over het uiterste ¼ vanaf de uiteinden. Vóór het aanbrengen moet de balk ondersteund worden, liefts met een kleine opwaartse toog, zodat de balk onder de vloerbelasting terugzakt tot de horizontaal.

Figuur 8-30. Opties voor balkversterking. Met CFRP-versterking van een lange houten balk of metaalstroken.



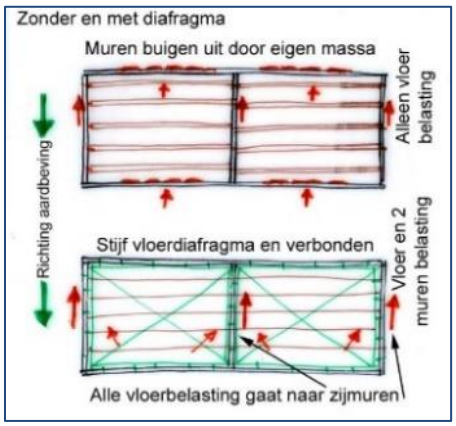
[323] Zie bijvoorbeeld: http://www.ce.ncsu.edu/srizkal/linked_files/Flexural_Strengthening_of_Timber_Bridge_Beams.pdf hetzelfde principe dat voor de grote balken wordt toegepast kan ok voor kleine balken worden toegepast.

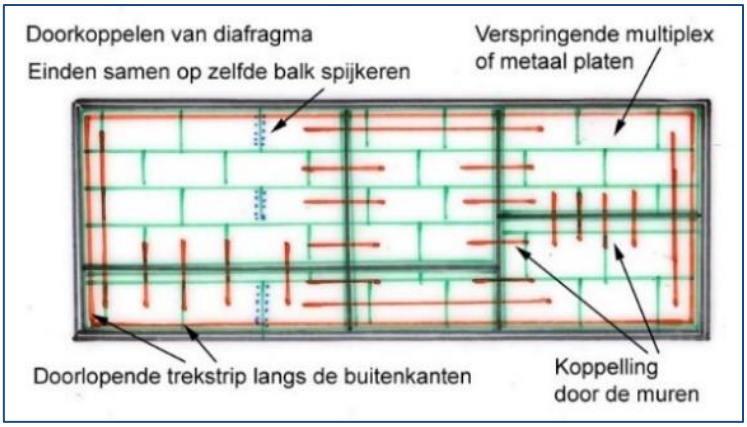


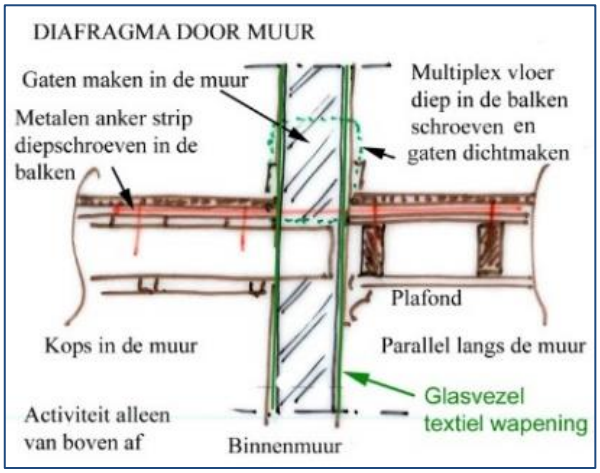
Figuur 8-31. Meer opties balkversterking.
Hier wordt alleen de onderkant versterkt. Het in een kleine toog opdrukken van de balk vóór de versterking is belangrijk; daarna zakt deze horizontaal terug.

Bij meerdere kleinere vloervelden, zoals het geval is bij houten vloeren, moeten deze velden onderling stijf en sterk met elkaar verbonden worden, door en over de tussenliggende draagmuren heen om een doorlopend diafragma te maken. De doorkoppeling kan met metalen strippen die door de muur worden getrokken en onder de multiplex of OSB-verstijvingsplaten worden bevestigd, of onder de afwerkvloer.

Wanneer de houten vloerdelen verwijderd worden, kunnen de verbindingen aan de balken gebout worden met daar overheen de verstijvingsplaten. Bij een verdikking van de vloer (geluiddemping, laminaat) moeten de binnendeuren soms van onderen aangepast moeten worden.





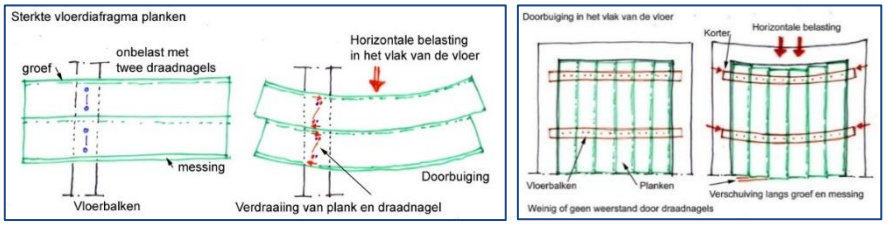


Figuren 8-32. Binnenmuren moeten gekoppeld.
De belastingen moeten naar alle draagmuren overgebracht worden. Door een goede verbinding aan de muren kunnen ze de belasting in het vlak van die muren naar de fundering overbrengen. Bij de creatie van diafragma's zal het belastingpatroon op de muren en op de funderingen van die muren veranderen.

8.6. Beweging van het gebouw door traagheid

Elke massa heeft traagheid om in beweging te komen, en wanneer de massa eenmaal beweegt heeft het een traagheid om weer te stoppen. Een gebouw (< 20 m hoog) zal daardoor eerst in haar geheel in de tegenovergestelde richting bewegen dan de grondbeweging. Als de schok voorbij is zal een gebouw nog even natrillen door haar elasticiteit.

Figuren 8-33. Herhaling van figuren 8-3 en 8-12. De beweegbaarheid van de houten vloeren.



Metselwerk heeft een erg lage elasticiteit (bros), terwijl hout en metaal een hoge elasticiteit hebben en daardoor buigzaam zijn. Verbonden oude houten onderdelen zoals dakconstructies en houten vloeren kunnen daarnaast ook nog extra beweging toestaan. De in de Eurocode 8 toegestane beweging van elke etagehoogte hangt af van de gebruikte constructiemethode en het materiaal[324].

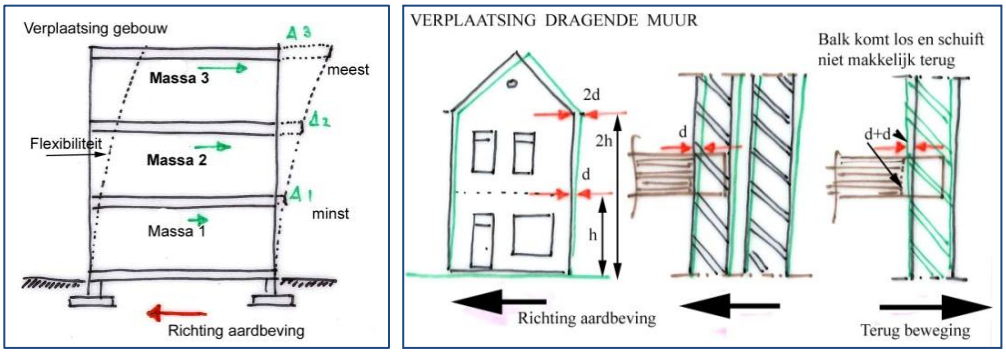
Voor brosse materialen zoals metselwerk en beton is de maximale toegestane horizontale verplaatsing van vloeren of "drift": $d_{rv} \leq 0{,}005$ h. Als de verdieping hoogte h = 300 cm dan is de d_{rv} in metselwerk of beton dus maximaal 1,5 cm; dit is van toepassing op de nieuwbouw in Groningen (NPR). Echter, bij een dergelijke verplaatsing in het vlak van de gevel zullen dan scheuren ontstaan. Bij een verplaatsing loodrecht op het vlak van de gevel zullen de lintvoegen breken, maar hier zullen na de beving deze scheuren niet zichtbaar zijn.[325]

Bij grotere bewegingen zal er altijd flinke schade aan de baksteenconstructie optreden. Voor flexibele constructies in hout of staal is dit $d_{rv} \leq 0{,}0075$ h, terwijl voor flexibele gebouwen die geen niet-structurele invulelementen bevatten $d_{rv} \leq 0{,}010$ h. Bij een grotere drift kan materiaalschade optreden zoals scheuren tussen oppervlaktes en bij verbindingen.

Bij het versterken van bestaande woningen, om nieuwe scheuren te voorkomen, moet zorggedragen worden dat de funderingen en muren sterk genoeg zijn en de vloeren rondom stevig aan die muren zijn verbonden. Zolang dit het geval is, is ook de kans op nieuwe scheuren uiterst klein.

De volgens de NPR 9998:2020 maximaal toegestane drift van 1,5 cm is per etage, en kan bij drie etages (9 m hoog) oplopen tot 4,5 cm. Metselwerk kan echter niet zoveel vervorming opnemen. Een hoge schoorsteen die daar bovenop staat zal nog meer uitzwaaien; dit is een reden waarom hoge schoorstenen een extra risico kunnen vormen als deze aan hun basis niet stevig zijn verankerd, wat meestal helaas het geval is.

Figuren 8-34. Meer verplaatsing in hoogte. Verankeringen tussen de vloeren en de muren moet scheuren voorkomen.

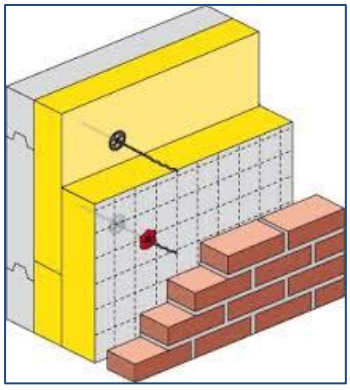


[324] Eurocode 8 paragraaf 4.4.2.2 (2) formules over toegestane vervorming (drift). Deel C Paragraaf 4.3.1 metselwerk code geeft maximale drift aan als breedte vloer/300. Voor een 450 cm brede vloer is dit 1,5 cm.
[325] Omdat de NPR9998:2020 nog steeds een veel hogere PGAg aangeeft dan in de werkelijkheid zal voorkomen, zal de feitelijke maximale horizontale elastische verplaatsing volgens de berekening < 5 mm zijn. In die berekeningen voor nieuwbouw zitten dan ook nog veiligheidsmarges waardoor het gebouw in de praktijk sterker zal zijn dan de berekeningen en minder flexibel zijn of bewegen.

Figuur 8-35. Slechte verankering balken.
Bij de recente aardbeving in Petrinja, Kroatië, 06-01-2021 (Richter 4,9) laat het effect zien van onvoldoende verbindingen tussen de constructie onderdelen, met name het gebrek aan het zolder-dak diafragma.

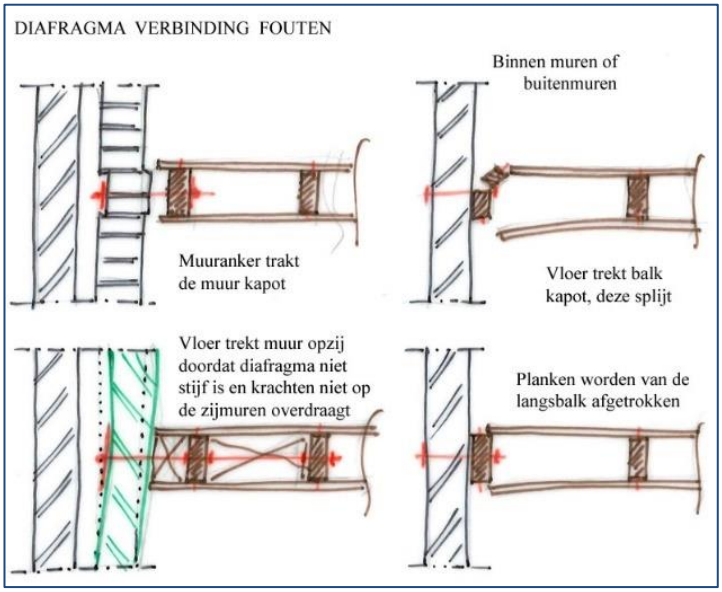
8.7. Verbindingen van houten vloeren met de muren

Er dient over de hele lengte van alle vloeren een sterkere koppeling gemaakt te worden tussen het vloerdiafragma, binnen spouwblad én het buitenspouwblad. Wanneer de kwaliteit van de spouwankers niet goed is moeten er spouwankers worden toegevoegd (Helifix Figuur 8-14).



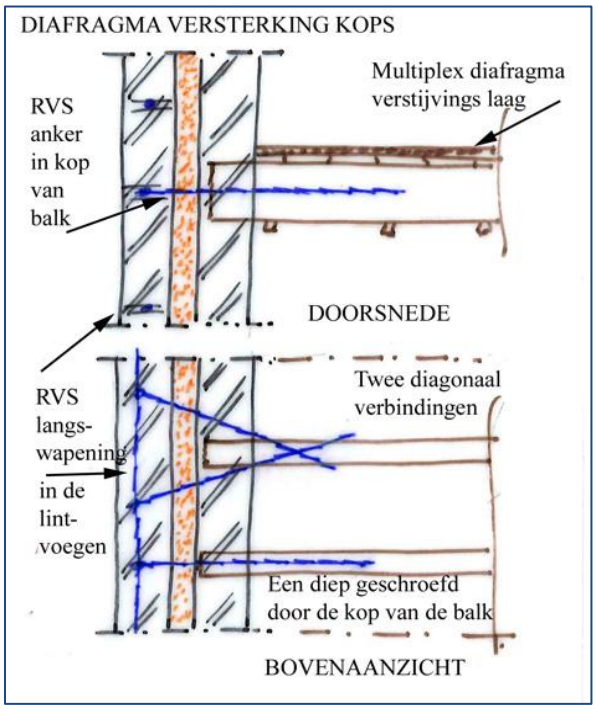
Figuur 8-36. Brede spouwen van na 1980. Deze hebben reeds isolatieplaten. Die isolatie wordt met nieuwere isolatienormen steeds dikker. De spouwmuur heeft dan vaak een slappe verbinding tussen de binnen- en buiten spouwbladen. Bij latere meerverdiepingen woningen is de binnen spouwmuur dikker en van gelijmde hoge druk blokken, die wel voldoende sterkte hebben om het vloerdiafragma aan te verbinden.

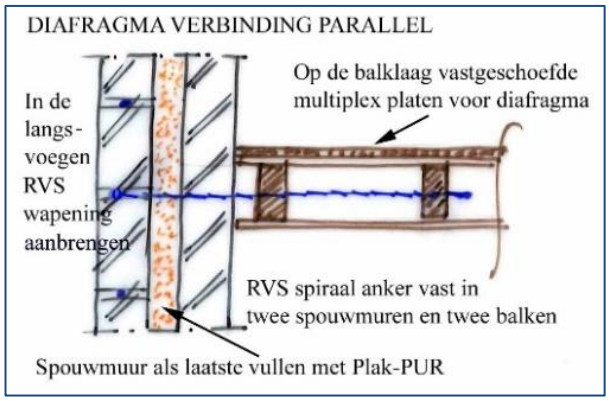
Om te beoordelen welk type verbinding het beste kan worden toegepast is enig onderzoek van de bestaande constructie noodzakelijk. Per woningtype en bouwperiode zijn deze meestal bekend, maar bij gebouwen van vóór 1900 kunnen verschillende soorten gebreken aanwezig zijn, terwijl in de meeste situaties de bestaande ankers onvoldoende zijn om horizontale belastingen over te dragen.

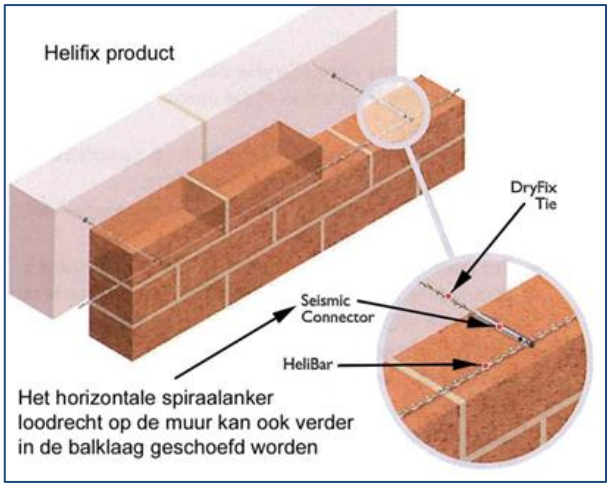


Figuur 8-37. Bakstenen kunnen afschuiven. Dit kan door veroudering van het metselwerk. Dit kan ter plaatse van het balkanker voorkomen, wanneer het anker te kort is en een te klein muurgedeelte vasthoudt.
De binnenmuur kan naar binnen worden getrokken wanneer de balasting door een stijve vloer niet naar de zijmuren wordt geleid.
Muurbalken kunnen splijten en planken losgetrokken.

De toepassing van rvs-spiraalankers (wokkels) en van buiten af is de eenvoudigste manier om houten balken aan de buitenmuren te verbinden[326]. De spiraalankers die in de balken worden geboord kunnen in de buitenspouwmuur verbonden worden met de langswapening die in de lintvoegen loopt. Hierdoor zal de verbinding met de balk sterker worden dan alleen de aanhechting tussen het spiraalanker en de lengte van het boorgat in de lintvoeg (minimaal 5 cm).



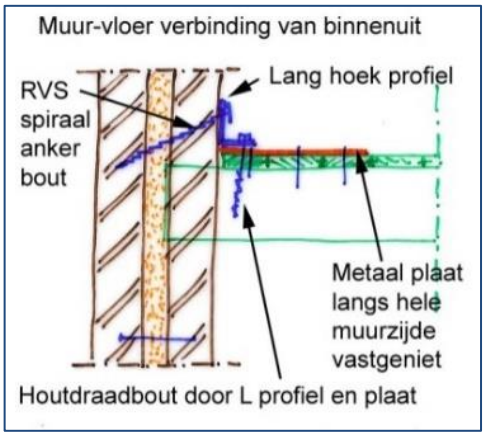




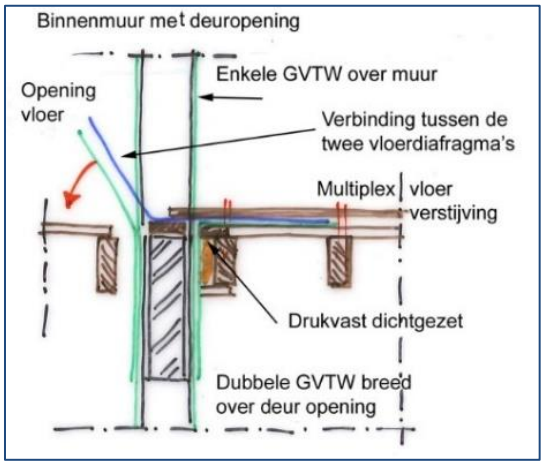
Figuren 8-38. Spiraalanker (wokkel) kops. Dit moet > 5 cm in de muur verankerd zijn. Ook moet het door minstens twee parallelle balken heen gaan. Zie ook de Donut oplossing (Figuur 8-15) die in principe ook voor houten balken kan worden toegepast.
<u>Rechts</u>: Verbinding met langswapening.

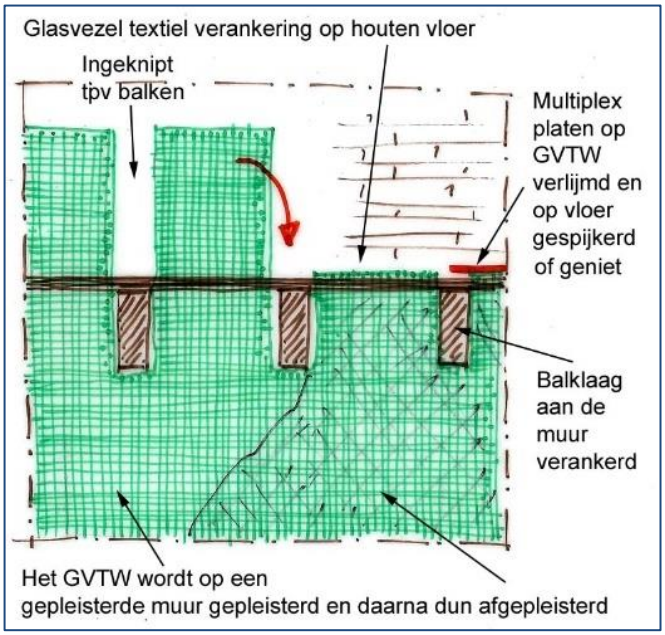
De verbindingen tussen vloer en muur met hoekprofielen en het doorkoppelen van vloeren is relevant. Een variant van de hoekprofielen is de toepassing van een gevouwen plaat.

Figuur 8-39. Gevouwen staalplaat. Het L-profiel wordt met Helifix spiraalanker bevestigd. In de baksteen muur kunnen ook chemische bouten geschroefd worden.
Voor betonnen vloeren zijn erschillende methoden van bevestiging mogelijk. Zie Figuren 8-23 en 8-25.



[326] Zie bijvoorbeeld: https://www.helifix.com/products/retrofit-products/torkfix en www.ABCadamas.nl en www.Totalwall.nl die beiden de Helifix producten in Nederland toepassen.



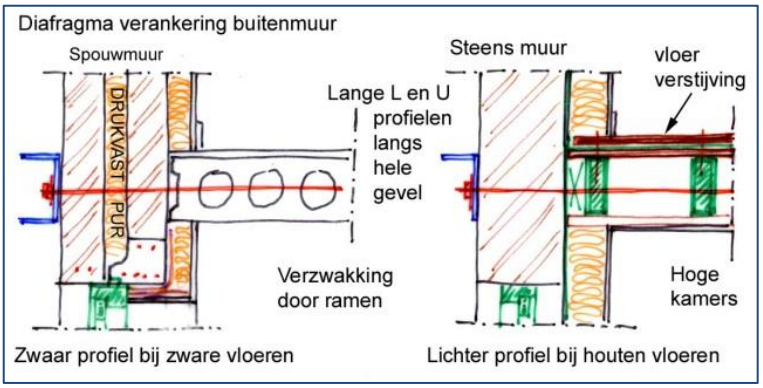


Figuren 8-40. Toepassing van GVTW.
Dit werd in Hoofdstuk 5 vermeld.

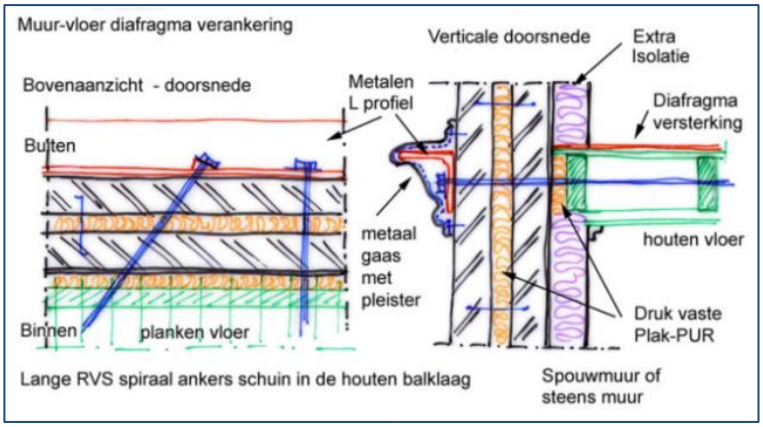
De vloerdiafragma's moeten worden doorgezet over de hele vloer van de ene kant van het gebouw naar de andere kant. Bij tussenmuren moet er door de muur heen een verbinding worden gemaakt, bijvoorbeeld door metalen strippen tussen de vloer en de multiplex verstijving te schroeven.

8.8. Balkconstructie rondom de buitenkant

Bij sommige gebouwen bestaat de optie om aan de buitenkant een doorlopende balk te maken en de vloerdelen/diagragma aan deze balk te verbinden, waarbij de balkconstructie op het buitenblad kan worden weggewerkt in de architectuur van het gebouw. Deze balkconstructie kan het meest eenvoudig van een stalen L of U profiel zijn dat door de muur heen aan het diafragma gekoppeld wordt. Bij holle prefab vloeren moeten de randkanalen bij voorkeur worden ingevuld.



Figuur 8-41. Buitenzijdige balkconstructie.
Hieraan is de vloer vast gekoppeld.
Deze houdt op elke etage het hele gebouw bij elkaar en creert een robuste oplossing. Geschikt als er geen inhammen zijn.



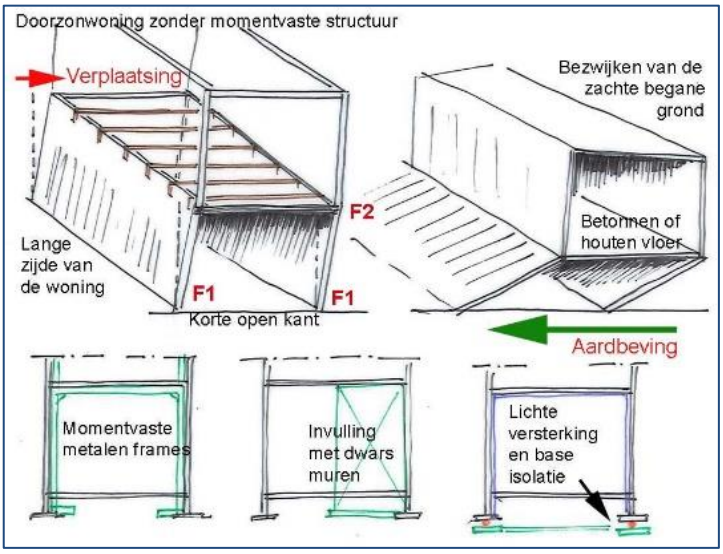
Figuur 8-42. Lange Helifix ankers.
Tussen de muur en de vloer.
De buiten randbalk kan met lange schroeven aan de balklaag worden vastgeschroefd.
Zie ook de constructieve dakgoot in Hoofdstuk 7 LATEIEN.

De detaillering moet naast de sterkte en technische oplossingen echter ook rekening houden met architectonische of esthetische indeling van de buitengevel. Bij schoon metselwerk kunnen gepleisterde banden op de gevel worden aangebracht (speklagen). Bij gepleisterde gevels kunnen de banden aansluiten op bestaand werk. In beide gevallen kunnen de horizontale banden verbonden worden aan verticale gevel versterkingen. Hieronder enkele foto's van bestaande gebouwen waar reeds gepleisterde gevel details aanwezig zijn. De decoraties kunnen versterkingsbalken bevatten die aan het diafragma zijn verbonden.

Figuren 8-43. Imitatie 'speklagen'.
Ban versieringen zijn onderdeel van de architectuur.
Tegelijkertijd kunnenze een buitenzijdige versterkingsconstructie bevatten die de vloerdiafragma's koppelt.
Rechts. De verticale hoekversieringen van het gebouw kunnen ook versterkingsconstructies omvatten.

8.9. erankering van portaalconstructies

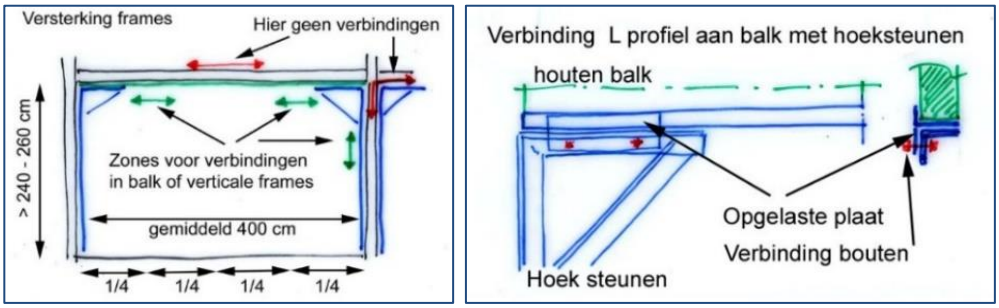
Bij doorzonwoningen of winkelpuien is er te weinig gevelmetselwerk om belastingen via die gevels naar de fundering over te brengen. In sommige situaties kan het bezwaarlijk zijn om ter plaatse van die gevel een sterke portaalconstructie te maken en te funderen. Wanneer de bovenliggende vloer niet goed versterkt en verstijfd kan worden om de horizontale belasting naar de voor- en achtergevel over te dragen, kunnen er een serie van lichtere portalen of momentsterke muur-vloer constructies gemaakt worden. Ook kunnen/moeten de muren versterkt worden tegen het doorbuigen bij belasting loodrecht op het vlak van die muren (zie hoofdstuk 6).



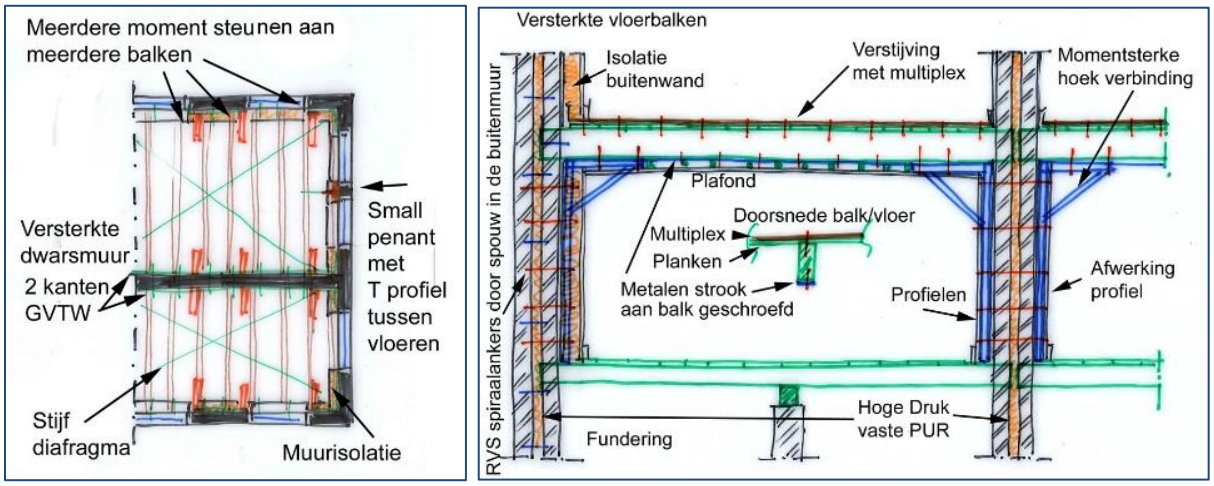
Figuur 8-44. Winkelpui of doorzonwoning. Deze heeft een momentsterke constructie lodrecht op de gevel nodig.
Dat kan een portaal, dwarsmuur, hoek- en muurversterking of base-isolation zijn om de horizontale belasting te weerstaan.
Een andere optie is de toepassing van sterke constructieve glaspanelen.

Bij houten vloeren kunnen een serie metalen frames toegepast worden die aan de houten vloeren worden verbonden. De vloerbalken kunnen daarvoor eerst versterkt worden volgens de schetsen van figuren 8-30 en 8-31. De metalen profielen kunnen tegelijkertijd voor de muren versterking bieden. Om bij elke vloerbalk een profiel te plaatsen kunnen lichte constructies gebruikt worden.

Figuren 8-45. Maximum momentzones sterk. Hier mogen de balken niet verzwakt worden.

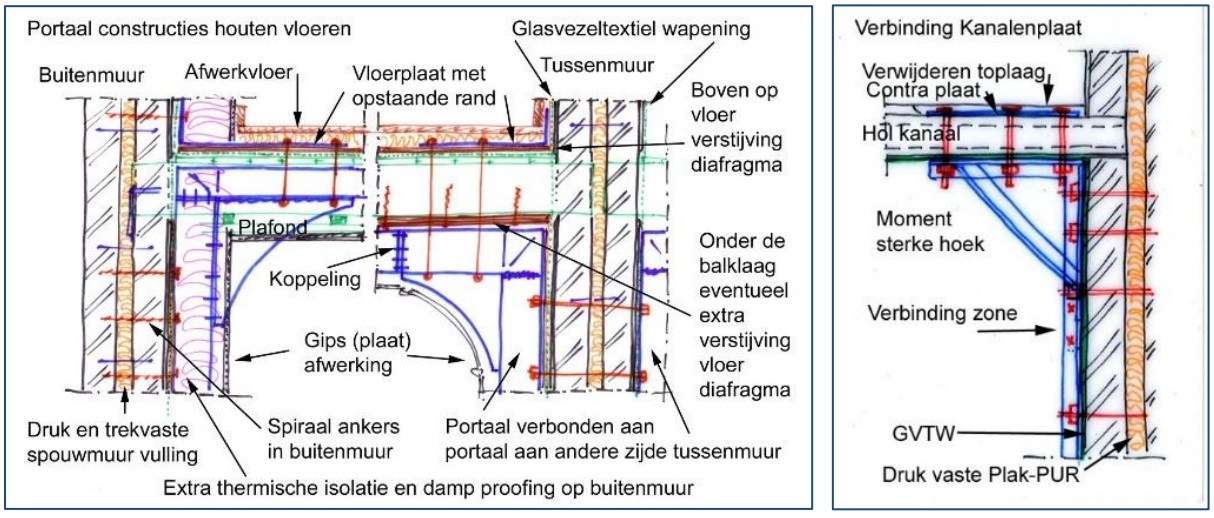


Per portaal kan eenvoudig uitgerekend worden wat de maximale horizontale belasting is (e.g. 5% van de massa bij PGAg 0,05) en hoeveel ankers er nodig zijn om een goede verbinding te maken.



Figuren 8-46. Momentsterke frames/portalen. Dit kan bij houten vloeren. Wanneer ze alleen tegen de buitenmuren worden geplaatst kunnen ze daar weggewerkt worden in de binnenzijdige thermische isolatie.

De detaillering van verbindingen hangt af van de bestaande constructies en de belastingen. Hetzelfde principe kan gebruikt worden voor zowel houten vloeren als betonnen systeemvloeren.



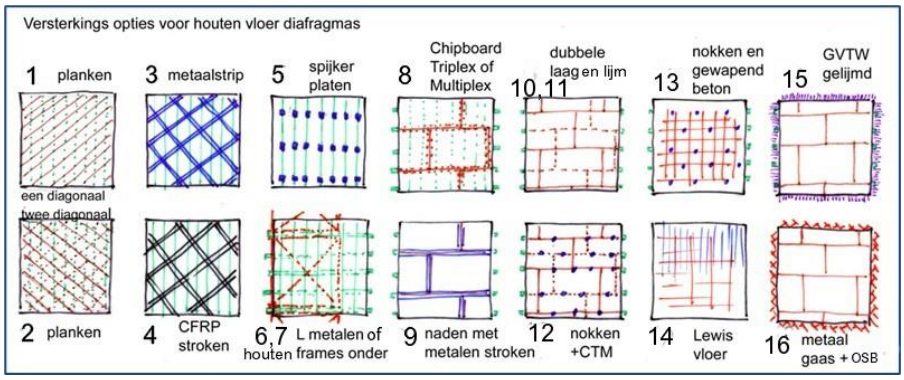
Figuren 8-47. Meerdere oplossingen. Deze zijn afhankelijk van de architectuur, wat er binnen mag en hoe ze weggewerkt kunnen worden. De versterkende hoek ondersteuning wordt korbeel genoemd. In oudere gebouwen kunnen deze korbelen ook een architectonische toevoeging zijn of aan het interieur worden aangepast.

Figuren 8-48. Portalen of korbelen.
Er zijn verschillende methoden om de metalen of houten portaalconstructies in het interieur te integreren of te verbergen of ze als decoratief element te ontwikkelen.

8.10. Diafragma verstijvingsoplossingen houten vloeren

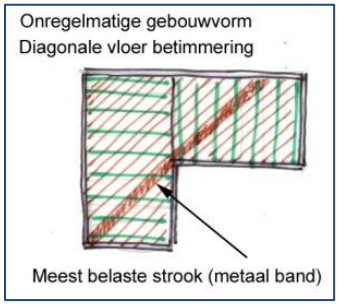
Er zijn wellicht wel een 20-tal oplossingen om het vloerdiafragma te versterken of verstijven. In het overzicht zijn de 16 meest voorkomende oplossingen gepresenteerd.

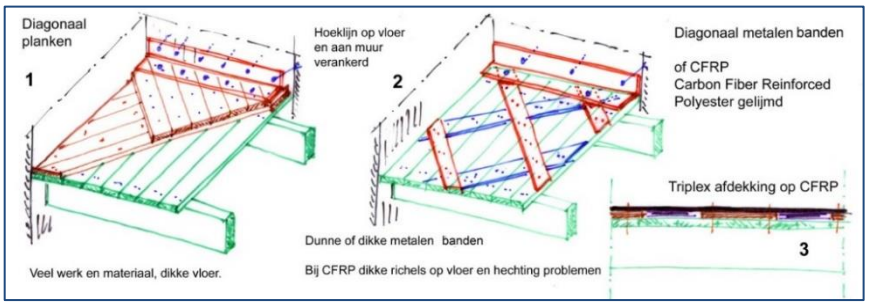
Figuur 8-49. 16 gangbare methoden.



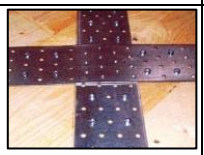
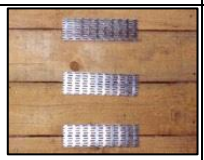
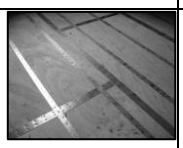
Zie tabel beneden.

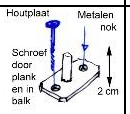
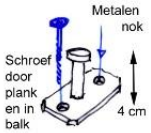
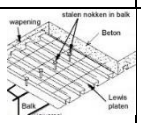
Methoden #1, #2 en #3. Voor vloeren met een onregelmatige vorm. De donkergekleurde hoekzone (schets links) ondergaat een extra zware belasting door de asymmetrische gebouwvorm. Het is beter om hier één metalen strook toe te passen. Een dunne metaalplaat staat toe dat de nagels direct door die metaalplaat in de houten vloer te schieten (snel werk).





Figuren 8-50. Methoden #1, #2 en #3. <u>Links:</u> methode #1. Combinatie van planken in één richting met methode #3 op de etagevloer of zolder om de extra krachten in de hoek van het gebouw op te vangen. <u>Midden</u>: methode #2 met dubbele planken. <u>Rechts:</u> methode #3. De verdikkingen kunnen in een geluiddempende ondervloer wegvallen; daarover laminaat. Deze methode kan ook verbeterd worden samen met methode #1.

#	Omschrijving (zie schets)	Voordelen	Nadelen	Shear[327] kN/m	Advies voor Groningen[328]
1	Planken in slechts een enkele diagonale richting gespijkerd over bestaande vloer.	Eenvoudige bewerking. Vlak oppervlak. Soms goed voor L vorm onregelmatige vloeren.	Geen gelijke stijfheid in alle richtingen.	4 - 5	Matig
2	Planken in beide diagonale richtingen gespijkerd over bestaande vloer.	Eenvoudige bewerking. Vlak oppervlak. Gelijke vloer stijfheid in alle richtingen.	Veel materiaal gebruik. Dikkere vloer. Ongelijke traptrede.	7 - 8	Matig
3	Metaal banden in de twee  diagonalen met spijkers of schroeven. Verschillende diktes of breedten.	Eenvoudige en snelle verwerking mogelijk. Ook voor dakbeschot toe te passen. Ook zware versterking.	Richels op de vloer en verdikkingen op kruisingen. Vloeroppervlak moet aangepast. Montagebanden 20 mm x 1 mm zijn te dun.	30 - 125	Goed, en aanpasbaar voor de vloer of dakbeschot
4	*Carbon Fiber Reinforced Polyester* stroken op vloer geplakt in twee diagonalen. Hout oppervlakte moet goed schoon en vlak gemaakt worden.	Sterk materiaal wanneer op juiste wijze toegepast. Kleine oppervlaktes mogelijk. Geschikt als tussenlaag (*Near Surface Mounting - NSM*). Combinatie met gelamineerd hout, beton.	Gespecialiseerde techniek vereist vakmanschap en berekening. Hechting op zachthout beperkt. Dikke richels. Vloer moet vlak worden afgewerkt voor gebruik.	10 - 75	Niet. Duur. Deskundig werk noodzakelijk.
5	Spijker-platen over de naden tussen  alle planken.	Op markt beschikbaar materiaal gebruikt voor de verbindingen in spanten. Eenvoudige toepassing. Vlakke constructie.	Veel werk over alle naden. Gespijkerd. Dunne planken splijten. Werkt beter bij dikke en brede vloerdelen.	5 - 10	Niet. Veel werk. Gespijkerd.
6	L metalen frames onder de balklaag of tussen de balken. Deze worden weggewerkt in binnenzijdige muurisolatie.	Bovenoppervlak van vloer wordt niet aangetast. L-ijzer lokaal materiaal. Mogelijk in combinatie met versterking boven op de vloer.	Plafond moet opengemaakt worden. Tussen de balken aanbrengen vereist erg veel meetwerk. Laswerk geeft brandgevaar.	30 - 125	Matig. Afhankelijk van omstandigheid.
7	Zelfde: houten balken onder vloer	Lokaal materiaal beschikbaar	Veel werk, moeilijk trek vast.	0 - 5	Niet
8a	Houtvezelplaat OSB zonder overlap. (geen MDF)[329]	Goedkoop materiaal, eenvoudig en snel toepasbaar. Schroeven. Alleen langvezelige OSB. Vlak. Verschillende diktes.	Hechting met plankenvloer afhankelijk van schroeven en kwaliteit platen. Platen te koppelen bij de naden.	5 - 15	Goed en snel
8b	Triplex, sterke kwaliteit. Niet overlappend	Goedkoop materiaal, eenvoudig en snel toepasbaar. Schroeven of spijkeren. Vlak.	Sterkte is beter met het koppelen van de platen over de naden met metaal-strips.	3 - 5	Matig, zwak zonder strips.
8c	Multiplex, sterke kwaliteit. Niet overlappend.	Goedkoop materiaal, eenvoudig en snel toepasbaar. Schroeven. Verschillende diktes. Vlak.	Sterkte afhankelijk van dikte. Sterkte is beter met koppelen over de naden met metaal-strips.	10 - 20	Goed en snel
9	Zelfde als opties #8a, 8c met de naden  overdekt met metaalplaat.	Hogere treksterkte door metaal stroken over naden gespijkerd, en in de balken. 0,2 mm metaalplaat is vrij vlakke afwerking.	Sterkte afhankelijk van dikte van gebruikte materialen. Deze sterktes van het materiaal moeten bekend zijn.	15 - 30	Erg goed.

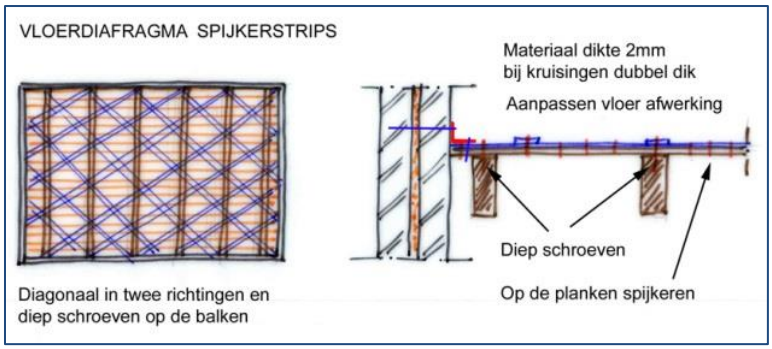
#	Omschrijving (zie schets)	Voordelen	Nadelen	Shear kN/m	Advies voor Groningen
10	Zelfde als opties #8a en #8c maar met dubbele laag waarbij de naden overdekt zijn met tweede laag.	Hogere treksterkte dan #8. Geheel vlakke oplossing zonder metaalplaat richels.	Sterkte afhankelijk van dikte van gebruikte materialen.	15 - 45	Erg goed. Ook voor zware gebouwen
11	Zelfde als #10, maar verlijmd op de vloer en tussen de lagen.	Zeer hoge treksterkte. Vrij eenvoudige oplossing. Vlak.	Afhankelijk aantal gelijmde lagen.	40 - 150	Voor erg zware aardbevingen.
12	Zelfde optie als #10, maar met stalen nokken in de vloer door gaten in de houtvezel, multiplex.	Hoge afschuifkrachten mogelijk afhankelijk van plaatdiktes. Vlak.	Veel werk voor verbinding met nokken 	20 - 50	Speciale omstandigheid
13	Nokken in de vloer schroeven, papier, wapening net en beton. 	Op bestaande vloer, geen sloop. Nokken in balken schroeven. Eenvoudige constructie met zeer stijve vloer. Vlak. Natte ruimtes.	Aanzienlijk toegevoegde massa dus extra belasting. Veel werk. Nokken aanbrengen en verbindingen	500 - 1000	Alleen voor hele zware bevingen of gebouwen
14	Lewis betonvloer. Direct op de houten balklaag[330].	Eenvoudig en vrij algemeen toegepast in renovatiewerk van oude woningen. Zeer stijve vloer. Natte ruimtes.	Eventueel toepassen van nokken. Massa. 	500 – 1000	Goed, maar extra massa.
15	Glas Vezel Textiel Wapening, GVTW. Verlijmd onder houtvezel of multiplex platen.	Mogelijkheid van sterke verbindingen met muren. Vrij eenvoudige techniek. Dun.	Verschillende diktes/sterktes voor GVTW. Specialistisch werk.	50 - 200	Zeer goed en dun.
16	Metaalgaas of geëxpandeerd metaal onder houtvezel of multiplex	Achter plank sterke verbindingen met muren. Dun, vlak.	Verschillende diktes/sterktes. Corrosie?	50 - 150	Goed.

Methode #3. De verdikkingen van de metaalstroken worden weggewerkt door de laminaat ondervloer aan te passen of door methode #1 of methode #8a er overheen te bevestigen. Bij het dikker maken van de vloer moeten de deuren aan de onderkant worden aangepast en eventueel de bovenste traptreden. Het gebruik van dubbel diagonaal planken is een interessante oplossing voor een zolder, als men de oude planken van een dakbeschot hiervoor kan hergebruiken. Nieuwe, stijve en sterke isolatieplaten kunnen dan op het dak worden toepast.

Het diagonaal diep opschroeven van metalen stroken of montagebanden door de planken en in de balklaag. De montagebanden zijn gegalvaniseerd. Bij elke kruising zijn ze samen dus nog dikker. Met de vloerafwerking moet hiermee rekening gehouden worden.

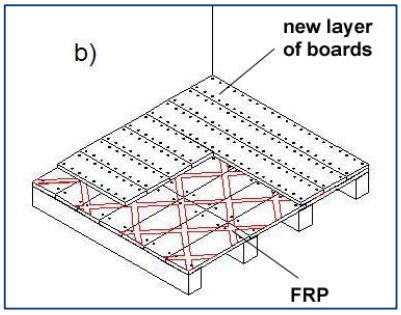
Randverbindingen vloer-muur met een brede metaalplaat leveren additionele treksterkte langs de randen van het diafragma. De metalen spijker/schroef montagebanden (30 mm x 1,5 mm 11 kN) kunnen door de tussenmuren heen getrokken worden om naastliggende vloeren te verbinden.

[327] Internationale publicaties. Voor de **Goed** opties kunnen tabellen gemaakt worden per materiaal soort/dikte.
[328] Dit advies is gebaseerd op matige versterking (< PGAg 0,05) en de hoeveelheid materiaal of werk.
[329] MDF, *Medium Density Fiberboard* heeft een zeer fijne vezelstructuur en is niet sterk genoeg. OSB, *Oriënted Strand Fiberboard* is een USA/Canada product met lange houtvezels en zeer goede sterkte-eigenschappen.
[330] Volgens documentatie hebben betonnen vloeren een hogere shear-waarde tot 2000 kN/m, maar deze kracht moet naar de muren overgebracht worden door de verbindingen.



Figuren 8-51. Verstijven van een dakbeschot. Voor de gemiddelde vloer en dakbeschot in de provincie Groningen kan een eenvoudige keuzetabel met afmetingen gemaakt worden.

Methode #4. *Carbon Fiber Reinforced Polyester* (CRFP) stroken in twee diagonalen. Dezelfde configuratie als de metalen banden. Het oppervlak van de vloer moet goed schoon en vlak gemaakt worden. CFRP is een zeer sterk materiaal wanneer het op juiste wijze met de juiste polyester harders is toegepast. Beschermende kleding is noodzakelijk. Vanwege de grote sterkte zijn smalle stroken voldoende, maar bij zachthout is de aanhechting op het hout beperkt (kapottrekken houtvezels). Om dit te voorkomen zijn bredere aanhechtstroken noodzakelijk, wat de toepassing duurder maakt.



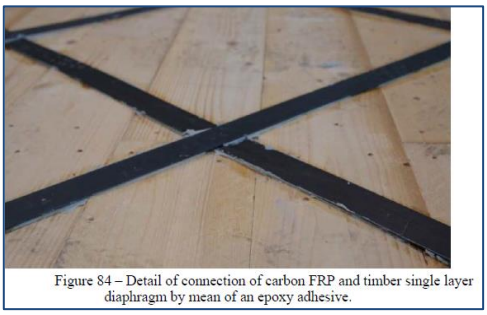


Figure 84 – Detail of connection of carbon FRP and timber single layer diaphragm by mean of an epoxy adhesive.

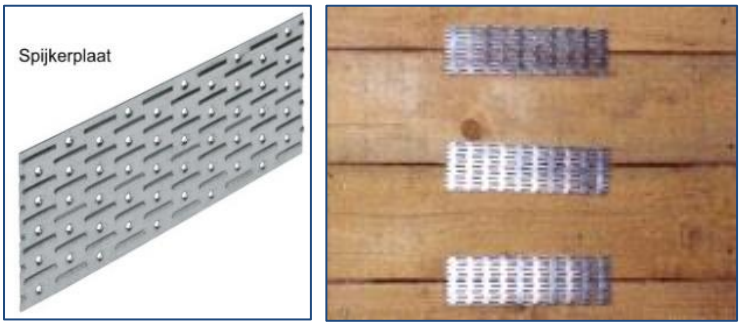
Figuren 8-52. Voorstel nieuwe topvloer. Foto van CFRP op een testmodel met schoon hout. Afbeelding vloerschuurmachine op zolder.

Doordat de gelijmde stroken dik zijn met verhogingen op de kruisingen moet de versterkte vloer eerst ingevuld en afgedekt worden met een vloer onderlaag (geluiddempend-isolerend), waarover een laminaat gelegd kan worden.

De CFRP-toepassing is beter geschikt als tussenlaag (*Near Surface Mounting - NSM*) waarbij het ook aan de bovenliggende spaanplaat (OSB) wordt gelijmd. Het CFRP is geschikt voor toepassing op gewapend beton (systeembouw). Vanwege de hoge materiaal- en arbeidskosten is het belangrijk dat de toepassing dan wordt berekend. Deze gespecialiseerde techniek vereist vakmanschap. Vanwege de lage aardbevingsbelastingen in Groningen na 2020 is dit voor woningbouw een te zware maatregel en daarom niet aanbevolen voor etage- of zoldervloeren.

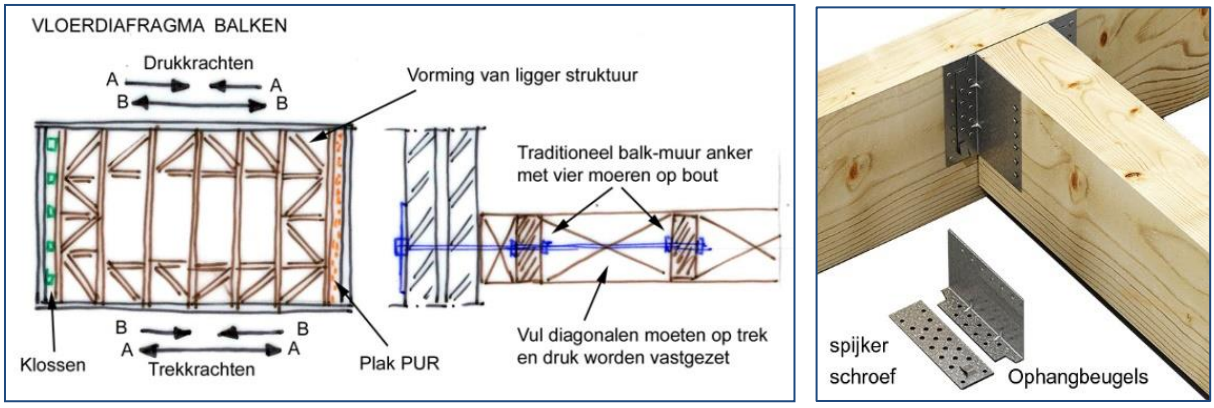
Methode #5. Spijkerplaten of krampplaten over alle naden tussen de planken. Veelvuldig gebruikt voor de verbindingen in houten spanten (tweezijdig). Eenvoudige toepassing en levert een vlakke constructie. Bij spijkerplaten kunnen langere nagels in de balken gedreven worden. De hoeveelheid werk komt overeen met het aanbrengen van volledige board platen. Werkt goed bij dikke en brede vloerdelen. Geen sterke constructie bij dunne oude planken (splijten); dan is het niet aanbevolen.

Figuren 8-53. Spijkerplaten of kramplaten. Deze zijn geschikt voor kleine oppervlaktes.



Methode #6. Het aanbrengen van stalen L-profielen **onder en tussen de balken** vereist veel meet en paswerk. Lassen tussen de balken moet voorkomen worden, terwijl alles goed met schroeven vastgezet moet worden. Dit is een optie wanneer er aan de bovenkant van de vloer niets veranderd mag worden of duur is zoals bij een dakconstructie. Het plafond moet tijdelijk verwijderd worden.

Methode #7. Diagonale en dwarsbalken tussen de vloerbalken. Dit kan van onderen of van boven af gebeuren. De balken moeten zowel trek- als druk vast verbonden worden; dit is echter moeilijk te realiseren en veel werk. Gebruik van spijkerplaten voor de verbindingen aan zowel de onderkant (plafond herstellen) als bovenkant (geen extra dikte) is mogelijk.



Figuren 8-54. Bij bestaande balken veel werk.

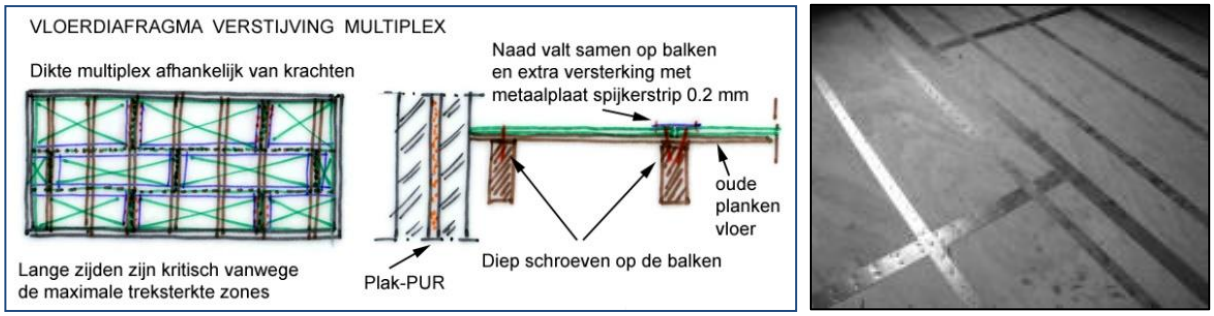
Methode #8a en #8c. De OSB-platen worden direct op de houten vloer gespijkerd, waarbij de naden op de balken kunnen liggen en daar dieper genageld/geschroefd. De platen moeten verspringen zodat er geen doorlopende naad van meer platen op dezelfde balk komt. De trekkrachten langs de rand van de vloer moeten goed overgedragen worden. Bij verlijming op een schone ondergrond is de toelaatbare trekkracht veel groter. **Eenvoudige toepassing en voldoende sterk voor de meeste soorten woningen in Groningen.**

Figuren 8-55. OSB platen en met groef. Dit zijn langvezelige spaanplaten met dichte persing. Deze zijn er in verschillende diktes en sterkten.

<u>Rechts.</u> OSB met groef en messing. Gewone spaanplaat is niet geschikt want die heeft te korte vezels.

De totale trekkracht is afhankelijk van het plaatmateriaal en verbinding. Omdat er zeer veel verschil zit tussen de kwaliteiten van OSB, is het belangrijk dat de treksterkte wordt aangegeven per plaatdikte en soort. De spaanplaatschroeven moeten voldoende lang zijn zodat ze diep in de balklaag vastzitten. De combinatie van lijmen en schroeven is sterker. Om te lijmen moet de ondervloer vlak en schoon zijn.

Methode #9. Het diep opschroeven of doorspijkeren van een multiplex (sterker dan OSB), met over de naden dunne metaalplaat gespijkerd. De plaatdikte hangt af van de lengte en breedte van de vloer en de kwaliteit van het plaatmateriaal[331].



Figuren 8-56. Sterk multiplex is aanbevolen. Met verbinding over de naden door een metaalplaat. Een aantal van deze versterkingen kan op basis van Doe-het-Zelf (DHZ) uitgevoerd worden.

De multiplex platen (zoals ook OSB, methode #8) dienen in half-verband te verspringen en de zijkanten van twee aansluitende platen op dezelfde balk vastgeschroefd of gespijkerd. De naadversterkingen zijn vooral belangrijk in de maximale trekzones van de vloer, dat wil zeggen langs de langste buitenmuren van het gebouw.

Het metalen hoekprofiel/strook dat aan de muur en op de vloer vast zit levert in deze uiterste trekzone ook weerstand tegen trekkrachten. Dit is een van de eenvoudigste en sterkste oplossingen. Voor de gemiddelde afmetingen vloeren in de bestaande gebouwen (3 x 3m, 3 x 4m, 3 x 5m en 3 x 6m) kan een rekentabel gemaakt worden (eerste etage en zolderetage), met materiaal- specificaties. Het is belangrijk dat de juiste materiaalkwaliteit en sterkte bekend is.

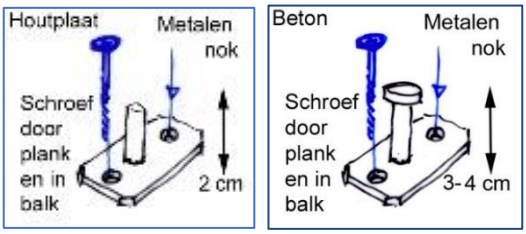
Methode #10. Dezelfde oplossing als methode #9, maar in twee lagen en op de vloer geschroefd. Hierdoor wordt de treksterkte verhoogd (verdubbeld), maar de vloer wordt ook dikker. Dit houdt dan een grotere aanpassing van deuren in. De methoden #5 t/m #10 zijn droge verwerkingen.

Methode #11. Dezelfde oplossing als methode #10, maar verlijmd in twee en op de vloer geschroefd. Het schoon en vlakschuren van een houten vloer is een vereiste voor het verlijmen van OSB of multiplex platen. Kromme vloerdelen vereisen extra veel lijm. Door de extra lagen en de verlijming kunnen zeer grote treksterkte bereikt worden. Te zware/dure maatregel voor het gemiddelde type woningen of aardbevingsbelastingen in de provincie Groningen.

Methode #12. Door nokken op de vloer te schroeven wordt de weerstand tegen horizontaal afschuiven van de platen sterk verbeterd. Na het plaatsen van de nokken en de platen pas maken, de gaten in de platen op precies de juiste plek boren. Deze methode kan worden toegepast wanneer de oorspronkelijke houten vloer niet mag worden verlijmd of verwijderd, zoals bij een monument.

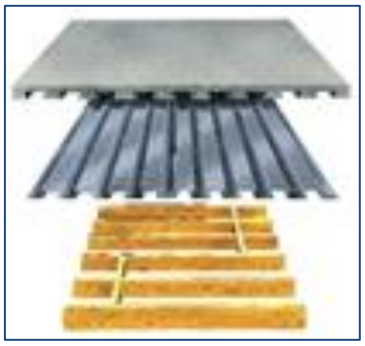
[331] OSB/3 met dikte van 10 tot 18 mm heeft een treksterkte van 0,32 N/mm^2. Volgens de EN310 heeft gewoon multiplex een trek- en druksterkte van 0,5 N/mm^2 (5 kg/mm^2). Afhankelijk van de verlijming bestaan grote treksterkte verschillen.

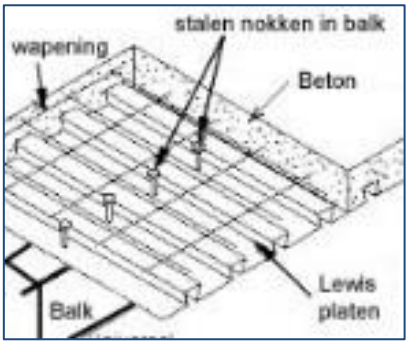
Methode #13. Nokken met kop opschroeven voor het storten van een betonvloer. De houten vloer blijft zitten. De vloer wordt afgedekt met plastic en de nokken worden op de balklaag vastgezet. Deze nokken hebben een verdikte kop die in het beton verankert. De oplossing methode #14 met de Lewisvloer is efficiënter werken en daardoor goedkoper. Bij grotere overspanningen moeten de vloerbalken versterkt worden om het extra gewicht te dragen.



Figuren 8-57. Nokken op de vloer schroeven.
Links. Methode #12.
Midden. Methode #13. De nok met kop wordt op de balklaag geschroefd.
Als het plastic over de nok wordt geplaatst moet dit waterdicht worden afgeplakt.

Methode #14. LEWIS of DUOFOR zwaluwstaartplaten vloer met krimpnet en beton. De golfplaten worden op de balklaag gespijkerd. De beton-laag met krimpnet kan dun blijven (4 cm), omdat het profiel van de zwaluwstaartplaten verankering biedt. Deze bekende methode wordt veel toegepast op balklagen voor natte ruimtes in oude gebouwen. Goed stijve vloer hetgeen een voordeel is voor lange muren, maar verbinding met de muren moet goed zijn. Het nadeel is de grotere massa, waardoor de aardbevingsbelasting groter is dan bij de vorige methoden. De vloerbalken moeten het extra gewicht wel kunnen dragen.



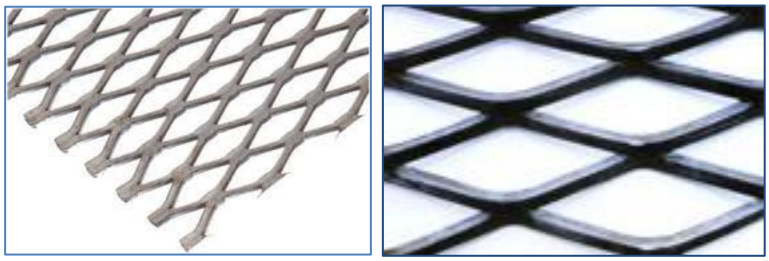


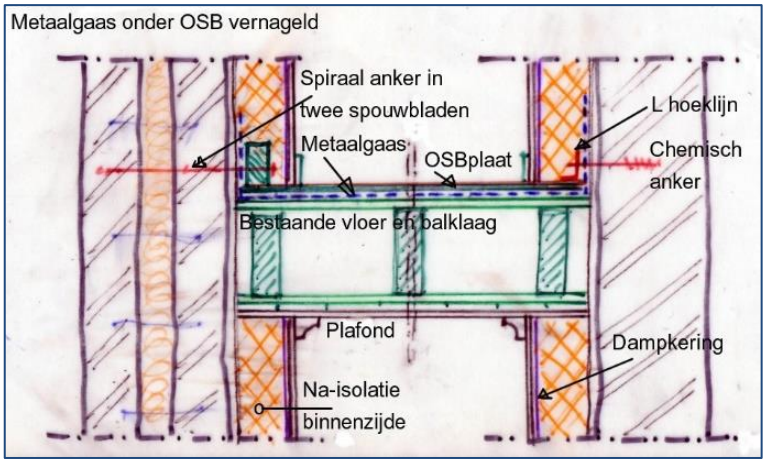
Figuren 8-58. Lewis vloeren met beton.
Met zwaluwstaartplaat. Deze kunnen verder versterkt worden in combinatie met de nokken van methode 12. Ideaal voor etage vloeren waar een wasmachine op komt te staan.

Methode #15. GVTW op de schone (geschuurde) houten vloer verlijmen en hier overheen een OSB of multiplex vloer plakken en schroeven. Dit levert een zeer sterke en vlakke vloer. Een voordeel is dat het GVTW vanuit de benedenetage langs de muren omhoog gezet kan worden. Figuren 8-41. Aan een kant tussen de parallelle balk en door het in te knippen langs de kopse kanten. Deze oplossing is geeft een van de sterkste opties in combinatie met de dunste, zonder dat aanvullende metaalprofielen en ankers nodig zijn voor de vloer-muur verbinding. Het is ook bewerkelijk en daardoor duur.

Methode #16. Gegalvaniseerd metaalgaas of geëxpandeerd metaalplaat op de vloer en onder een OSB-plaat vastgezet. Droge verwerking waarbij het gaas tegen de muren omhoog gevouwen wordt. Het gaas kan worden dichtgesmeerd met cementmortel om de stijfheid te vergroten. De OSB-plaat wordt door het gaas in de balklaag vastgeschroefd. Het gaas tegen de muur wordt achter een plank aan de muur vastgezet met chemische ankerbouten. Verschillende diktes geëxpandeerd metaalplaat zijn in de markt aanwezig, waarmee verschillende sterktes kunnen worden verkregen.

Figuren 8-59. Geëxpandeerd metaalplaat. Dit is in de markt aanwezig. Voor droge toepassing is de gegalvaniseerde versie nodig.





Figuren 8-60. Metaalgaas toepassing. Dit is een droge werkmethode. De verbinding met de muren kan gemaakt worden door het achter een plank of L-profiel tegen de muur vast te zetten met spiraal of chemische ankers. Voor het omvouwen is een dunne versie nodig.

Het geëxpandeerd metaal kan bij grote belasting in een richting verder worden uitgetrokken worden. Bij de toepassing moet er op gelet worden dat het gaas niet in één richting makkelijk kan worden uitgetrokken, want dan is het versterkingseffect weg. Het gaas kan worden vastgezet door de afdekkende OSB in de balklaag te schroeven. Bij binnenmuren is geen binnenzijdige muurisolatie nodig en kan aan weerszijden een L-profiel geplaatst worden en door de muur heen verbonden. Het L-profiel valt dan weg achter de plint. De OSB-plaat wordt doorgeschroefd.

8.11. Gebruik van droge ingeboorde renovatie spiraalankers

Er zijn twee soorten boor-spiraalankers, gewone en tweede generatie Thorhelical spiraalankers (sterker) met een rechte kern in diameters van 5 mm tot 9 mm. Zie tabel volgende pagina. De maximale treksterkte van een standaard Helifix 8 mm renovatie rvs-spiraalanker (lengte 180 mm tot 350 mm)[332] is ongeveer 7,2 kN, maar de aanhechting in de baksteen muur en de houten balk is bepalend voor de verbinding van het diafragma. Deze moet minimaal 5 cm en 1,5 kN zijn.

Het 8 mm spiraalanker wordt voorgeboord met een 6 mm boor, door de houten balk en in de baksteen muur, waarna het 8 mm spiraalanker met een slagboormachine door het hout en de baksteen muur wordt getrild tot minimaal 5 cm diepte. Als de binnenmuur van zachter materiaal is dan hardgrauw baksteen, dan dient het te boren gat in die binnenmuur een kleinere diameter te hebben dan een gat een hardere steensoort zoals rode baksteen. Bij heel zachte steensoorten of kalkzandsteen kan het muuranker zonder voorboren ingeboord worden.

Figuren 8-61. Spiraalankers en boren.

[332] Voor het inbrengen van spiraalankers tot dieper dan 50 cm zijn opzetstukken voor de boor aanwezig.

Wanneer het anker onder een hoek van de horizontaal wordt toegepast (schuin naar beneden door balk en muur) dan mag niet meer dan 50% van de treksterkte in rekening gebracht worden. Dat wil zeggen dat de horizontale belasting op een schuin geboord anker 0,75 kN mag zijn. Ook is de aanhechting/verbinding in de houten balk bepalend voor de maximale horizontale belasting.

Het is bij deze constructies verstandiger om meerdere dunne ankers toe te passen (6 mm) dan slechts een paar dikke ankers. Het verbinden van elke vloerbalk aan de muur (en de parallel balken om de 50 cm tot 75 cm) is noodzakelijk. Voor grotere metselwerk constructies (bruggen) zijn 12 mm diameter spiraal muurankers beschikbaar met lengtes van 50 cm, 75 cm en 90 cm.

Figuur 8-62. Trekkracht anker testen.
https://www.totalwall.nl/over-total-wall/over-total-wall.html

Per materiaal moet dus beoordeeld worden wat de mogelijke trekkracht per anker zal zijn. Het aantal ankers in de parallelle balk hangt af van de noodzakelijke trekbelasting van het diafragma. Het van buitenaf vastzetten van de vloer aan de muren heeft het voordeel dat dit minimale hinder voor de bewoner zal opleveren als deze in de woning blijft, echter in veel gevallen zal dit niet voor alle muur-vloer verbindingen mogelijk zijn. Om van buitenaf precies in de kopse kanten van de balken te schroeven kan een kijkoperatie met een endoscoop uitkomst bieden.

Van binnenuit kunnen de balken met schuine spiraalankers aan de muren worden verbonden, wanneer de vloer of het plafond is verwijderd. Schuin inboren en verankeren is niet eenvoudig en de benodigde ankerlengte is groter, waarvoor in veel situaties de ankers te kort zijn (maximale lengte van dunne ankers is 350 mm).

Van binnenuit boren kan noodzakelijk zijn in de volgende situaties:

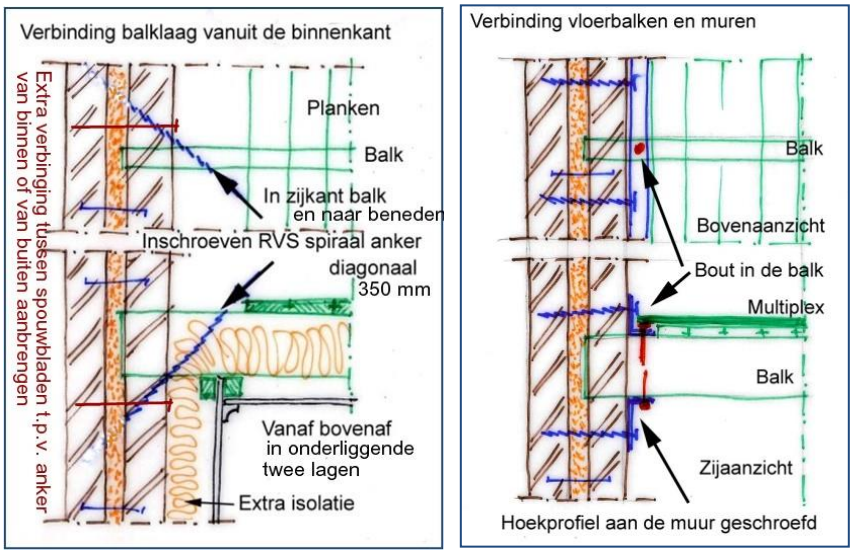
- Een woning die minder dan een 100 cm naast een andere woning staat; er is dan te weinig tussenruimte om te werken.
- Bij een tussenmuur van twee-onder-een-kap woningen of rijtjeswoningen.
- Balklagen die achter een goot- of een dak-overstek zitten.

De volgende methoden zijn gangbaar:

A. Alleen van boven diagonaal naar beneden door de balken en in de onderliggende metselwerk lagen voorboren[333]. Eventueel de twee spouwbladen ook extra met elkaar verbinden.

B. Horizontaal diagonaal en naar beneden door de balk en in de onderliggende metselwerk lagen voorboren met 6 mm boor en daarna de 8 mm rvs-spiraalanker inboren (slagboor). Deze diagonaalverbinding kan van twee kanten worden toegepast.

[333] Direct naast de balk is de afschuifsterkte van het metselwerk minder omdat aan de zijde van de balk het metselwerk niet doorloopt; daar moet het anker dus niet in het metselwerk geboord worden.



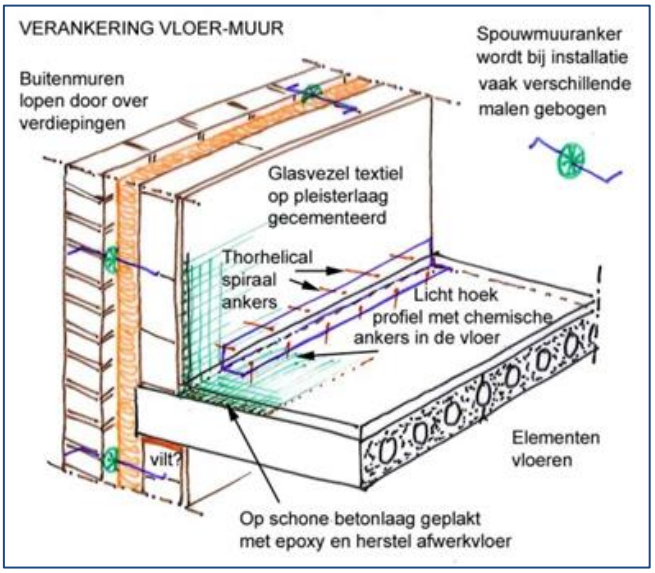
Figuren 8-63. Spouwmuren verbinden.
<u>Linksboven</u>: Van de zijkant en naar beneden diagonaal verbinding van een vloerbalk aan de muur. Maximale lengte dunne ankers 350 mm. Een extra verbinding tussen spouwbladen kan nodig zijn.
<u>Linksonder</u>: Van boven schuin naar beneden in de onderliggende muur.

<u>Rechts</u>: Een L-profiel van onderen en van boven maakt de verbinding aan de muur en de twee spouwbladen.

In beide situaties A en B moet beoordeeld worden of de spouwbladen onderling sterk met elkaar verbonden zijn. Het is mogelijk om onder de verbinding van het diagonale anker met het metselwerk de twee spouwbladen met een horizontaal spiraalanker met elkaar te verbinden (rode lijn in de figuur schets 8-64 rechts).

C. Het vastschroeven van een doorlopend L-profiel op de muur en de balken. De rvs-spiraalanker schroeven (Thorhelical, ABCadamas) hebben een brede platte kop (*Flat Head Timber Fix*). Door links en rechts van elke balk een schroef vast te zetten in een baksteen, en een houtdraad bout in de balk, wordt een sterke verbinding verkregen. Dit kan zowel van onderen[334] als van boven, afhankelijk van de situatie. Een alternatief is chemische ankers (duurder). Daarna kan de multiplex vloerverstijving worden aangebracht en de binnenzijdige muurisolatie.

D. Het verbinden van het bovengenoemde L-profiel of een brede metalen en gevouwen plaat óp de plankenvloer vastschroeven en in de muur met spiraal of chemische ankers. De trekzones in de randen van de vloer kunnen verbeterd worden door het vastnieten van de staalplaat op de vloer.



Figuur 8-64. Hoekverbinding hout/beton. Dit kan bij beide systemen.
Dit kan goed met Flat Head spiraalankers worden gerealiseerd. Bij de toepassing van doorlopende hoekprofielen kunnen deze direct in de vloer en in de muur vastgezet worden.
Het hoekijzer valt weg achter een plint of in de daarna toegevoegde gevelisolatie van de verduurzaming.

[334] Bij montage van onderen moet de randstrook aan het plafond open gemaakt worden, maar met een 15 cm dikke binnenzijdige muurisolatie wordt deze 'beschadiging' weer weggewerkt. Van bovenaf is makkelijker.

Rvs-spiraalankers bestaan er in verschillende kwaliteiten, lengtes, diktes en met (sterk) of zonder kern[335]. Austenitic stainless steel Grade 304 (<1200 N/mm^2) en 316 (<1050 N/mm^2)
Totale treksterkte van een Helifix Ø6 mm spiraalanker ≈ 10 kN (netto doorsnede 8 mm^2).
Totale treksterkte van Thorhelical Ø6 mm spiraalanker ≈ 11 kN (netto doorsnede 7,4 mm^2)

Verschillende tests zijn uitgevoerd op de verankering sterkte van de rvs-spiraalankers. Bij grotere diameter spiraalankers wordt de totale toelaatbare trekkracht groter. Per materiaalsoort dient de juiste voorboordiameter te worden bepaald in combinatie met de juiste ankerdiameter. In erg harde materialen (hard beton) moet de voorboordiameter groter zijn.

De tweede generatie Thorhelical spiraalankers met rechte kern zijn sterker om in te drijven dan de eerste generatie type ankers. Ø5mm Nom. CSA = 6 mm²; Ø6mm Nom. CSA = 7 mm²;
Ø7mm Nom. CSA = 9 mm²; Ø8mm Nom. CSA = 12 mm²; Ø9mm Nom. CSA = 15 mm²

Overzicht Thorhelical ankers.

Anker diameter in mm	Voorgeboord in mm	Lengte in het materiaal in mm	Soort Materiaal en sterkte in N/mm^2		Uittrek-kracht in N	Toelaatbare kracht per mm in N/mm^1 materiaal
6	4,5	70	Zachte baksteen	13,4	1500	21
6	4,5	70	Voegwerk klasse IV	2,5	1500	21
6	4,5	70	Lichtgewichtbeton	5,5	1500	21
6	4,3 (dunner)	45	Hout (CS3)	3,0	1000	22
8	5	70	Hol blok 35 mm wand	4,9	800	22
8	5-6	60	Baksteen	15,0	2000	30
8	5	50	Droog bouwhout	3,0	1200	24
8	6 (hard)	50	Cementblok	6,0	2000	40
9	6	80	Baksteen	15,0	2400	30
10	6 (zacht)	100	Droog bouwhout	3,0	2500	25

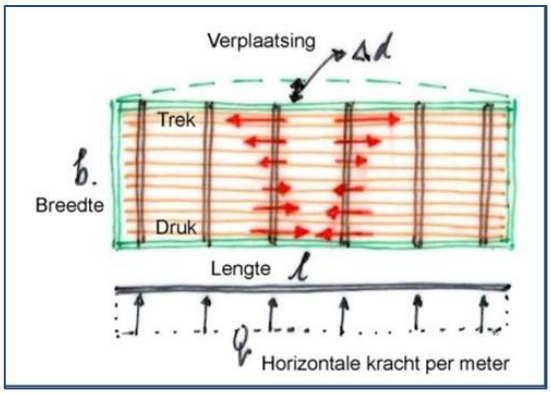
Van binnenuit boren in de buitenste baksteen van een spouwmuur mag tot 75% van de dikte van de steen (= 8 cm) om afspringen van de buitenste schilfer te voorkomen. Het in te boren spiraalanker gaat dan maximaal 7 cm diep. Bij een spouwmuur kan loodrecht 11 cm + 7 cm is 17 cm ankerlengte verkregen worden. Bij schuine plaatsing (diagonaal boren) is de boorlengte en verankerlengte groter, maar de horizontale trekkracht lager. Op afschuiving zijn alle spiraalankers voldoende sterk.

Als alternatief op spiraalankers kunnen chemisch ankers worden gebruikt. Dit is meer kostbaar in materiaal, meer werk vanwege de verschillende handelingen, maar ook veel sterker in aanhechting. Die sterkere aanhechting is niet relevant bij halfsteens bakstenen muren omdat bij krachten die groter zijn dan ongeveer 5-10 kN de baksteen uit de muur getrokken wordt. Het spiraalanker is daarom meer in overeenstemming met de optredende en toelaatbare krachten in het metselwerk. Door de toepassing van HD-PUR wordt er een sterke verbinding tot stand gebracht tussen de binnen spouwmuur en de buitenspouwmuur zodat de verbindingen tussen de bakstenen worden versterkt.

8.12. Sterkte berekening

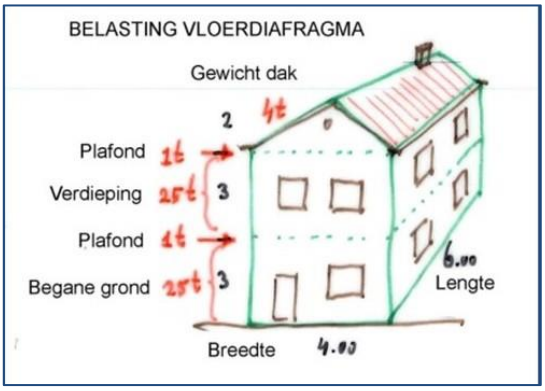
De te kiezen oplossing hangt af van de benodigde sterkte en stijfheid van het vloerdiafragma. Indien de vloerafwerking als een homogene plaat wordt berekend kan worden volstaan met een simpele momenten berekening. $M_{diafr} = q\ell^2/8$ waarbij de gebouwbelasting uitgerekend moet worden.

[335] Spiraalankers van www.ABCadamas.nl en www.Totalwall.nl kunnen lagere waarden hebben. Het meest relevant is echter de verankeringssterkte in het bouwmateriaal.



Figuur 8-65. Sterkte berekening vloer.
q = de horizontale belasting per meter in het vlak van de vloer.
ℓ = lange zijde van het diafragma.
q wordt bepaald door de massa van het gebouw en de PGAg

De belasting op de eerste etagevloer is vanwege de PGA en de massa van de volgende onderdelen: het hele dak en schoorstenen, de vloer en plafond van de tweede woonlaag, de muren van de tweede woonlaag en de helft van de muren van de begane grond (eerste woonlaag). De andere helft van de belasting vanwege de massa van de begane grond muren wordt naar het begane grondniveau belast en niet naar de verdiepingsvloer.



Figuur 8-66. Massa + 50% nuttige belasting.
It is het eerste onderdeel dat berekend moet worden. In het schema is in tonnen de waarde aangegeven.
De massa voor de berekening van de aardbevingsbelasting op de eerste etage vloer is dan 12,5 (helft b.g. muren) + 1 + 25 + 1 + 4 = 33,5 ton.

De totale massa van de verschillende bouwonderdelen die op de eerste etage vloer aangrijpen bij een links-rechtse schok is <33,5 ton. Kopmuren die van de fundering naar boven doorlopen en in het vlak van de muur worden belast tellen niet mee voor deze berekening.

Bij een lichte aardschok PGAg <0,05 wordt de belasting ≈1,6 ton verdeeld over de lengte van 6 m. De *q* belasting is 1,6 *t*/6 m = 0,266 t/m. $M_{diafr} = q\ell^2/8$ = (266 kg/m)*(6 m)^2/8 = 1200 kgm.
Indien het diafragma als een geheel en als een dunne platte schijf wordt beschouwd, is de trek/druk spanning in de lange randen van deze schijf T = M_{diafr} / breedte *b* = 1200 kgm/4m = 300 kg = 3 kN. Dit is een erg lage waarde die makkelijk door een OSB of multiplexplaat opgenomen kan worden.

Over de breedte van het gebouw (4 m) wordt over de inwendige spouwbladen en een binnenmuur die 1600 kg horizontale belasting in het vlak van die muren overgedragen. De balkeinden of parallelle balken die aan die muren verbonden zijn, moeten die krachten overdagen. Ze worden op afschuiving belast. Met een enkele binnenmuur zijn er 4 x 4 m = 16 m muur, met balkopleggingen of parallelle balken. Met een onderlinge afstand tussen de verbindingen van 0,75m geeft dat 20 verankeringspunten. Per verankeringspunt is dan 80 kg afschuivingsweerstand nodig. Elke werkmethode voldoet in dit geval.

Woningen met betonnen systeemvloeren zijn echter veel zwaarder, maar daardoor zullen ook de oplegging afschuifkracht en afschuifweerstand groter zijn.

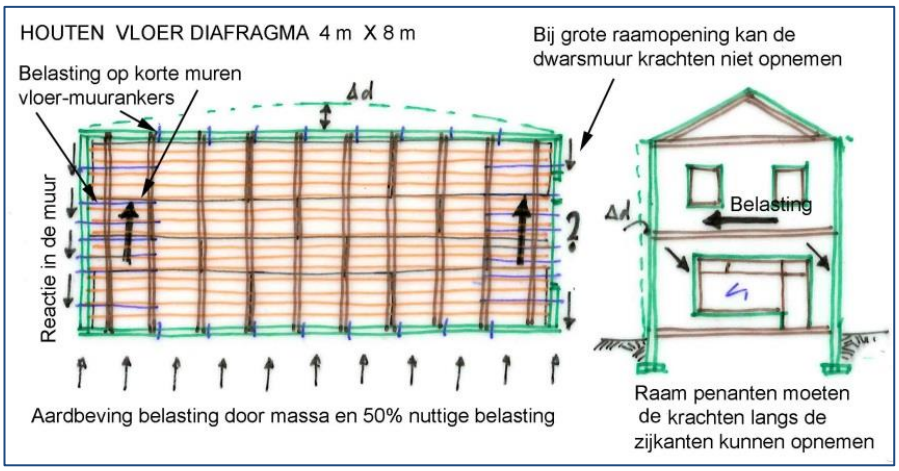
De trek/druk sterkte van gewoon multiplex is 0,5 N/mm^2; de trek/druksterkte van OSB is 0,3 N/mm^2. Bij een trek/druk spanning langs de rand van de vloer van 3 kN is dan voor multiplex 3000 N: 0,5 N/mm^2 = 6000 mm^2 doorsnede multiplex nodig. Bij een plaatdikte dikte van 20 mm is minimaal een doorgaande rand-strookbreedte van slechts 300 mm noodzakelijk aan beide lange zijden. Daar waar de platen tegen elkaar liggen is dan een metalen verbindingsstrook nodig. Bij de toepassing van 20 mm OSB-plaat wordt dat 3000 N: 0,3 N/mm^2 = 10.000 mm^2 of een 50 cm strook. De sterkte van de vloer is in deze situatie nauwelijks een probleem. De belasting moet echter wel in het vlak van de muren gedragen worden.

De vervorming van de vloer kan in de bovenstaande situatie bepalend zijn; bij te veel vervorming zal de baksteen kunnen scheuren. De elasticiteit van de multiplex of OSB-verstijving bepaalt dan de uitwijking Δd van de buitenste zone en de daaraan gekoppelde metselwerk muur. Een lange metselwerk muur heeft minder weerstand loodrecht op het vlak van de muur dan een korte muur, vooral wanneer er in die lange muur openingen zitten.

De buigzaamheid van het kalkzandsteen metselwerk is ongeveer de helft van hout of van goede kwaliteit berkenmultiplex in de lengterichting[336].

Bij een langere vloer zal de Δd dus groter worden dan bij een korte muur van hetzelfde materiaal en constructie. Daarom kan de houten vloer horizontaal enkele centimeters vervormen en heel blijven, maar de metselwerk muur zal dan verticaal haarscheuren gaan vertonen.

De horizontale belasting en Δd vanwege een aardbevingsschok moet opgevangen worden door de sterkte én stijfheid van de vloer. Wanneer een vloer lang is en stijf, zijn niet alleen de krachten langs de twee lange zijden groter dan bij een korte vloer, maar ook langs de korte zijden.



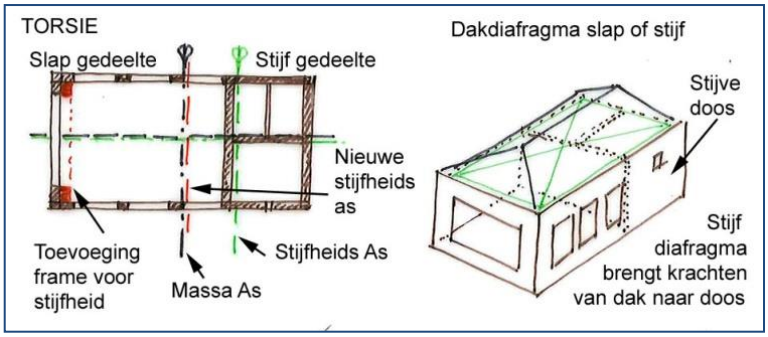
Figuur 8-67. Horizontale Δd van de vloer. Deze is groter naarmate de afstand tussen de muren groter wordt en de stijfheid van de platen kleiner. De toepassing van metalen platen of profielen langs de randen van de vloer voorkomt de horizontale uitbuiging.

8.13. Horizontale Excentriciteit

Een stijf en sterk vloerdiafragma voorkomt gebouwschade door torsie. Structurele excentriciteit ten opzichte van het massa zwaartepunt, zowel in het plan van het gebouw als verticaal, zal torsiekrachten in een gebouw veroorzaken, wanneer de beving parallel aan gescheiden massa- en stijfheidsassen loopt. Bij de meeste bevingen beweegt de grond in de drie verschillende as-richtingen.

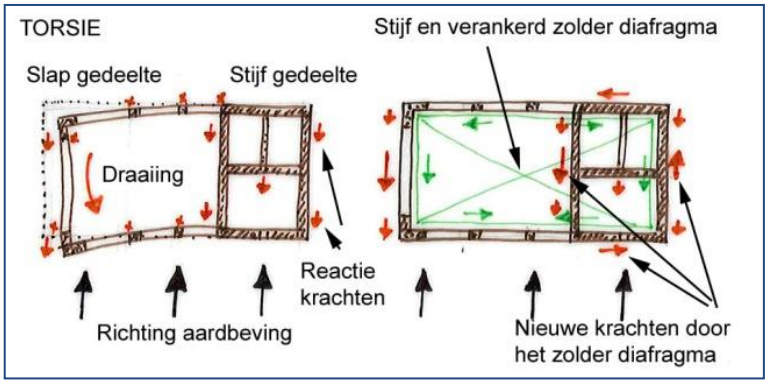
---

[336] Elasticiteitsmodule hout dwars op vezel (0,6-1,0 GPa) E = 1 * 10^3 MPa = 100 kN/cm^2 ≈ 10.000 kg/cm^2
Elasticiteitsmodule C16 metselwerk kalkzandsteen E = 4,5 * 10^3 MPa = 450 kN/cm^2 ≈ 45.000 kg/ cm^2
Elasticiteitsmodule 18-24 mm berken multiplex (finnforest) E = 8,5 * 10^3 MPa = 850 kN/cm^2 ≈ 85.000 kg/cm^2
Elasticiteitsmodule hout in lengterichting (9-16 GPa) E = 10 * 10^3 MPa = 1.000 kN/cm^2 ≈ 100.000 kg/cm^2
Elasticiteitsmodule beton (30 GPa) E = 30 * 10^3 MPa = 3.000 kN/cm^2 ≈ 300.000 kg/cm^2
Elasticiteitsmodule constructie staal E = 210 * 10^3 MPa = 21.000 kN/cm^2 ≈ 2.100.000 kg/cm^2



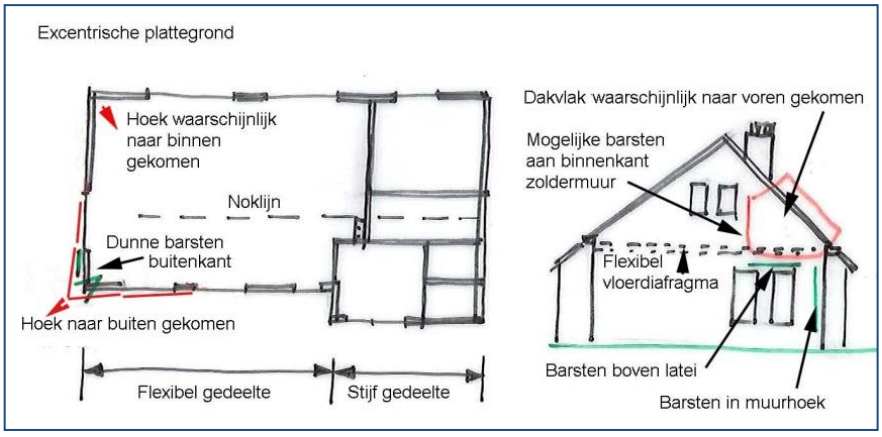
Figuur 8-68. Woning met excentriciteit. Deze heeft niet-samenvallende massa- en stijfheidsassen in één richting en een slap diafragma.
Bij de aardbevingsbelasting vervormde het open gedeelte met weinig muren en veel ramen.

Muren met veel openingen zoals ramen of met smalle penanten zonder wapening hebben een lagere stijfheid in het vlak van de muur dan gesloten in baksteen gemetselde muurvlakken. In de linker schets zijn de zwarte/rode lijnen de massa zwaartelijnen en de groene de stijfheidszwaartelijnen. In het bovenstaande geval is het dakbeschot onvoldoende stijf en te schuin geplaatst om de beweging tegen te gaan.



Figuur 8-69. Draaiing door belasting. Door gebrek aan een stijf vloer- en dak-diafragma zal de linker gevel gaan vervormen. Het diafragma moet vastzitten aan het stijve rechter gedeelte.

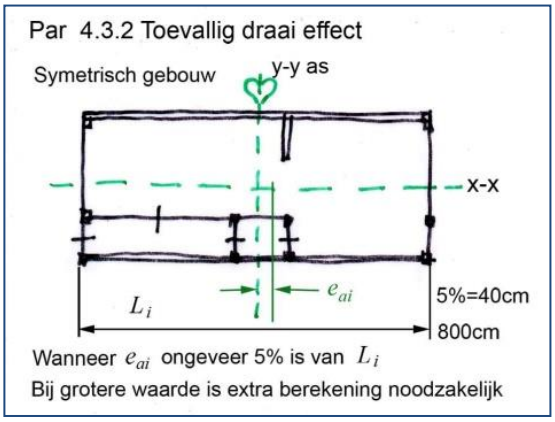
Slechts door het toepassen van een stijf/sterk frame aan de linkerkant (rood) zal de stijfheidszwaartelijn naar het midden van het gebouw teruggezet kunnen worden. De gevolgen van een ongelijke stijfheid kan grotendeels ondervangen worden door een stijf vloerdiafragma dat de horizontale krachten van links overbrengt naar het stijve gebouwgedeelte rechts.



Figuur 8-70. Beweging buitenhoeken.
Bij een beving loodrecht op de noklijn van de woning zal de bovenhoek naar binnen komen en de onder-hoek naar buitenkomen en daarna omgekeerd.

Gebouwen die in de plattegrond duidelijk een excentriciteit hebben kunnen op dit aspect worden nagerekend om toekomstige scheuren te voorkomen. Bij de meeste gebouwen is excentriciteit goed aan de plattegrond te zien. In Groningen zijn ze niet berekend op excentriciteit.

Omdat de praktijk anders kan zijn dan de ontwerpbelasting wordt er in de NPR gerekend met een toevallige excentriciteit van 5% of $e_{ai} = \pm 0{,}05 * L_i$ NPR-paragraaf 4.3.2.(1)P formule 4.3, waarbij L_i de vloerlengte is loodrecht op de richting van de aardbeving.



Figuur 8-71. Zwaartelijnen zijn bepalend.
Wanneer de afstand tussen het massa zwaartepunt en het stijfheidszwaartepunt meer dan 5% is van de breedte van het gebouw, geeft dit een extra torsiebelasting op de draagmuren gedurende een aardbeving.

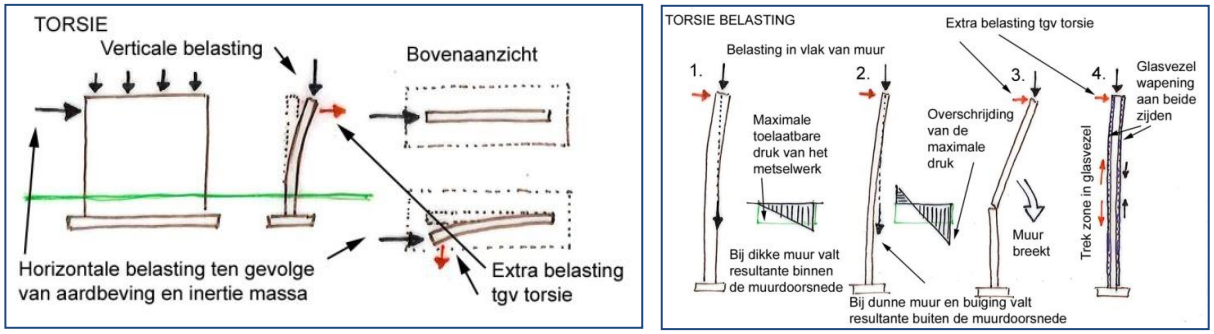
Torsie verhoogt het knikgevaar van dunne draagmuren bij de toename van muurbelasting in het vlak van de muur, verticaal of horizontaal. Vooral dunne draagmuren kunnen makkelijk torderen, knikken en bezwijken. Na de bepaling van de excentriciteit dienen er versterkingen te worden aangebracht om deze excentriciteit op te vangen of te compenseren. Dit kan door verstijving van het vloerdiafragma in combinatie met het versterken van de dragende dwarsmuren waarmee het diafragma verbonden is.

Figuren 8-72. Moderne woning van Figuur 8-70.
Omdat noch het dak, noch de etagevloer stijf is, kon deze etagevloer vervormen, hetgeen in een barst in de latei boven het rechterraam resulteerde. Alleen een goed stijf vloerdiafragma kan dit voorkomen.

Details rechter buitenhoek.
Haarscheuren < 0,5 mm langs de hoek en de regenlijp.

De buitenhoek van de woning (naast de witte regenwater afvoer) is eveneens gebarsten, hetgeen aangeeft dat de hoek naar binnen en naar buiten heeft bewogen.

Hoe dunner de (binnen)muur, hoe sneller de excentrische belasting kan leiden tot het breken van een ongewapende muur door buiging, knik of overbelasting van het voegwerk.



Figuren 8-73. Dunne (binnen)muren bezwijken. Dit kan door de combinatie van excentrische belasting en knik. Door de tweezijdige versterking met GVTW kan knik voorkomen worden.

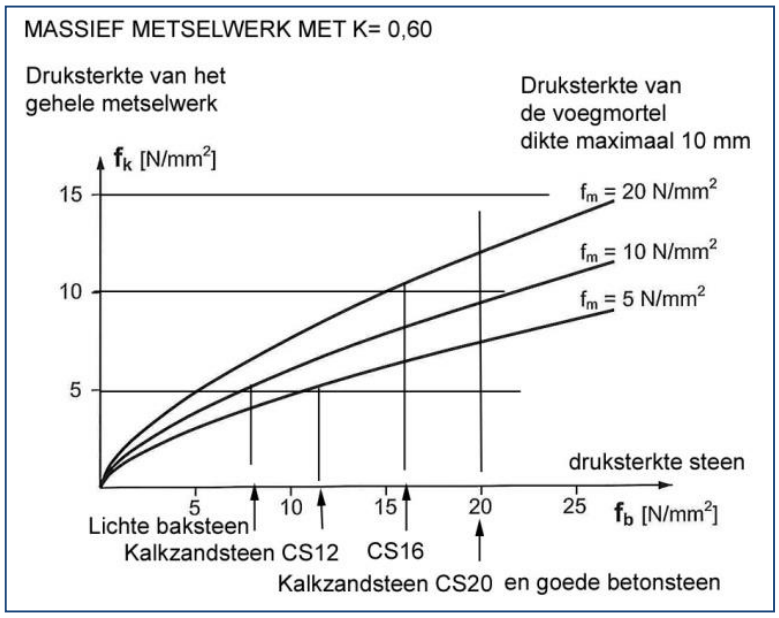
Buitenmuren die een terug gesneden of verdiepte voeg hebben, of binnenmuren die slordig zijn gemetseld, hebben feitelijk een kleinere constructieve dikte dan de baksteen afmeting.

Figuren 8-74. Verdiepte voegen nadelig. Terug gesneden voegen verminderen de netto muurdikte. Dit is aan twee kanten van de muur van toepassing. Midden. Lint begint bij 100. Hier is het de eerste cm van de voeg in het metselwerk niet dragend.

Bijna alle buitengevel spouwmuren (met verdiepte en gesneden voeg) vereisen voor de sterkte berekening een vermindering van 1 cm ten opzichte van de steendiepte. Platvol gevoegd werk wordt meestal veel later uitgevoerd en heeft ook vaak een andere mortelkwaliteit. Bij de middelste foto, waarbij hetzelfde stukje meetlint wordt gebruikt als maatnemer links, ziet met dat na het metselen onder de voeg een naad is ontstaan die een cm diep is (krimp). In dit geval zou de netto muurdikte met nóg een cm verkleind moeten worden boven op de vermindering vanwege de verdiepte voeg.

Hoe dunner de voeg, hoe hoger de toelaatbare druk in de voeg kan zijn. Dunne gelijmde voegen kunnen een zeer hoge druk opvangen (20 N/mm^2). Hoe hoger de druksterkte van de voeg is, hoe minder de trekspanning in die voegmortel zal zijn. Verticale druk van de baksteen op de smallere voeg breedte dan de steen veroorzaakt een verloop van de spanning in de baksteen en horizontale trekspanningen in de voegmortel. De voegmortel zal hierdoor elastisch vervormen, loodrecht op het vlak van de muur. Dit kan bij hoge druk (> vier/vijf woonlagen) tot het splijten van de baksteen kunnen leiden, in de eerste instantie over de baksteen lengte, maar ook in de muur dikte (schets op de volgende pagina). Bij kalkmortel voegen zal de voeg langzaam vervormen zonder barsten in de baksteen te veroorzaken; een zekere vervormbaarheid van het kalkmortel voegmateriaal is daarom voordelig.
Vanwege dit bovenstaande effect hebben baksteen muren met inwendige langsvoegen een lagere rekenwaarde dan muren zonder langsvoegen[337]: *http://www.pg.gda.pl/cure/docs/eurocodes/prof_ramm.pdf*

[337] Voor gedetailleerde informatie zie: http://www.staff.city.ac.uk/earthquakes/MasonryBrick/PlainBrickMasonry.htm



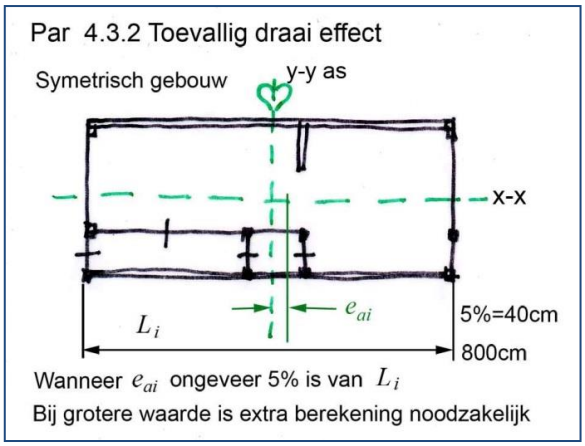
Figuren 8-75. Drukverloop in de voeg. Dit is van hoog-belaste bakstenen. Hetzelfde geldt voor bouwblokken.

Voor bestaand metselwerk van meer dan 40 jaar oud kan metselwerk groep 1 (massief CS12) met voegmortel M5 (5 N/mm^2) worden aangenomen met een voegsterkte van maximaal 5 N/mm^2, eventueel verminderd met een geschatte verouderingsfactor -20% ≈ 4 N/mm^2.

Handvorm bakstenen (CS5) die gevoegd zijn met een kalkmortel M2 (≈2 N/mm^2) hebben een muur druksterkte van 1,5 – 2 N/mm^2. Deze waarden moeten gerelateerd worden aan de netto dikte van de muur door verdiept buiten voegwerk of slecht voegwerk aan de binnenzijde van de muur.[338]

8.14. Voorbeeldberekening van excentriciteit in het plan

(NPR: Formule 4.3) $e_{ai} \approx 0{,}05 * L_i$ waarbij: e_{ai} de toevallige excentriciteit van de massa *i* van de bovenliggende verdieping(en) is, waarbij deze in dezelfde richting geldt voor alle vloeren.



Figuur 8-76. Maatvoering vloeren.
L_i is de lengte van de gehele vloer loodrecht op de richting van de aardbeving. De excentriciteit kan berekend worden d.m.v. de moment stelling van oppervlakten.

e_{ox} is de excentriciteit langs de x-x as richting. Wanneer $e_{ox} > 0{,}05 * L_i$ dan zou de extra aardbevingskracht t.g.v. deze excentriciteit apart berekend moeten worden.

Voor veel informatie over metselwerk zie dictaat EC6 Metselwerk: tabellen en formules
http://hti.renemom.nl/downloads/HVA_METSELWERK/diktaat/NEN-EN%201996-1-1_tabellenboek.pdf

[338] Gedurende 2013 en 2014 werden verschillende testen op bestaande muren van testwoningen in de provincie Groningen uitgevoerd om de muursterkte te bepalen. Hier kwamen geen andere waarden uit.

NPR-Par 4.2.3.2 (6) Op elk gebouwniveau en in elke horizontale richting van de berekening van *x* en *y*, dient de structurele excentriciteit e_o en de draai radius *r* overeen te komen met de twee volgende voorwaarden, uitgedrukt in de *y-y* richting.
$e_{ox} \leq 0{,}30\ r_x$ (NPR formule 4.1a) en: $r_x \geq l_s$ (NPR formule 4.1b) waarbij:
e_{ox} = afstand tussen de stijfheids-as en de massa-as gemeten langs de *x-x* as (loodrecht op y-y as).
r_x = wortel (√) van: de weerstand tegen draaien (in m^3) gedeeld door de horizontale weerstand langs de *x-x* as.
l_s = horizontale draaiing straal van de vloermassa.
l_s = wortel (√) van *a/b.* *a* = het polaire moment van de vloermassa t.o.v. het massa centrum van de vloer, gedeeld door *b,* de massa van de vloer.

Dezelfde formule is toepasbaar voor de berekening langs de *y-y* as. e_{oy} en r_y
Elk gebouw dient in de twee loodrecht op elkaar staande richtingen gecontroleerd worden.
De berekening van het weerstandsmoment W_x van de draagmuren in gebouwen volgt dezelfde rekenmethode als de berekening van dunne staalprofielen. $W_x = I_x/t_{max}$ en $I_x = \eta/3 * \sum h_i * t_j^3$ waarbij $h_i / t_j > 1{,}0$ en $\eta/3$ is afgerond op *1/3.*

De dunne (halfsteens) draagmuren dienen bij de berekening te worden meegenomen als draagmuren en overeenkomstig versterkt te worden als onderdeel van het seismisch versterken.

Van elke plattegrond en per verdieping dient dus eerst de massa (gewicht plus 50% nuttige belasting in kN) en het traagheidsmoment te worden uitgerekend (I_x) en vervolgens het weerstandsmoment in een richting (W_x).

Bij sterk onregelmatige gebouwen die een uitgerekte L, T, H, C or X vorm, of zeer lange constructies hebben ($\lambda > 4 = L_{max}/L_{min}$) dient te worden nagegaan of het gebouw niet structureel gesplitst dient te worden om te hoge krachten in de inwendige hoeken van deze gebouwen te voorkomen.

8.15. Berekening massa en belasting

Voor de meeste basistypen woningen is direct te zien of de plattegrond excentrisch is. Slechte eenmaal hoeft deze berekening dan te worden uitgevoerd. De berekening hieronder is slechts een voorbeeld[339].

Van het onderstaande twee woonlagen gebouwtje (schets) is de volgende massa geschat:

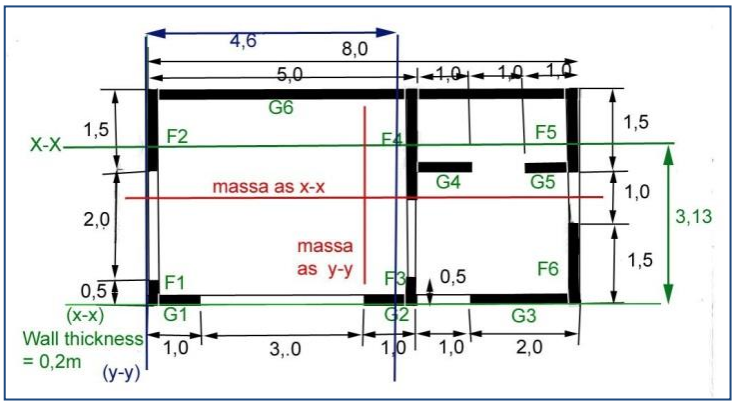
De vloermassa van houten verdiepingsvloer is 40 m^2 x 0,3 kN/m^2 = 12 kN
Plafond en vloerbedekking verdiepingsvloer is 40 m^2 x 0,2 kN/m^2 = 8 kN
Alle muren van bovenliggende verdieping 20 m x 0,2 m x 2,5 m x 18 kN/m^3 = 180 kN
50% nuttige vloer belasting bovenliggende verdieping 40 m^2 x 1,75 kN/m^2 = 70 kN
Plafonds van bovenliggende verdieping 40 m^2 x 0,3 kN/m^2 = 12 kN
Totaal dak-gewicht met dakpannen 40 m^2 x 0,75 kN/m^2 = 30 kN
Totaal sneeuwbelasting 40 m^2 x 0,5 kN/m^2 = 20 kN (windbelasting wordt niet meegerekend).
Totaal belasting op de te berekenen verdiepingsvloer en onderliggende muren = 332 kN

Wanneer de uitgerekende dwarskracht vanwege een aardbeving 0,1*g* zou zijn, dan is de kracht vanwege de massa op de verdieping vloer ongeveer 30 kN x de excentriciteit.

[339] Massa's en Belastingen volgens NEN 3859. Bij gebouwen met lichte houten vloerconstructies maakt de mogelijke nuttige vloerbelasting een groot gedeelte van de toegerekende massa uit. Bij betonnen vloeren is dit een kleiner percentage omdat de eigen massa veel groter is.

8.16. Berekening traagheidsassen.

Figuur 8-77. Berekening traagheidsassen.



Muren met dikte 20 cm. Oppervlakte berekening F1 tot en met F6, plus G1 tot en met G6 is:
0,2m(0,5m +1,5m +0,5m +2,0m +1,5m +1,5m) + 0,2m(0,8m +0,8m +1,8m +1,0m +0,8m +7,6m) = 1,5 m^2 +2,56 m^2= 4,06 m^2

Afstand bepaling van (x-x) tot x-x as:
{(0,25m*0,01m^2 +4,75m*0,3m^2 +0,25m*0,01m^2 +4,0m*0,4m^2 +4,75m*0,3m^2 +1,0m*0,75m^2) + (0,1m*0,16m^2 +0,1m*0,16m^2 +0,1m*0,36m^2 +4,9m*1,52m^2 +3,1m*0,2m^2+3,1m*0,16m^2)} /4,06m^2=(5,455m^3+7,266m^3) /4,06m^2= 3,13m^1 Dit is ongeveer 0,63 m van de massa zwaartelijn wanneer de massa zwaartelijn precies in het midden van het gebouw ligt op 2,5m.
Bij deze plattegrond is e_{oy} = 0,125 * 5m dus; e_{oy} > 0,05 * L_i **dus torsie berekening nodig.**

Aftstand bepaling van de (y-y) tot Y-Y as:
{(0,1m*0,1m^2 +0,1m*0,3m^2 +0,1m*4,9m^2 +0,4m*4,9m^2 +0,3m*7,9m^2 +0,3m*7,9m^2) + (0,6m*0,16m^2+4,4m*0,16m^2 +6,9m*0,36m^2 +5,5m*0,2m^2 +7,4m*0,16m^2 +2,5m*0,92m^2 +6,4m* 0,56m)/4,06m^2 = (7,23m^3+11,452m^3) /4,06m^2 = 4,60m^1 Dit is ongeveer 0,60m van de massa zwaartelijn wanneer de massa zwaartelijn precies in het midden van het gebouw ligt op 4,0m.
Bij deze plattegrond is e_{ox} = 0,075 * L_i dus; e_{ox} > 0,05 * L_i **dus torsie berekening nodig**.

De torsie kracht loodrecht op de x-x as is 60kN x 0,6m = 36 kNm.
Deze kan worden weerstaan door een versterking van de gevels F1-F2 en F5-F6 voor het totale moment. Per gevel is dit een extra kracht in het vlak van de muur van 18 kNm/4m = 4,5 kN. Het vloerdiafragma moet deze kracht overbrengen naar de onderliggende muren.

De torsiekracht loodrecht op de y-y as is 60kN x 0,63m ≈ 38 kNm.
Deze kan worden weerstaan door een versterking van de gevel G1-G2-G3 en G6 voor het totale moment. Omdat gevel G6 een gesloten constructie is zal hoofdzakelijk gekeken moeten worden naar de gevel G1-G2.deze moet de helft van de extra kracht opvangen van 19kNm/1,5m = 12,7 kN. Vanwege de korte afstand dus bijna drie keer zoveel kracht als de F1-F2 gevel. Het vloerdiafragma moet deze kracht overbrengen naar de onderliggende muren.

NPR-Par 4.2.3.2 (8a) In gebouwen met meer verdiepingen dienen de structurele draagmuren en frames die de horizontale belasting moeten opnemen verticaal door te lopen van het dak tot aan de fundering. Dunne scheidingswanden tellen hierbij dus niet mee. Gevels van spouwmuren tellen wel mee, maar de raamopeningen op de begane grond zijn vaak breder dan die op de hogere etage.

In veel Nederlandse woningen zal aan de bovenstaande regel (8a) vaak niet voldaan worden vanwege de gevarieerde posities van ramen en deuren tussen de verdiepingen. De resulterende krachten van massa en aardbevingskrachten moeten naar de fundering worden geleid zonder onderbreking van openingen. Bij de toepassing van ringbalken en stijve diafragma's zullen deze krachten op elke verdieping door het diafragma opnieuw verdeeld worden over de onder staande dragende muurdelen. In het geval met stijve diafragma's is de regel 8a minder relevant.

Veel halfsteens binnenmuren hebben een dragende functie voor statische verticale belasting. Deze gezamenlijke muren zijn secundaire constructies en mogen tezamen slechts voor 15% in de verticale weerstand meetellen; NPR-Par 4.2.2 (4). Dit betekent dat ze niet in de berekening voor horizontale (aardbeving) belasting mogen meetellen, en in dat geval slechts als massa gerekend moeten worden.

8.17. Algemene observaties

1. De stijfheid van de constructie van oudere bakstenen woningen kan niet eenvoudig worden uitgerekend zonder kennis over de gebruikte materialen zoals baksteen, de voegen, de spouwmuur ankers en mate van vloerverankering. Ook interne verbouwingen kunnen de structuur van het gebouw veranderd hebben zoals bij het verwijderen van binnenmuren.

2. Over het algemeen kan van de plattegrond (met indicatie van de ramen en deuren) van de meeste woningen op eenvoudige wijze geconstateerd worden of deze woning een excentriciteit in de X- of Y-as hebben. In dat geval is het extra belangrijk dat dunne binnenmuren versterkt worden (Hoofdstuk 6) en het vloerdiafragma van de eerste etage goed verstijfd en aan diens randmuren verbonden wordt. Hoe groter de excentriciteit hoe sterker het diafragma moet zijn.

   Wanneer één woning van een bepaalde typologie globaal is doorgerekend kunnen alle andere woningen van diezelfde typologie op dezelfde wijze versterkt worden.

3. Bij woningen met houten vloeren maakt de nuttige belasting een groot percentage uit van de krachten. De mate van excentriciteit wordt echter niet beïnvloed door de nuttige vloerbelasting, maar wel de mogelijke krachten op de constructie. **Hoe groter de massa, hoe groter de krachten.**

4. Bij woningen met houten vloeren, moeten deze beoordeeld worden als zonder vloerdiafragma als het niet zeker is dat de vloerbalken rondom sterk aan de draagmuren zijn verbonden. Wanneer de houten vloeren rondom sterk aan alle draagmuren zijn verbonden, kan sprake zijn van een flexibel diafragma. Het versterkte vloerdiafragma moet over het hele gebouw doorlopen.

5. Flexibele houten vloeren moeten aanzienlijk stijver gemaakt worden voordat ze kunnen gaan functioneren als stijve diafragma's. Het op de vloer storten van een dunne betonplaat zoals bijvoorbeeld met de Lewis zwaluwstaart vloeren (Figuren 8-59) maakt de vloer wel stijf, maar voegt ook **massa** toe, hetgeen weer nadelig is.

6. Bij een versterking/verstijving van het vloerdiafragma zal de tussenmuur het grootste gedeelte van de krachten opnemen. Het versterken van die tussenmuur en diens fundering is daarom een belangrijk onderdeel in de gebouwversterking.

7. Bij moderne twee onder-een-kap woningen loopt het vloerdiafragma meestal niet door over de tussenmuur om geluidsoverdracht te minimaliseren. Dit resulteert vaak in een excentriciteit van elke woning, terwijl het aanzicht van de gevel wel symmetrisch kan zijn.

8. Bij gestapelde (doorzon)bouw kunnen de binnenmuren van gelijmde hogedruk kalksteen zijn en hebben dan een grote sterkte. Lange prefab betonnen vloerelementen liggen vaak los op deze dragende binnenmuren. Een momentvaste verbinding tussen draagmuren en deze vloerplaten is hier essentieel om aardbevingskrachten in de lengterichting van het bouwblok te weerstaan.

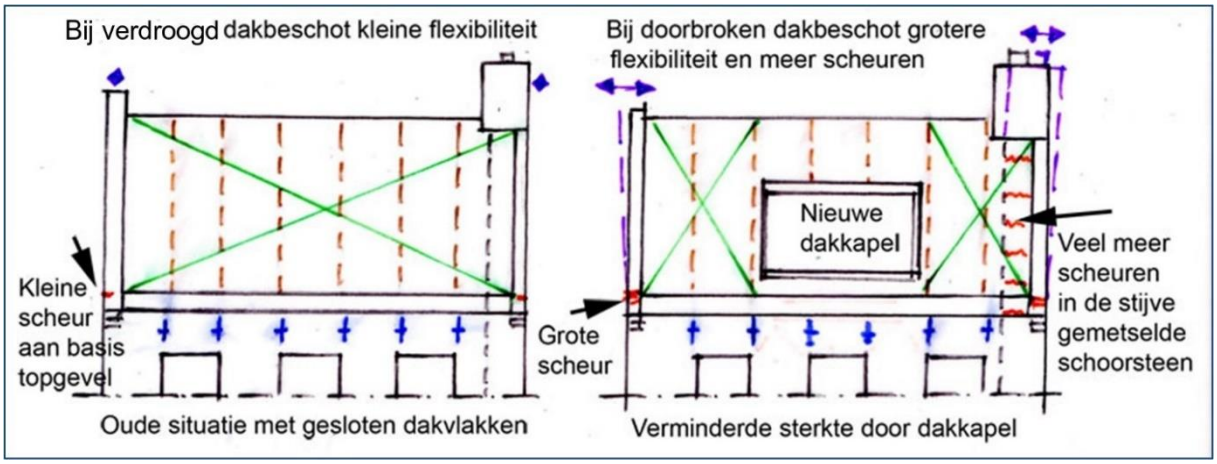
**********Terug naar het begin van dit Hoofdstuk 8**********

**********Terug naar de inhoudsopgave figuren**********

Duurzaam Herstel en Versterking van Woningen in Groningen

Hoofdstuk 9 DAKDIAFRAGMA

Na de aardbevingsproblematiek en de afbouw van de aardgasproductie



Abstract:
Seismische versterking van het dakdiafragma volgt dezelfde principes als voor het vloerdiafragma. Bij tentdaken voorkomt het dakdiafragma scheuren in de topgevels en gevaarlijke belasting loodrecht op het vlak van de draagmuren. Zwakke daken en zware topgevels zijn een extra seismisch risico in combinatie met gemetselde schoorstenen. Een paar voorbeelden en oplossingen worden aangedragen.

Kernwoorden o.a.:
Baksteen, dakconstructie, dakraam, dakvorm, diafragma, duurzaam, gevel, isoleren, hoofdstructuur, metselwerk, schoorsteen, seismisch versterken, veiliger maken, verbouwen, verduurzamen.

Door: Sjoerd Nienhuys
Bouwkundig, seismisch ingenieur
Juli 2023

9.0. Inleiding

Het vorige hoofdstuk 8 belichtte het vloerdiafragma dat hetzelfde is als het dakdiafragma van het platte dak.

Het dakdiafragma dat in dit hoofdstuk 9 wordt behandeld is het schuine dak, dat niet de muren bij elkaar houdt, maar wel ongunstige belastingen op de (gemetselde) muren kan uitoefen, zoals bijvoorbeeld bij de topgevels. Het flexibele dak heeft ook veel invloed op de gemetselde schoorstenen zoals al is beschreven in hoofdstuk 3, schoorstenen en topgevels. De verschillende hellingshoeken van het schuine of tentdak en het Mansardedak (met een knik) en de dak-onderbrekingen zoals de dakramen en dakkapellen, kunnen in een aardbevingsgebied problemen opleveren wanneer ze niet goed zijn uitgevoerd om de krachten naar het vloerdiafragma over te brengen. De daken in de provincie Groningen werden nooit ontworpen met aardbevingen in het vooruitzicht. Het grote dak van de Grote Gebinten Schuur wordt apart in hoofdstuk 10 behandeld.

Elk hoofdstuk in deze serie herhaalt enkele van de elementen uit de andere hoofdstukken wanneer het verband tussen de verschillende gebouw onderdelen moet worden beklemtoond. Het is echter niet zo dat als je een dak versterkt volgens de informatie die in dit hoofdstuk wordt gegeven, dat de woning dan ook aardbevingsbestendig is. Elk hoofdstuk is een onderdeel van het geheel en de oplossingen van het ene hoofdstuk hebben invloed op de oplossingen in het andere hoofdstuk.

Extra dak-belastingen door PV en PVT-panelen of zonneboilers kunnen een negatieve invloed op de sterkte hebben, vooral wanneer het oude daken zijn die nooit op die belastingen waren berekend. Ook zijn de stormbelastingen in de laatste decennia toegenomen, terwijl het niet ondenkbaar is dat vanwege de klimaatverandering de normwaarde voor stormbelasting in het open land van Groningen in de nabije toekomst nog hoger zal worden gesteld.

Vooral daken zullen extra thermisch geïsoleerd moeten worden om de verwarmingskosten te verlagen en daarmee de CO_2-uitstoot. Hoewel isolatiemateriaal een klein gewicht per m^3 heeft zal de toevoeging van 20 cm dikte wel invloed hebben op het belasting patroon van die daken. Versterking en isolatie kan echter wel samengaan. [340]

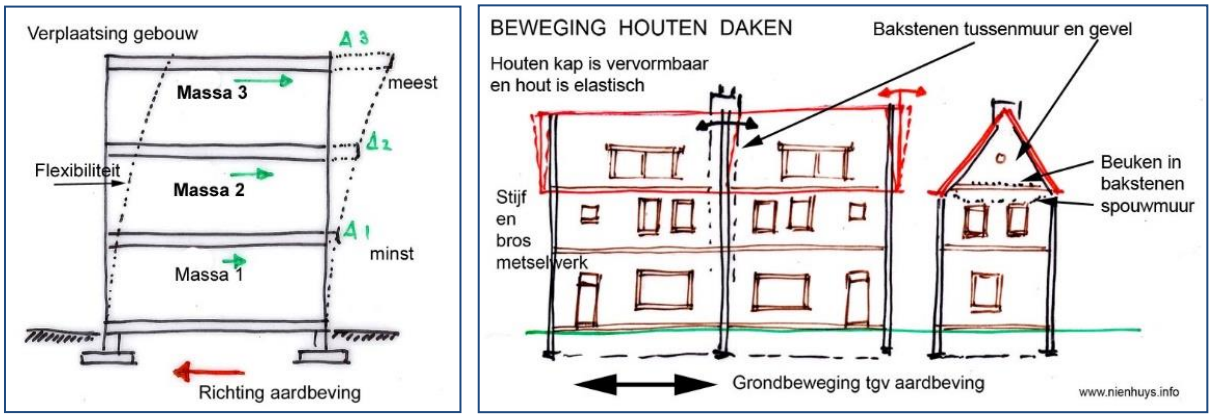
Figuur 9-1. Meer dan een enkel probleem.

[340] Meer informatie over dakisolatie op www.nienhuys.info eerste pagina.

9.1. Hoger in het gebouw is meer beweging

Het principe van de werking en de noodzaak van het vloerdiafragma bij aardbevingen is in hoofdstuk 8 toegelicht. Dit geldt niet alleen voor de eerste etagevloer, maar ook voor de tweede etage of zoldervloer en de dakvloer. Hetzelfde principe geldt ook voor de schuine dakvlakken van een gebouw.

Hoewel de aardbevingsbelasting van de gebouwmassa in de top van een gebouw veel kleiner is dan boven de fundering, is de horizontale versnelling en de verplaatsing boven in het gebouw het grootste. Hoge elementen in een gebouw worden hierdoor extra heen en weer geschud.



Figuren 9-2. Horizontale verplaatsing bovenin. Bij gelijke elasticiteit van elke etage is de verplaatsing evenredig aan die elasticiteit, maar de grote flexibiliteit van een dakconstructie zal er de oorzaak van zijn dat de top van een dakconstructie veel verder uit-beweegt dan het stijve metselwerk.

Omdat baksteen metselwerk een star en bros materiaal is, kan het slechts weinig elastische vervorming ondergaan, waarna het zal barsten of scheuren. Vanwege de grotere horizontale verplaatsing boven in een gebouw, zullen daar dan ook de eerste scheuren optreden. Een veel voorkomend voorbeeld hiervan in de horizontale scheur in een gemetselde topgevel bij een zadeldak, van de ene goot naar de andere, eventueel via de lateien, boven de ramen of ter hoogte van de balkankers van de etagevloer.

Figuren 9-3. Schade locatie bij zadeldaken. Hier zijn de potentiële locaties (rode lijnen) aangegeven in de topgevels waar barsten kunnen/zullen voorkomen vanwege de beweging van de houten kapconstructie. Niet alleen door stormbelasting kan dit gebeuren, maar vooral door aardbevingsbelasting. De kleine zware dakpannen kunnen onderling wel iets meebewegen maar de gemetselde topgevels en schoorstenen niet, die barsten.

De dak-bewegingen tijdens een aardbeving kunnen in de top enkele cm zijn ten opzichte van de etagevloer. De vorming van barsten in de lintvoegen langs die vloerbasis is wellicht enkele tienden van mm en dus nauwelijks zichtbaar. Deze barsten hebben geen structurele consequenties en verminderen niet het verticale draagvermogen van de muur, maar zijn wel een degradatie van de muurkwaliteit. Ook betekent het dat die muurdelen geen sterkte hebben tegen afschuiving. Eenmaal gebarsten, zullen bij meerdere schokken deze barsten groter worden en uiteindelijk zichtbaar. Dit komt omdat met de barst de kruimels het terugkeren naar de oorspronkelijke positie verhinderen. Het aanbrengen van horizontale lintvoegwapening zal de vorming van deze barsten niet voorkomen.

Barsten en scheuren in de topgevels kunnen erger of groter worden door:

- Veroudering van het dakbeschot en uitdogen van het hout (meer beweging),
- De aanwezigheid van dakkapellen en andere dak doorbrekingen.
- Andere, hogere en mansarde dakvormen die meer gevoelig zijn voor beweging.
- Zware schoorstenen op de houten dakconstructie.
- Verwijdering van kapconstructies die de spatkrachten tegengaan.
- Verandering van dakbedekking (dakpannen i.p.v. riet of golfplaten).
- Verandering van dak-belasting (PV, PVT, Zonneboilers, isolatie).
- Kapconstructies die op borstweringen boven de zoldervloer staan.
- Houtrot, schimmel en andere hout aantastingen.
- Grote stormbelasting en aardbevingen.

9.2. Verschillende dakvormen

Naast het eenvoudige tent- of zadeldak dat in de vorige pagina werd uitgebeeld komen in de provincie Groningen de volgende dakvormen veelvuldig voor:

a. Zadeldak of zadeldak met wolfseind.
b. Schilddak met vier schuine zijden of het tentdak en vier gelijke zijden.
c. Mansardedak met of zonder inwendige borstwering[341].
d. Dak van de grote schuur; bij oude schuren meestal van rondhout en origineel riet gedekt.

Figuren 9-4. Verschillende dakvormen. Elk met eigen technische problemen. Linksboven. Boerderijwoning met zadeldak en wolfseinde. Midden boven. Schilddak aan vier kanten. Rechtsboven. Mansarde geknikt dak. Onder links. Tentdak, piramidedak. Onder midden. Zadeldak. Onder rechts. Grote schuur dak met uilenbord.

[341] Jaren-30 woningen hebben vaak een groot dak overstek, maar de dakspanten staan dan met de verticale of schuin lopende kreupele stijl op de bouwmuur. Aan de binnenzijde zit dan meestal een knieschot.

De oudste herenboerderijen of kop-boerderijen hebben boven het plafond van de hoge woonvertrekken een zolder met een hoge borstwering waar de kapconstructie op staat. In sommige gebouwen zitten er lage zolderramen in die borstwering, terwijl in andere gebouwen de hoge borstwering achter de hoge gevelafwerking en goot zit. De hoge borstwering constructie komt ook voor bij Mansardedaken die het steile dakvlak als buitengevel en overhang hebben.

Figuren 9-5. Kapconstructie met borstweringen. Links. Hoge borstwering op zolder achter de dakrand en goot. Midden. Kopgevel met lage zolderramen waarbij het dak op ook op een verhoogde borstwering staat. Rechts. Mansardedak met overhang en een binnenzijdige borstwering tot aan de dakramen.

Figuren 9-6. Foto's van hoge borstwering. Van figuur 9-4 links. Een hoge borstwering achter de dakrand en goot. De hele kapconstructie staat op deze verhoogde muur, maar deze 160 cm hoge muren hebben geen enkele inwendige ondersteuning.

In aanvulling op deze hoofdvarianten zijn er veel samengestelde daken die onregelmatige vormen hebben zoals T en L plattegronden of extra verlengde daken vanwege de verschillende aanbouwen en uitbreidingen die over de vele jaren hebben plaatsgevonden.

Figuren 9-7. Kopwoning met hoge borstwering. De ramen zitten gelijk met de vloer en vormen een verzwakking van die muren. Tussen de muurplaat van de kapconstructie en de zoldervloer zijn origineel geen steunverbindingen. Diagonaal scheuren zijn boven de ramen zichtbaar. De zware schoorstenen zijn reeds uit het dak en zolder verwijderd. De muren zijn tijdelijk met houten delen verstevigd.

Deze grote oude woonhuizen hebben meerdere seismische problemen die samen opgelost moeten worden om het gebouw te verduurzamen. Deze zijn:

- Kelder onder de helft van het gebouw. Wanneer deze slechts onder een gedeelte van het gebouw zit, zullen er langs de zijkanten van de kelder en helemaal tot aan het dak meestal scheuren zijn ontstaan door verschillen in de zetting onder de kelder en onder de rest van het gebouw. Gebouwen van figuren 9-6 en 9-7 hebben een kelder onder het hele gebouw.

- Hoge ramen en smalle penanten. Voor een PGAg < 0,05 zijn deze penanten (*Figuur 9-7*) op de grenswaarde van sterkte, maar bij gebrek aan binnenmuren die in een aardbevingsgebied een groot gedeelte van de bevingsbelasting op moeten nemen zijn ze onvoldoende sterk.

- Steens en 1,5 steens-muren waar de balkankers in zijn verbonden. Door vocht kunnen deze balkankers gaan roesten en daarmee de muur beschadigen en de verbindingen verzwakken. Dit laat op etageniveau beweging toe.

Figuur 9-8. Detailfoto verroest balkanker. Door de expanderende roest zijn de bakstenen los van elkaar gedrukt. De beweging van de zoldervloer t.g.v. de beving veroorzaakte het uitdrukken van de bakstenen.
Rechtsboven in deze foto is ook de scheur in de hanenkam te zien.

- Geen lateien boven de kozijnen, waardoor de muren in hun vlak naar buiten kunnen wijken. Door het gebrek aan een verbindend vloerdiafragma neemt die vloer niet die krachten op.

- Hoge, niet ondersteunde borstwering. Alleen in de hoeken is wat stabilisatie, maar over het middengedeelte kan de borstwering door de kapbelasting naar buiten worden gedrukt. In figuren 9-4 is er een horizontale stalen verbinding die de spatkrachten van de kap opvangt, maar dat zelden het geval. De muurplaat kan onvoldoende aan de muur bevestigd zijn.

- De hoge en zware gemetselde schoorstenen, met het gemetselde schoorsteenkanalen boven de zoldervloer en met spouwmuur buitendaks wogen samen bijna 10 ton (*Figuur 9-7*). Door de extra beweging van de flexibele dakconstructie voegde dit een extra belasting toe.

- De steens-muren zijn nauwelijks geïsoleerd (Rc < 1,0 m^2.K/W) met aan de binnenzijde tengelwerk met een luchtlaag. Om deze muren goed te isoleren tot aan de nieuwbouwnorm is ongeveer 10 cm PIR of 15 cm steenwol extra nodig (totaal Rc > 4,7 m^2.K/W).

Deze punten illustreren dat het seismisch resistent maken van dak een aanvullende maatregel is die gerealiseerd moet worden wanneer de andere maatregelen aan de fundering, muren en vloer-diafragma's zijn uitgevoerd. De aanpassingen van de schoorstenen (hoofdstuk 3) zijn ter vermindering van de hoge risico's.

Figuur 9-9. Middengedeelte uitgedrukt door dak. De gevellijst is gebarsten vanwege de belasting van de kapconstructie en schoorsteen, gecombineerd met het gebrek aan een zolder vloerdiafragma. Het dakraam kan/zal een verzwakking van de kapconstructie zijn. Dat is van binnen te constateren.[342]

Figuren 9-10. Muur is naar buiten gekomen.
<u>Links.</u> De rechte bovenlijn van de foto laat zien dat het middelste gedeelte van de muur naar buiten is uitgeweken, terwijl de binnen-foto laat zien dat er flinke muurschade is boven de lage ramen.
<u>Rechts.</u> De kapspanten zijn wel met een kreupele stijl naar de zoldervloer doorgezet en met ijzeren balkankers aan de steens-buitenmuur verbonden. Echter, de dak-sporen rusten op de muurplaat en het geheel is bewegelijk.

9.3. Binnenzijdige versterking en isolatie steens-muur

Door deze ruime kopgebouwen aan de binnenzijde goed te versterken en isoleren wordt uiteraard 15 tot 20 cm ruimte langs de binnenzijde van die buitengevels verloren, maar dit tast de gebruiksfunctie meestal niet aan. Het binnenzijdig isoleren van een steens buitengevel zal altijd met een dampdichte folie aan de warme kant moeten gebeuren om te voorkomen dat vocht van binnenuit in de muur condenseert. Echter, de steens buitenmuur zal zonder royaal overstek vochtig worden en lang vochtig blijven, omdat er met binnenzijdige isolatie geen verwarming van die muur optreedt. Het effect is dat de oude massief ijzeren balkankers die in die muur zitten een verhoogde kans op roestvorming hebben. Bij het maken of verbeteren van het etage/zolder vloerdiafragma zijn die balkankers de oude verbinding met de muren die vervangen moeten worden.

[342] Dakramen zijn recent (in de laatste 30 jaar aangebracht) om de zolderruimte te kunnen gebruiken. Het in gebruik nemen van de zolderruimte geeft ook vaak problemen met de doorbuiging van de vloer.

Om corrosieproblemen in deze situatie te voorkomen is het nodig dat het vloerdiafragma op de binnenzijdige versterkende houtskeletbouw constructie draagt, en dat de verticale profielen onder de vloer met chemische en roestvrije ankers aan de muren zijn verbonden. De ijzeren balkankers moeten dan verwijderd worden en verliezen hierbij hun functie (zaten meestal toch al los). Deze ankers kunnen thermisch verzinkt worden met zwarte poedercoating tegen roestvorming. Het terugplaatsen van deze ankers heeft dan uitsluitend een esthetische waarde.

Figuren 9-11. Per typologie versterkingen. De typologie die steens-muren heeft kan/moet op eenzelfde wijze geïsoleerd worden.

Bij het binnenzijdig isoleren van oude gebouwen met steens buitenmuren moet goede aandacht gegeven worden aan de bouwfysische aspecten en de vochthuishouding en ventilatie om te voorkomen dat op de duur andere problemen worden geïntroduceerd.

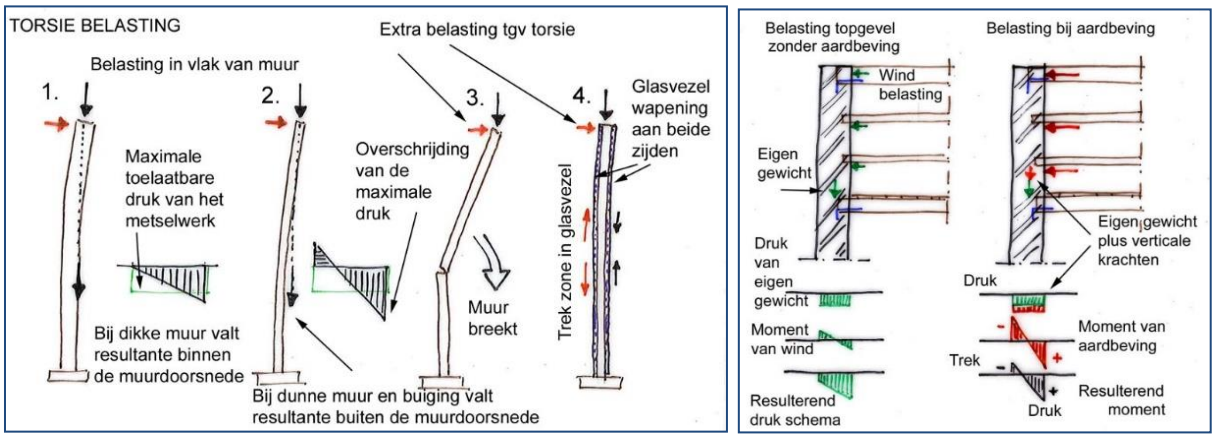
9.4. Hoe ouder, hoe droger en losser de verbindingen

De dakconstructie met dakpannen en bakstenen schoorstenen heeft een grote massa. Hoe groter die massa is, hoe groter zijwaartse aardbevingskracht van die dakconstructie op de topgevels zal zijn. Een oude dakconstructie zal makkelijk vervormen en daardoor de aansluitende muren of schoorstenen belasten en ook vervormen. De gemetselde topgevels, tussenmuren of schoorstenen zijn van stijf en bros metselwerk en kunnen niet voldoende elastisch vervormen; metselwerk zal daarom scheuren.

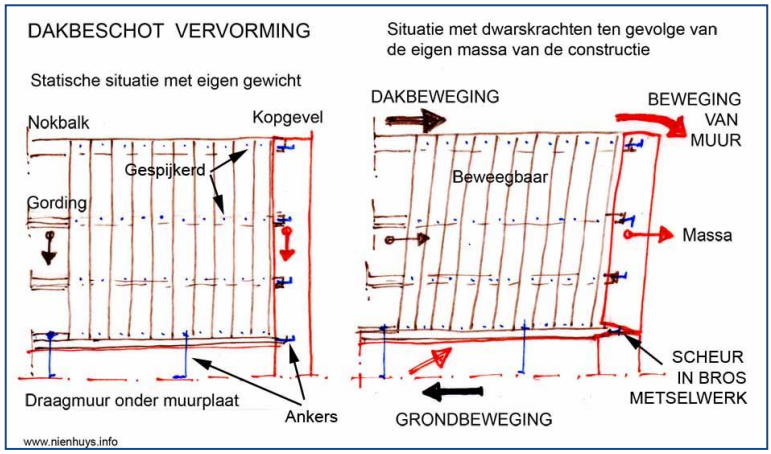
Figuren 9-12. Uitgedroogde planken of sporen. Deze laten veel beweging toe. Rondhout verbindingen in oude gebouwen en schuren hebben bewegelijke verbindingen. Rondhout is vaak in de lengte gespleten door uitdroging[343]. De verbindingen zijn vaak met enkele spijkers en laten slechts drukbelasting toe. De oude daken zijn niet berekend op de nieuwe hogere stormbelasting normen. De dakpannen kunnen een groter gewicht hebben dan de vroegere rietbedekking.

[343] Hoewel veel schuurdaken golfplaten hebben gekregen (i.p.v. riet) zijn dit niet voldoende stijve verbindingen. Het afdekken van oude dakspanten of rondhout met beplating belemmert elke inspectie van dat hout op houtworm, houtrot, boktor en dergelijke en is daarom geen goed idee.

Muren die uit hun vlak worden gedrukt en excentrisch worden belast kunnen knikken. Een bewegelijke dakconstructie zal dit teweeg brengen bij de daaronder aansluitende gevels, wanneer ze niet direct aan een sterk verbindend vloerdiafragma zijn verbonden.



Figuren 9-13. Slechts berekend op windbelasting.
<u>Rechts</u>. Beweegbaar dakbeschot zal de kopgevel wegdrukken.
Extra horizontale druk levert buigrisico op. Baksteen kan nauwelijks buigen en zal dan breken. Korrels in een breuk zullen ervoor zorgen dat de scheur niet meer dichtgedrukt kan worden.
Bij volgende bewegingen zal de scheur elke keer groter worden.
Het dakbeschot moet een stijf diafragma worden i.p.v. de geveltop te versterken met GVTW.



De verticale druk/belasting van de topgevel op het niveau van de zoldervloer is erg klein. Een horizontale kracht zoals van wind (zuiging) levert een klein moment in de muur op. De samenstelling van de eigen gewicht druk (heel laag) en de druk- en trekkrachten van het moment is zonder aardbeving nog steeds druk in de muurdoorsnede (linker schets *Figuur 9-13*). Bij een beving en extra dak-beweging (en belasting) zal de drukspanning in de muur verdwijnen en trek worden, waarmee scheurvorming optreedt. Door de aardbevingskracht ontstaat er dus een buigend moment dat voor de topgevel te groot is. Deze kop- of topgevels kunnen losbreken en vallen, als deze niet goed via de nokbalk en gordingen aan het dakbeschot zijn verbonden.

Bij een losstaande topgevel zal deze bij horizontale belastingen slechts aan de gordingen en het dakbeschot blijven hangen. Niet alleen zullen eerst de dakvlakken versterkt en verstijfd worden voordat enige metselwerkscheuren worden weggewerkt, maar zal ook een verbeterde verankering moeten worden toegepast. Bij daken die niet symmetrisch zijn of dakvlakken die doorsneden zijn door dakkapellen moeten extra constructieve maatregelen genomen worden.

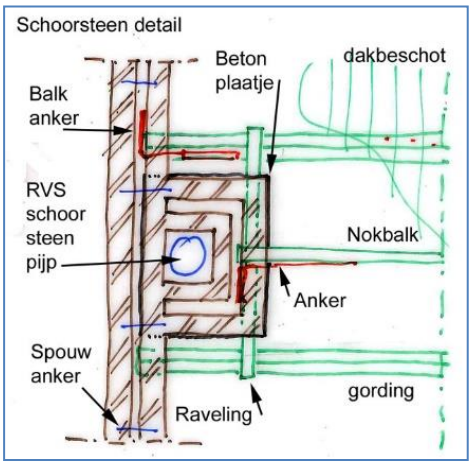
Schoorstenen op de nok van de daken leveren een hoge extra belasting op, terwijl rechte of versleepte schoorstenen bij enige beweging zullen beschadigen. Schoorstenen op de topgevels zijn eveneens een extra risico. Het sterk verminderen van de massa door lichtgewicht schoorstenen toe te passen en slechts metalen geïsoleerde schoorsteenkanalen te installeren worden de dakconstructies veiliger[344].

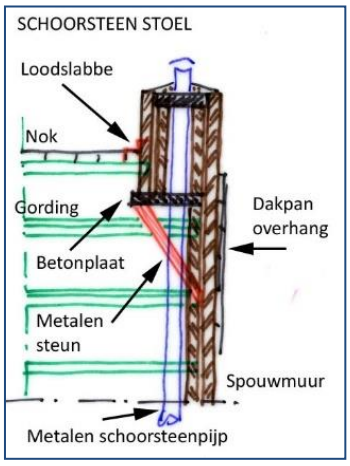
[344] Deze onderwerpen zijn al behandeld in Hoofdstuk 3 Schoorstenen. Bij het echte verduurzamen van de woning is geen houtkachel meer nodig/wenselijk en heeft de schoorsteen alleen nog een esthetische functie.

Figuren 9-14. Schoorsteen moet verwijderd worden. Dit moet zowel buitendaks als binnendaks gebeuren.

Bij het analyseren van verschillende woningen bleek dat **niet alle gordingen voldoende aan de gevels en schoorstenen waren verbonden**. Muurankers zaten vaak **los**, terwijl in sommige situaties de balkeinden **houtrot** hadden, omdat vocht langs de schoorsteen naar binnen drong.

Figuren 9-15. Massa moet verwijderd worden. Behalve bij een monument, is de basisregel dat er alleen een eventuele uitlaat van de CV of ventilatie door de pannen steekt.





De constructieve aspecten van de schoorsteen op een stoel worden in Hoofdstuk 3 uitgelegd. Het schoorsteenkanaal betekent meestal een onderbreking van de dakconstructie en gebrek aan verbindingen tussen de gordingen en de gevel.

Doorhangende daken zijn wellicht al vele jaren zo, maar zijn een teken van een te slappe constructie of het werken van het zachte vurenhout dat uitdroogt en onder de belasting dan gaat buigen.[345] De doorzakking zal een kleine verkorting van de overspanning inhouden. De nokgording trekt bij een goede verankering dan de kopgevel iets naar binnen. Alternatief kan de gording iets losgetrokken worden uit de woning tussenmuur.

Figuur 9-16. Doorzakken van nok-gording. Het kleine raam is de badkamer. De nokgording kan op de binnen tussenmuur ondersteund zijn wanneer deze badkamermuur tot in de kap doorloopt. Meestal is dat niet zo.

[345] In de jaren 1960-1970 werd er snel en goedkoop gebouwd waarbij lage kwaliteit vurenhout werd gebruikt. Het getoonde beeld is uit die bouwperiode.

Bij een sterk doorgezakte nok is een bestudering van de constructie aan de binnenkant noodzakelijk om te beoordelen of er speciale versterking noodzakelijk is. Bij een slappe balk kan deze opgedrukt worden en er een versterking onder gelijmd. Zie figuren 8-30 en 8-31. Bij erg oude gebouwen kan er ook een pasgemaakte regel op gelijmd worden.

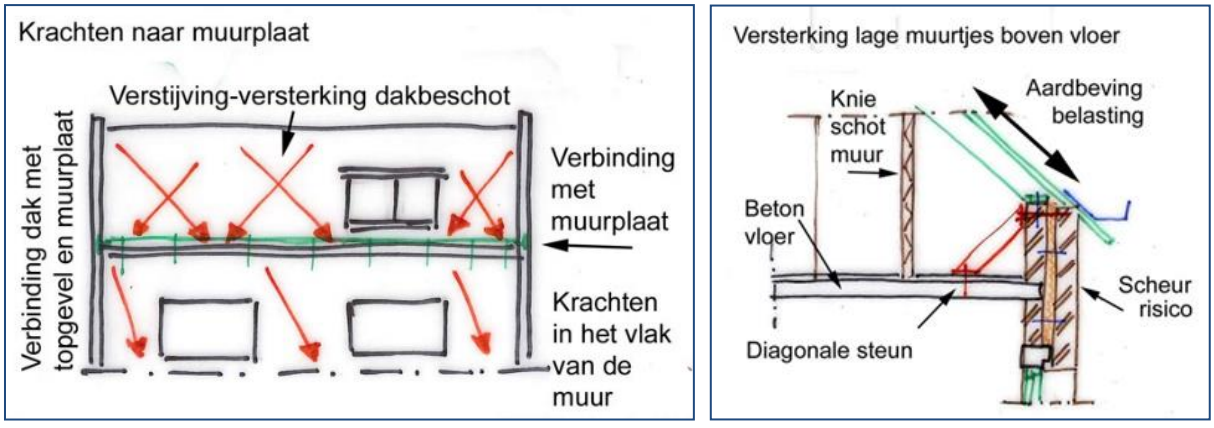
Figuur 9-17. Uitvlakken van oude gordingen. Foto uit Frankrijk van een historisch gebouw waarvan de gordingen zwaar waren doorgezakt. Door het op-lijmen/schroeven worden de gordingen tegelijkertijd extra versterkt in hun maximum moment zone.

9.5. Versterkingsmethoden

Daken met houten dakspanten en gordingen hebben verticaal opgetimmerd dakbeschot waar overheen horizontaal pannenlatten en pannendak is aangelegd. Bij een beving is de massa van de dakpannen[346], schoorstenen en topgevels van belang. De massa van de schoorsteen moet eerst verwijderd worden. Het dakbeschot moet als stijf diafragma werken en de krachten in haar vlak overdragen naar de muurplaten. Deze muurplaten moeten goede verbindingen hebben met de onderliggende draagmuren en vloerdiafragma. Het vloerdiafragma zorgt ervoor dat de muren niet loodrecht op hun vlak belast worden en moet voldoende sterk zijn om de horizontale belastingen via de sterkste muren naar de fundering te geleiden.

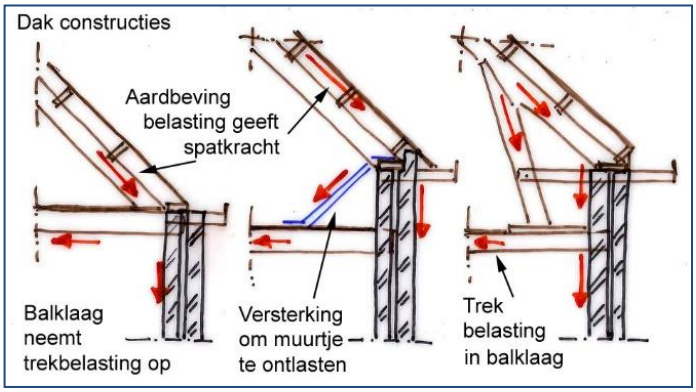
Alle verbindingen moeten deswege gecontroleerd worden op deze krachtenoverdracht en mogen geen speling vertonen.

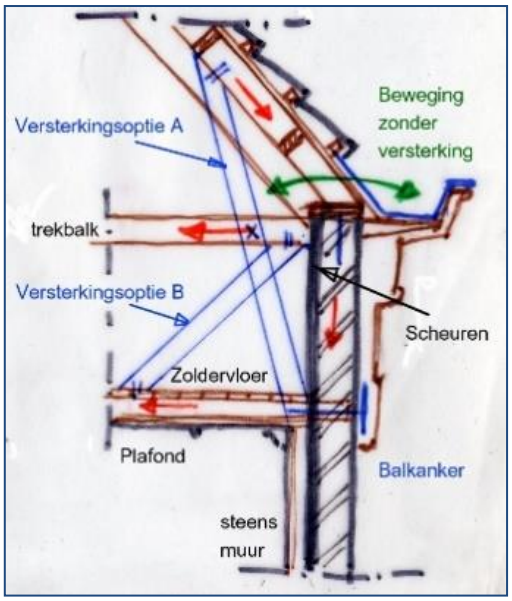
- Verbindingen tussen de topgevel en de gordingen.
- Verbindingen tussen het dakbeschot en de gordingen.
- Verbindingen tussen de dakspanten en kreupele stijl en de muurplaat en vloerbalken.
- Verbindingen tussen dakspanten/muurplaat en het zoldervloer diafragma.
- Verbindingen tussen het zoldervloer diafragma en de draagmuren (via muurplaat).



Figuren 9-18. Krachten naar de draagmuren. Bij elke dakvorm en kapconstructie mogen er geen krachten loodrecht op het vlak van de muren komen.

[346] Bij oudere gebouwen ziet men vaak het doorzakken van de nokbalk (met nokruiter) of gordingen. In enkele situaties zijn er op een zwak dak ook PV-panelen geplaatst. Alleen bij daken die met de bouw al onvoldoende sterk (of van snel gegroeid of spinthout) waren kan dit leiden tot het verder doorzakken van de gordingen.





Figuren 9-19. Geen verkeerde belastingen. Bij een lage borstwering moet voorkomen worden dat deze verkeerd wordt belast. Er zijn verschillende constructie mogelijkheden, maar een sterke verbinding met het vloerdiafragma is vaak noodzakelijk.

Daar waar boven het zoldervloerdiafragma nog een lage of hoge borstwering zit, moeten er diagonaal constructies naar het zoldervloerdiafragma worden aangebracht die voorkomen dat de muurplaat loodrecht op haar lengte kan bewegen.

Bij de grote kop-woning van de herenboerderij moeten dan niet alleen de schoorsteenmassa's verwijderd worden (stap 1), maar ook het zoldervloer diafragma gemaakt (stap 2), de muren versterkt (stap 3), voordat de dakconstructie versterkt kan worden (stap 4).

Met het beter isoleren van het dak kan de massa van de hele constructie toenemen. Als alternatief op dakisolatie (binnen of buiten tweemaal schuin) kan eenvoudige en goedkoper alleen de zoldervloer (alleen horizontaal) beter geïsoleerd worden, maar dan wordt die zolder in de winter erg koud.

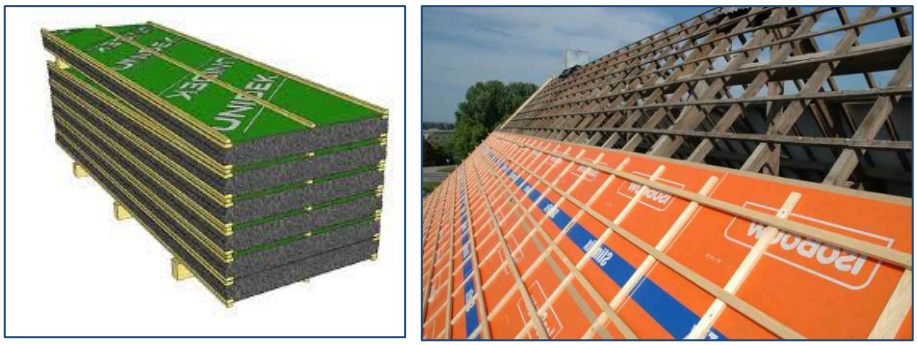
In sommige gevallen is bij de twee-onder-een-dak woningen of rijtjeswoningen de tussenmuur een spouwmuur. Het is belangrijk dat alle gordingen en de nokgording goed in die tussengevels ook dwars door de tussenmuren verankerd zijn aan de balken in de volgende woning en dat de verbindingen naar de andere buiten topgevel aan de andere kant van het woningenblok doorlopen.

In veel woningen zit de gemetselde schoorsteen aan het binnen spouwblad van de topgevel vast. De schoorsteen is onder de nok verbreedt en wordt een vierzijdige spouwmuur buiten. Dit was de gewone bouwkundige oplossing vóór dat er geïsoleerde rvs-pijpen werden geïntroduceerd.[347] Hierbij is de nokgording in de buiten spouwmuur van de schoorsteen opgelegd en steunt de stoelplaat op een raveling die op twee gordingen rust (*Figuren 9-15*). De continuïteit in de verbinding van de nokbalk naar de buitenmuur is dan onderbroken, terwijl ook balkankers kunnen ontbreken. De grote steenmassa en daarmee het gewicht van de buitendakse schoorsteen dient hier verwijderd te worden en de nokbalk of nokgording moet met de nokgording van de naastliggende woning verbonden worden.

[347] De verschillende aspecten van schoorstenen werden al in Hoofdstuk 3, schoorstenen toegelicht.

9.6. Binnenzijdig of buitenzijdig isoleren.

Wanneer het dak lekt en een (groot) aantal dakpannen aan vervanging toe zijn, is er de optie om het dakbeschot van de buitenkant te versterken. Oude daken hebben meestal geen dampopen regen doorslag-werende folie op het dakbeschot. Dit is een vereiste bij nieuwe daken. De buitenzijdige versterking kan gepaard gaan met betere isolatie. Bij woningwetwoningen of rijtjeswoningen kan het dan economischer zijn om het hele dak te vervangen door stijve zelfdragende isolatiepanelen.



Figuren 9-20. Vervangen van het hele dak. Dit is vooral economisch bij rijtjeswoningen en door woningcorporaties. Zo gaat er geen binnenruimte verloren.

9.7. Versterken samen met het isoleren

Bij de Nederlandse woningbouw van ná 1980 werden de daken al **iets** geïsoleerd, hetzij direct onder de dakpannen (3 cm Purschuim), hetzij aan de binnenkant van het dakbeschot. De uit de tachtiger jaren daterende isolatie is hooguit 5-6 cm dik met Rc = 1,5 m^2.K/W. In dat geval steken de gordingen (6,5 cm x 16,5 cm) nog ongeveer 10 cm aan de binnenkant door de isolatielaag en de afwerking heen. Deze binnen-isolatie bestaat meestal uit steenwol of glaswoldekens of platen.

Figuren 9-21. Geen isolatie van daken. Links. Geen isolatie. Midden. Een folie tegen de wind. Rechts. Afgewerkt.

Figuren 9-22. Resterende breedte gordingen. Links. De gordingen zijn voor 6-8 cm vrij. Bij gordingen van 16,5 cm is de dakisolatie (steenwol) dan niet meer dan 8-6 cm. De gipsplaat telt nauwelijks mee voor isolatie. Rechts. Volledige dikte van de gordingen (16, 5 cm) uitgevuld met isolatiemateriaal.

9.8. Verstijven en versterken van het dakbeschot

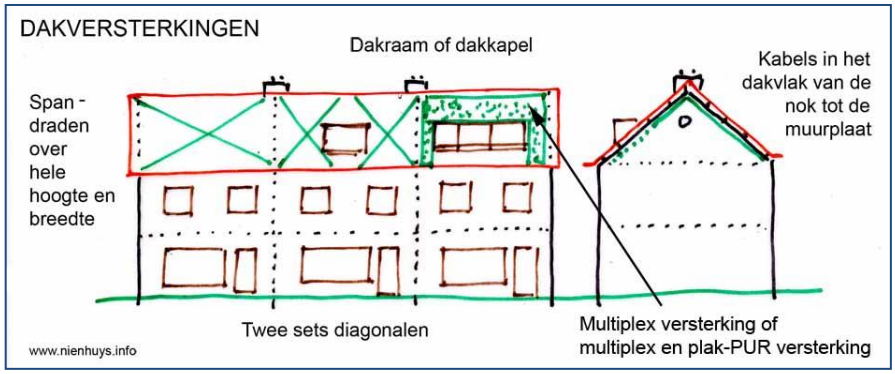
Voor de woningbouw zijn verschillende soorten van verstijvingen mogelijk:

Opschroeven van multiplex platen aan onderkant

De toepassing moet bij voorkeur symmetrisch zijn. Als een zadeldak slechts aan één kant stijver en sterker is gemaakt, terwijl aan de andere kant dakkapellen of dakramen zitten waar de verstijving niet is toegepast, dan kan er tijdens een aardbeving torsie of draaiing in de kapconstructie optreden. Het plafond/dak van een dakkapel heeft een horizontaal vlak, maar de dak-stroken naast de dakkapel hebben nauwelijks stijfheid. Dit heeft negatieve gevolgen heeft voor de constructiesterkte. Direct naast de dakkapellen moet dan extra verstijving worden aangebracht.

Figuren 9-23. Dakkapellen zijn onderbreking.
De stijfheid van het dak is hier onderbroken en kan bij een beving torsie van de constructie veroorzaken.

Dakvlakken kunnen verstijfd worden door het aanbrengen van spandraden, of rondom dakkapellen met het aanbrengen van stijve multiplex op de gordingen. Zonder baksteen topgevel is iets meer beweging geen probleem.



Het versterken van het dakvlak door platen is bij een gewone woning aanbevolen boven het verstijven met spanverbanden. Op het einde van dit hoofdstuk meer informatie over spanverbanden.

Figuren 9-24. Dak-opbouwen moeilijk versterken. Links. Nieuwe opbouw topgevel kan niet in een bevingsgebied. Midden. Schoorsteen is te veel. Rechts. Betere geveltop, maar geen schoorsteen is veel beter. Afbeeldingen zijn voorbeeld, niet uit de provincie Groningen.

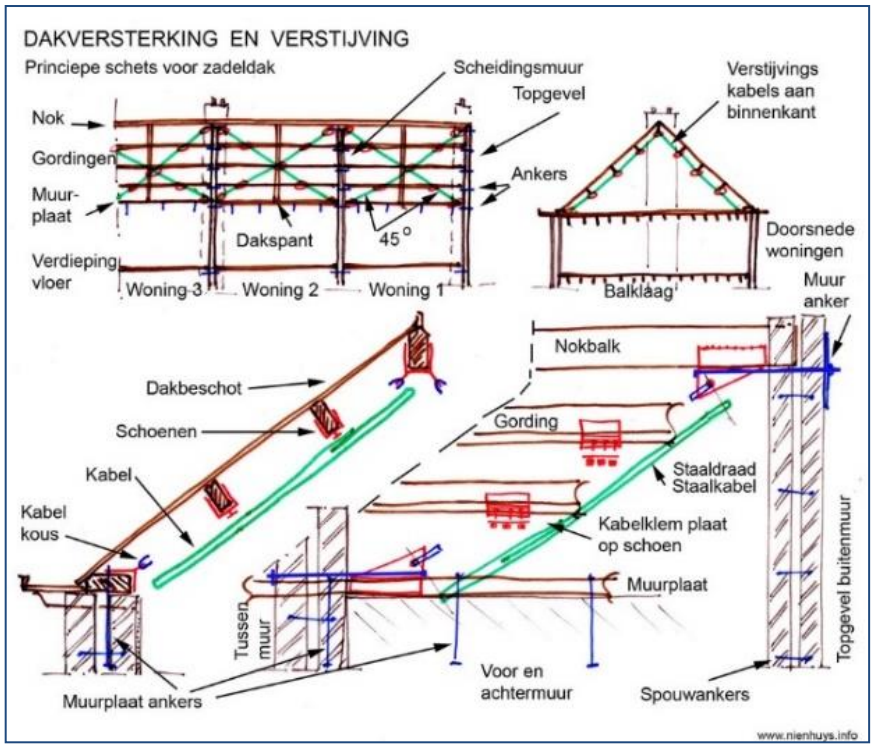
In een aardbevingsgebied is de dakopbouw links een verkeerde aanpak; in plaats van een nieuwe gemetselde gevel had het hele bovenstuk een HSB-constructie met een houten of kunststof bekleding moeten zijn. De midden foto is iets beter, maar de schoorsteen top moet verwijderd.

Figuren 9-25. Inwendige dakconstructies. Bij deze lage boerderijwoning werd een test uitgevoerd voor de versterking van de dakconstructie en de verbinding met het vloerdiafragma. (Tegen extra hoge PGAg-waarden).

De complexiteit van de boven-afgebeelde operatie van deze kleine woning gaf aan dat het veel economischer zou zijn om de zolderetage met HSB hoger te maken (vanaf de metalen band op de linker foto) waarmee structurele problemen en de isolatie samen goedkoper konden worden uitgevoerd. Hierdoor werd dan ook extra woonruimte gecreëerd.

<u>Diagonale spandraden of montage strips aan de onderkant</u>

Het diagonaal aanbrengen van spandraden, metalen strippen of stangen die goed aan de gordingen en extreme hoeken van de kapconstructie zijn verankerd. Wanneer deze aan de buitenkant worden aangebracht dienen eerst de dakpannen verwijderd te worden.



Figuur 9-26. Diagonale spankabels.
Wanneer aan de binnenkant van de kap de gordingen nog niet zijn afgedekt, is het aanbrengen van diagonale verstijvingskabels of strippen eenvoudig.

Het aanbrengen van een windverband met kabels of stangen die aan de gordingen en kepers zijn verbonden, maakt de grote dakvlakken zoals bij de Grote Gebintenschuren voldoende stijf en voorkomt extra aardbevingsdruk op de kopgevels. [348] Zie ook paragraaf 9.10.

[348] S&P Clever Reinforcement Company Benelux BV heeft dit uitgewerkt: www@sp-reinforcement.nl

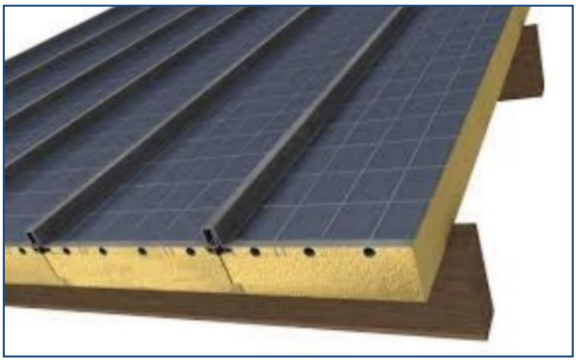
Verhogen van het dakvlak

Bij dak vernieuwing kunnen op het bestaande dak regels bevestigd worden, waarover een verstijvende multiplex plaat wordt bevestigd en daarop de dakisolatie. Dit is vaak een meer bewerkelijke en dus duurdere optie[349] dan 1) maar kan zinvol zijn wanneer er aan de binnenzijde geen ruimte is of er binnen geen aanpassingen gedaan mogen worden.

Figuur 9-27. Nieuw dak met stijve panelen. Zo wordt het dak wel stijf, maar de toegevoegde dikte kan een hoogteverschil opleveren met het dak van de buren. Dat kan geen bezwaar zijn.

Geïntegreerd PV-dak

Dit is een combinatie van lange zelfdragende stijve PIR platen zoals, waar PV-cellen op zijn verbonden. De voordelen zijn een snelle verwerking en een lichte stijve dakconstructie waardoor bevingsbelastingen kleiner worden. De nadelen zijn dat het dak bij voorkeur op het zuiden georiënteerd moet zijn voor een goed PV-rendement, en dat na een 25 jaar het rendement van de PV iets zal zijn teruggelopen[350]. Een ander nadeel van deze constructie is dat de PV-cellen hun warmte van onderen niet kwijt kunnen en daardoor ook een verlaagd rendement hebben en iets sneller zullen degraderen.



Figuur 9-28. Geïntegreerd PV-systeem. Inclusief hoogwaardige dakisolatie in grote zelfdragende systemen. Deze hebben zowel voordelen als nadelen. Na een 30-tal jaren moet de PV-folie vervangen worden voor een hoger rendement kwaliteit. In de pijpen onder de PV-cellen kan koelwater lopen.

Nieuw lichtmetalen dak

Dit is ook gebaseerd op het lichter maken van het dak en daardoor de belastingen verlagen. Zware dakpannen kunnen vervangen worden door brede lichtmetalen dakplaten die net zoals de multiplex platen voldoende stijf zijn en stevig op de draagconstructie worden vastgezet. Lichtmetalen, roestvrije, gekleurde en speciaal op dakpannen gelijkende platen zijn beschikbaar. In gebieden met een zwaar aardbevingsrisico worden alle gemetselde schoorstenen systematisch verwijderd en de kleipannen daken vervangen door lichtmetalen decoratieve dakbedekking en isolatie.

Deze lichtmetalen imitatie dakpannen-platen daken zijn al toegepast op grote schuren in de provincie Groningen[351], maar zijn ook geschikt voor kleinere woningen, mits er voor voldoende thermische en geluidsisolatie wordt gezorgd (regen).

[349] Bij deze optie zal een dakdekkersbedrijf meestal adviseren om ook alle dakpannen te vervangen.
[350] De energetische efficiënte van PV-cellen neemt regelmatig toe. Na die periode zal er veel meer-efficiënt PV beschikbaar zijn, terwijl de buienkant van een dakconstructie toch wel ongeveer 100 jaar moet meegaan uit duurzaamheidsoverwegingen. De vraag is dan of de oude PV-folies vervangen kunnen worden.
[351] Sommige grote schuren hebben al deze lichtmetalen daken ter vervanging van asbest daken.

Figuren 9-29. Lichtmetalen dakbedekking. Voor de bungalow met de erg lage dakhelling is een Ruberoid/EPDM of Dak-folie-PV een andere oplossing voor gewichtsreductie. Foto Coversys.

Verminderen massa van het dak

Een andere methode voor het verminderen van de massa van het dak is het verwijderen van alle dakpannen en in plaats daarvan een lichtgewicht materiaal toe te passen zoals EPDM-kunststof, zink-aluminium profielplaten of andere metalen of geïntegreerde en waterdichte PV-cellen[352].

Dakpannen vervangen door PV-panelen of PVT-panelen

PV-panelen óp een bestaand pannendak zal de massa van het dak vergroten. Oude (slechte) dakpannen vervangen voor een compleet PV-dak, zal de massa van het dak verlagen. Bij de beoordeling van een gebouw en de versterkingsmaatregelen kan in het geval van het dak op het zuiden ook een integraal PV-dak overwogen worden.

F*iguren 9-30. PV-panelen zonder dakpannen. PVT-panelen zonder de zonnepanelen bovenkant kunnen op het noordelijke dak (geen zon) geplaatst worden. Deze optie is ook mogelijk bij rieten daken, als het PV-gedeelte niet op het riet komt te liggen.*

9.9. Verminderen van belasting door andere topgevels

In alle aardbevingssituaties heeft het verminderen van de massa een relatief versterkend effect op het gebouw. Wanneer het metselwerk van een topgevel wordt vervangen door een lichtgewicht en isolerend materiaal worden drie problemen tegelijkertijd opgelost:

a. De massa van de topgevel wordt verkleind, waardoor er minder belasting is. Dit zal extra het geval zijn wanneer gemetselde schoorstenen op die topgevel ook verwijderd worden.
b. Het nieuwe materiaal kan veel meer elastisch of flexibel zijn dan metselwerk, waardoor scheurvorming niet optreedt.
c. Het slecht isolerende metselwerk wordt vervangen met een goed isolerend materiaal dat minimaal een Rc-waarde heeft van Rc = 4,7 m^2.K/W (BENG 2021 waarde).

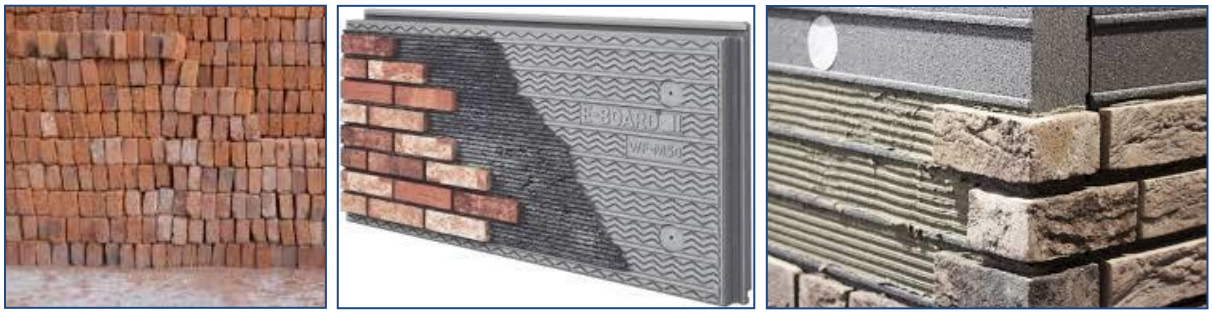
[352] Sinds 2010 zijn er flexibele PV-cellen op waterdichte en UV bestendige EPDM folie beschikbaar als geïntegreerd systeem dat direct op de dakisolatie aangebracht kunnen worden. Vooral bij nieuwbouw en grote dakoppervlaktes is dit economisch een interessante oplossing.

Figuren 9-31. Lichtgewicht topgevels.
Ze zijn flexibel en kunnen goed isolerend gemaakt worden. Scheuren op vloerniveau zijn afwezig. Moderne houten of kunststof (keralit) toepassingen zijn erg duurzaam.

<u>Rechts</u>. Houten topgevels werden vroeger veel toegepast. Dat was omdat metselwerk een duur product was (foto rechts→). En omdat hout voor de scheepsbouw veel beschikbaar was.

Het toepassen van onderhoudsarme kunststof (Keralit, Vinylplus) platen is een duurzame optie. Bij karakteristieke gebouwen of monumenten is het soms niet gewenst of toegestaan om een houten of kunststof topgevel te maken en moet het klassieke metselwerk behouden blijven.

Bij het verwijderen van de hele topgevel (beide spouwbladen) komen de oude bakstenen vrij, waarvan een groot gedeelte vaak hergebruikt kan worden wanneer de gevel in kalkmortel werd gemetseld. Van de geredde oude bakstenen kunnen dan strips worden gezaagd, die dan op de gevel isolatieplaten worden geplakt[353]. Met lichtere en meer flexibele topgevels, zonder zware gemetselde schoorstenen, is de noodzaak voor het verstijven van de hellende dak diafragma's minder noodzakelijk.

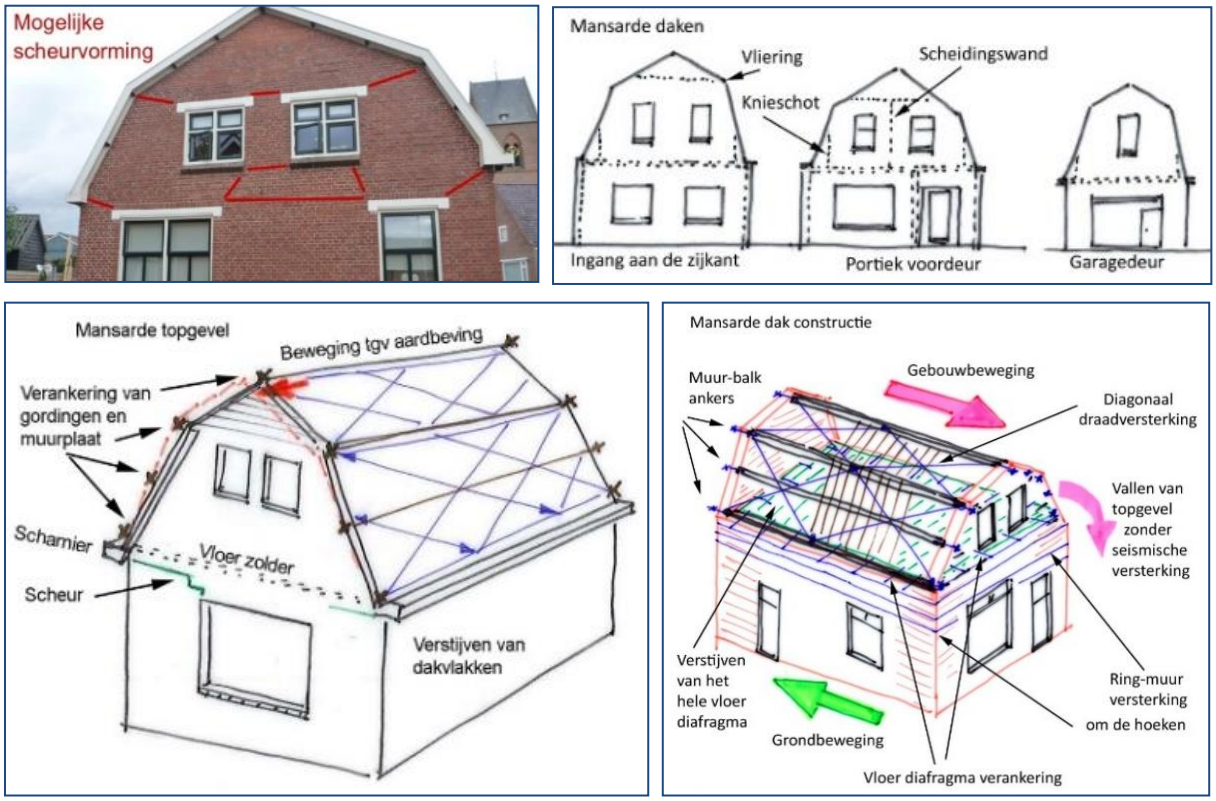


Figuren 9-32. Steen-strips van oude bakstenen. De verwerking op isolatieplaten en daarna gevoegd.

[353] Het recyclen van gebruikte baksteen wordt steeds belangrijker, maar het is ook mogelijk om imitatie baksteen strips te maken die dezelfde kleur en textuur hebben als de oorspronkelijke gevelstenen.

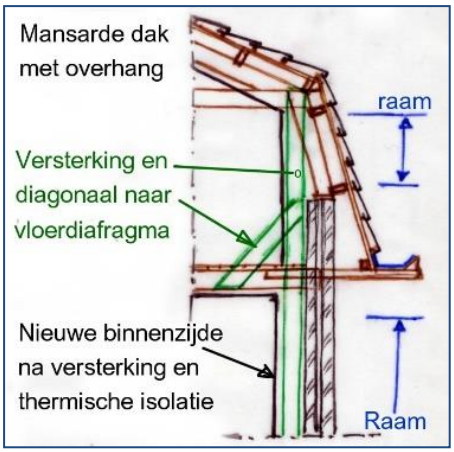
9.10. Het Mansardedak

De dubbele dakhelling van het Mansardedak vereist twee aparte dakvlak verstijvingen. De voor- en achtergevel van deze daken zijn zowel breed als hoog en kwetsbaar voor scheurvorming op vloerniveau of tussen de zijmuur naar de lateien van grote ramen op de begane grond.



Figuren 9-33. Twee dakhellingen verstijven. Dit kan door verbetering van het dakbeschot of door toepassing van montage strips of spankabels.

De Mansarde kapconstructie is ontworpen om meer bruikbare vloerruimte op de eerste etage te creëren en bestaat in verschillende vormen, zonder en met overhang. Bij een overhang van het steile dak gedeelte over de zijgevel zijn er twee constructies. Eentje waarbij de kapconstructie middels een kreupele stijl op de bouwmuur staat, en een andere waar de bouwmuur nog een halve etage naar boven doorloopt en de kap op de muurplaat staat. In dit tweede geval moeten de krachten uit de kap naar het etage of zoldervloer diafragma worden overgebracht. De structurele versterking kan weggewerkt worden in de aan te brengen binnenzijdige muurisolatie.



Figuur 9-34. De kap op een borstwering.
Hier moet er een sterke verbinding gemaakt worden tussen de kap en het zolder vloerdiafragma opdat de horizontale belasting via dat diafragma naar de zijmuren wordt afgevoerd.

Houten versterkingsconstructies zijn in deze optie de best aangewezen methode. De dikte van de stijlen geeft meteen ruimte voor 15 cm thermische isolatie van de buitengevel en de kapconstructie.

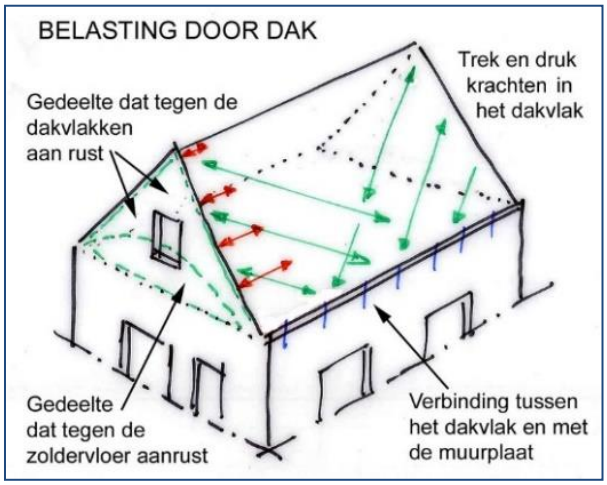
Naast het koppelen van de dakconstructie aan het vloerdiafragma moeten ook de dakvlakken voldoende stijf zijn, of de brosse metselwerk gevels verwijderd. Over het algemeen hebben deze type woningen geen grote architectonische waarde en zijn zelden een monument, dus het verwijderen van schoorstenen is hier geen welstandsprobleem.

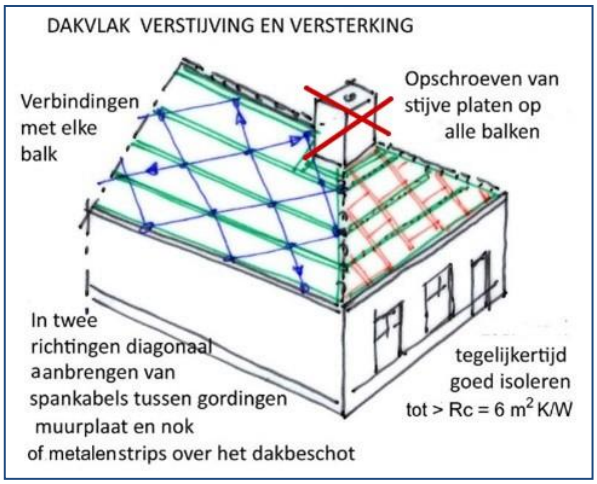
9.11. Spankabels

De hierna aangegeven seismische versterking van het dak met spandraden of kabels zal moeten worden aangepast als het dakvlak doorsneden is met dakkapellen of dakramen. De methode is vooral relevant wanneer de zolderruimte niet bewoond wordt en dus niet thermisch geïsoleerd hoeft te worden. De thermische isolatie kan dan economischer op de zoldervloer worden toegepast.

Figuur 9-35. Vliering niet verwarmd. De isolatie kan op de zoldervloer gelegd. Met een gecacheede PIR-plaat is de ruimte goed voor opslag te gebruiken. Met samendrukbaar materiaal zoals glaswol of steenwol tussen regels en daaroverheen een multiplex of OSB-topvloer is de vloer voor opslag te gebruiken.

Uit schattingen van mogelijke dak-belastingen bij woongebouwen kan bepaald worden dat een enkele verzinkte staalkabel van slechts 2 mm diameter voldoende is (bij PGAg < 0,1) voor elke diagonaal wanneer deze om de 200 cm tot 300 cm wordt aangebracht. Courante staalkabels zijn 3 mm en 5 mm doorsnede. Het zijn de verbindingen die het meest kritiek zijn om de krachten over te dragen.

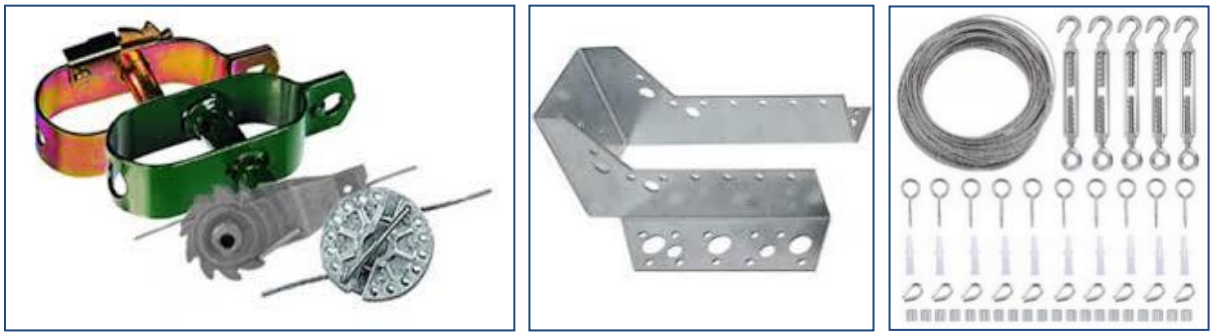




Figuren 9-36. Krachtenverloop dakconstructie. De verankering aan de muurplaat moet goed zijn en de muurplaat moet op haar beurt weer goed aan de buitenschil verbonden zijn. Zonder gemetselde onderdelen kan de hele dakconstructie meer flexibel blijven dan het onderstaande gebouw.

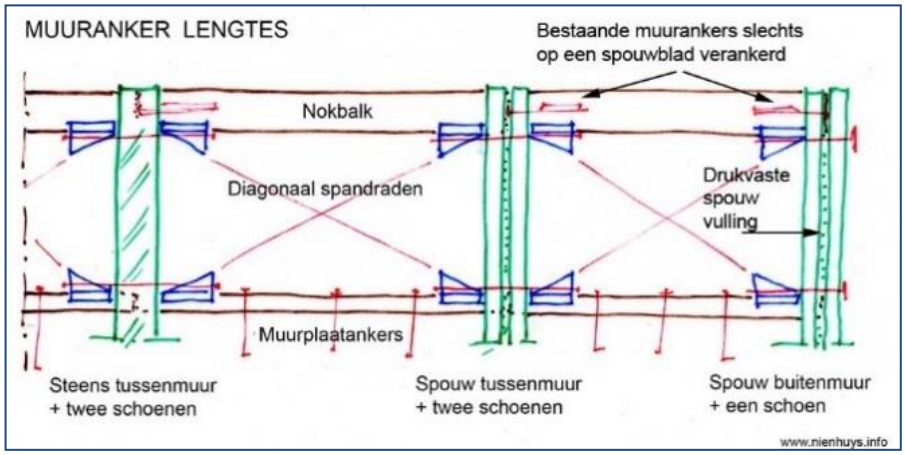
Figuren 9-37. De opspan- en verbindingsmiddelen. Deze zijn in de markt te verkrijgen. De meeste systemen zijn na te spannen.

IJzerdraad zoals gegalvaniseerd of elektro-verzinkt ijzerdraad hebben eveneens een hoge treksterkte (680 N/mm^2) en kunnen voor hetzelfde doel gebruikt worden. Voor ijzerdraad kunnen draadspanners worden toegepast die veelvuldig bij weide afrasteringen worden toegepast. Hiermee worden na bevestiging de draden strakgetrokken.



Figuren 9-38. PVC-gecoat staaldraad. Aluminium knijpklemmen verbinden de draadeinden achter de lus. Spankabels worden veel gebruikt bij zeilboten.

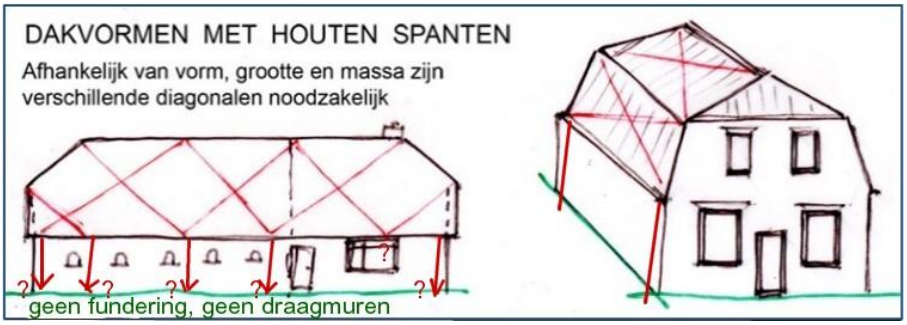
Figuur 9-39. Doorverbinding bij spankabels. Verbinding naar de volgende woning. Bij rijtjeswoningen moeten de schoenen van de spankabels door de muur met elkaar verbonden zijn.

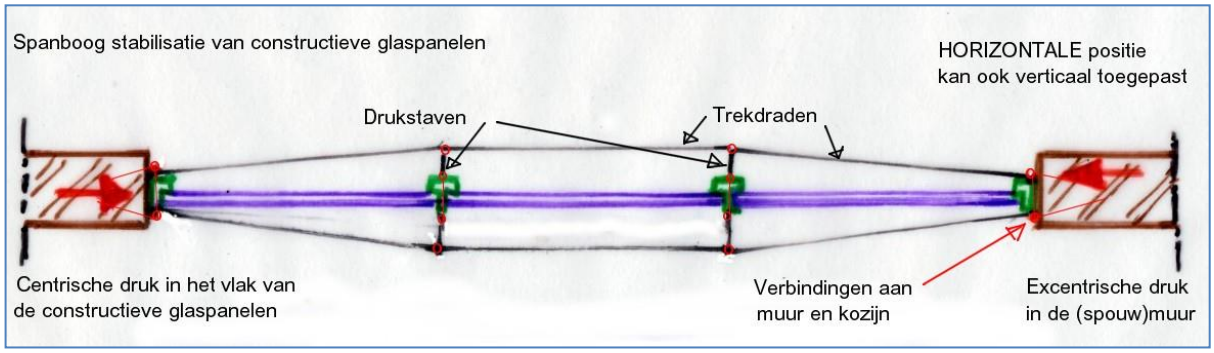


De spankabels dienen aan de nok, gordingen en muurplaat bevestigd te worden met bevestigings-schoenen of balkdragers. In de markt bestaan veel soorten van gegalvaniseerd plaatstalen balk- en raveel-dragers, die voor dit doel aangepast kunnen worden. De diagonale spandraden moeten tussen de nokbalk langs de gordingen verbonden worden met de muurplaten. Er moeten daarom goede (eenvoudig aan te brengen) verbindingsmiddelen beschikbaar zijn die een snelle montage mogelijk maken en voldoende op te spannen zijn.

De toepassing van spandraden in een boogconstructie geeft de mogelijkheid om grote sterkte en stijfheid te verkrijgen met een minimum aan materiaalkosten. Wanneer er geen stijve brossen baksteen elementen in en aan de dakconstructie zitten, zijn de eisen voor een stijve dakconstructie veel minder hoog en daarmee kostenbesparend.

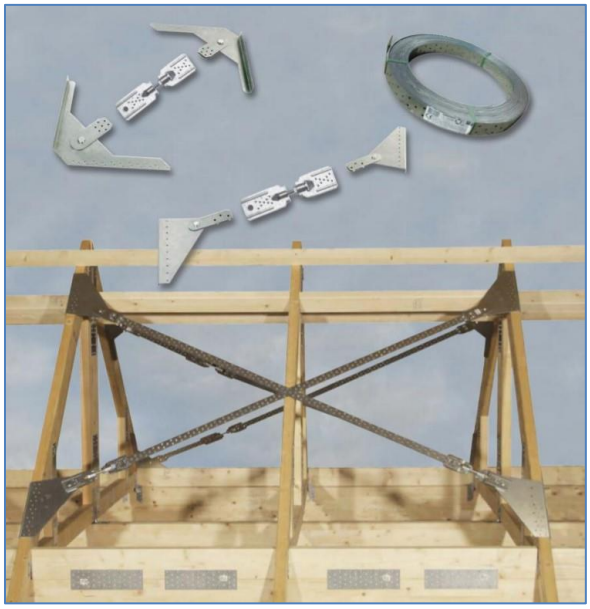
Figuur 9-40. Agrarische gebouwen.
Zie ook Hoofdstuk 10.



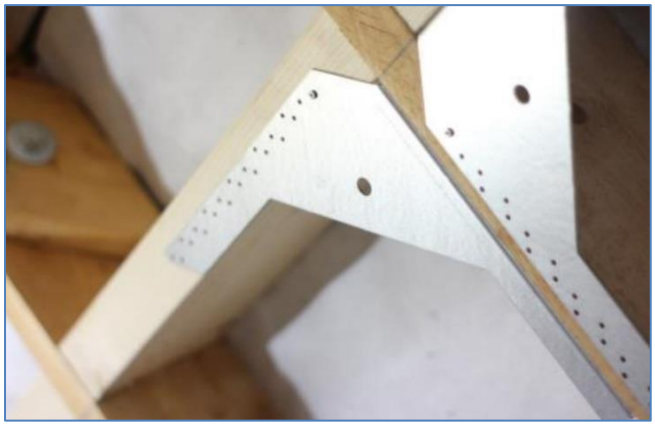


Figuur 9-41. Tweezijdige span-boogconstructies. Dit voorkomt dat een excentrische druk op samengesteld sterke constructieve glaspanelen in knik resulteert.

De toepassing van spanverbanden (diagonalen) kan de beweging aanzienlijk beperken. Dit kan met gewoon 3,2 mm dubbel gegalvaniseerd ijzerdraad, maar ook met stripmetalen verbindingen.



Figuren 9-42. Gegalvaniseerd stalen spanverband. Dezelfde materialen kunnen gebruikt worden om het dak van de Grote Gebinten Schuur te verstijven en te voorkomen dat er trekbelastingen op de pen-verbindingen komen te staan zodat ze los kunnen komen. Hier worden geen staaldraden gebruikt, maar stripstaal dat makkelijk op de juiste lengte kan worden afgeknipt en verbonden met een eindstuk. Minder werk.
Ontwerp S&B Benelux. www.sp-reinforcement.nl



Figuren 9-43. Woonhuis dak op-spanning. Door het aandraaien van een bout kan precies de afstand en de spanning van de diagonalen geregeld worden.
Rechts. Hoek verbindingsplaat voor vernageling op gezaagde spantdelen.

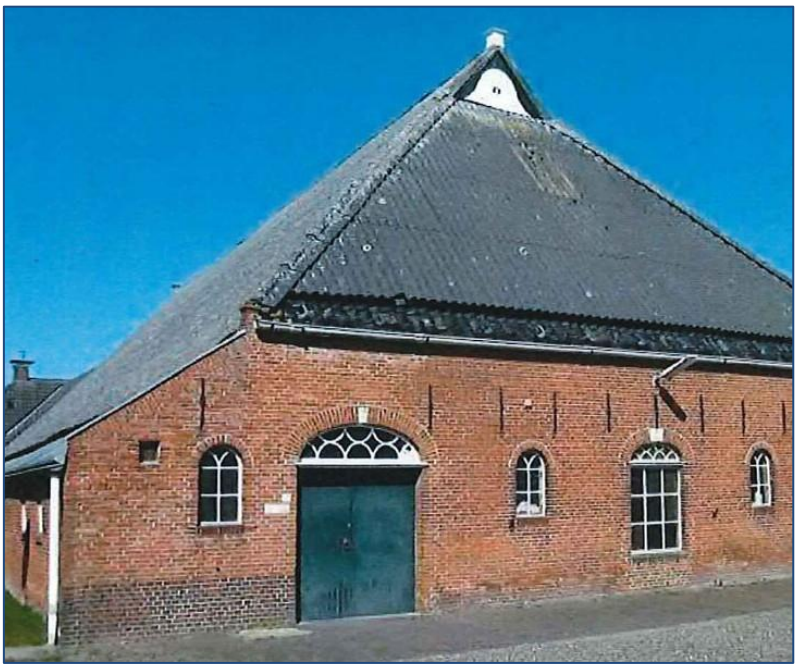
**********Terug naar het begin van dit Hoofdstuk 9**********

**********Terug naar de inhoudsopgave figuren**********

Duurzaam Herstel en Versterking van Woningen in Groningen

Hoofdstuk 10 GROTE GEBINTEN SCHUUR

Na de aardbevingsproblematiek en de afbouw van de aardgasproductie



Abstract:
Seismische versterking van de grote gebintenschuur vereist een andere aanpak dan woningen, omdat het van oorsprong een veel meer flexibele constructie is dan woningen. Er zitten geen etagevloeren of binnenmuren in en de schuine dak-diafragma's kunnen ook niet aan de schuurmuren rondom verbonden worden. De stijfheden van het dak en de perimeter muren zijn daarvoor te verschillend. Voor het behouden van deze grote gebouwen zijn andere overwegingen van toepassing dan voor woonhuizen. In een aantal van de schuren zijn woonruimtes gemaakt, reden waarom ze dan aan de eisen van woningen moeten voldoen.

Kernwoorden o.a.:
Baksteen, dakconstructie, dakraam, dakvorm, diafragma, duurzaam, gebinten, gevel, isoleren, hoofdstructuur, metselwerk, schoorsteen, schuur, seismisch versterken, veiliger maken, verbouwen, verduurzamen.

Door: Sjoerd Nienhuys
Bouwkundig, seismisch ingenieur
Juli 2023

10.0. Inleiding

De Grote Gebinten Schuren hebben vaak honderden jaren geschiedenis, maar met de veranderde veeteelt- en landbouwtechnieken dienen ze vaak als opslag en werden veelal slecht onderhouden. Het onderhoud van deze gebouwen is pas relevant wanneer die gebouwen een economisch rendabele functie hebben zoals atelier, bedrijfsruimte of woonruimte. Bij een aantal schuren die aan een kop-gebouw zijn verbonden zijn deze schuren dan ook ingericht als woonruimte, waarbij sommige met gemetselde muren.

Deze inbouw aanpassingen leveren vaak problemen op met de stijfheidsverschillen tussen het oude dak en de nieuwe inbouw. Het verstijven van het oude dak met beplating is zelden een goed idee, het loskoppelen tussen de schuurdelen en het stijve metselwerk is beter. De binnenzijde kan ook met HSB worden uitgevoerd en de dakconstructie kan daaraan gekoppeld worden, maar dan zal het oude dak toch meestal flexibeler blijven dan de nieuwe HSB inbouw. Wanneer er vloeren in de HSB-nieuwbouw worden aangelegd kunnen deze werken als diafragma's, maar daarmee wordt het oude dak niet stijver. Het oude flexibele dak is bij storm of lichte aardbevingen geen risico, juist omdat het bewegelijk is. Als de bewoner dat bewegen stressvol vindt is verstijven een optie.

In paragraaf 9.10 van het hoofdstuk DAKEN en paragraaf 10.9 worden enkele opties vermeld voor de verstijving. Het verstijven van het sporendak van de Grote Gebinten Schuur met opgeschroefde stijve OSB platen is geen goed idee omdat de schroeven dan een grote belasting krijgen wanneer die beweging niet is verminderd door de spandraden. Die beweging moet eerst met de spanverbanden binnen de gewenste limiet blijven. Bovendien kan er bij afdekking aan de binnenkant geen inspectie of onderhoud plaatsvinden van het hout op insecten of houtrot. Het verzwaren van het dak door een maximale isolatienorm voor woningen toe te passen is ook geen goed idee, omdat de constructie daar niet op ontworpen is.

Bij het realiseren van een woonruimte onder het bestaande (gerenoveerde) dak wanneer dat goed waterdicht is gemaakt met een nieuwe matig isolerende dakbedekking, is het wenselijk dat die woonruimte zelf ook de nodige plafondisolatie heeft, zodat samen de nieuwbouwnorm van Rc $\geq$ 4,7 m^2.K/W wordt bereikt.

Figuur 10-1. Boerderij en gebintenschuren. Groningen cultureel erfgoed. Foto C-S Booms. [354]

[354] Zie ook: https://www.cultureelerfgoed.nl/onderwerpen/praktijkvoorbeelden/overzicht-praktijkvoorbeelden/nieuwe-toekomst-voor-drie-groninger-boerderijen

10.1. Onderhoud en verduurzaming

De eerste grote gebintenschuren dateren uit het midden van de 17de eeuw (Drenthe 1630) en werden in de provincie Groningen gebruikt als veestallen, hooiopslag en later voor winterstalling voor grote gereedschappen en landbouwvoertuigen[355]. De verandering van de landbouwmethoden, vooral in de veehouderij, vereiste een andere en efficiëntere stalvorm, sommigen met geïntegreerde water-mestkelders onder het hele gebouw, grootschalige voederinstallaties, melkstraten en machines. De oude gebintenschuren deden vaak nog dienst als opslag van allerhande boerderijmaterieel, maar over het algemeen werden deze gebouwen niet onderhouden. Het resultaat was dat veel schuren verwaarloosd werden en vervielen, sommigen tot een bouwval. Daarnaast was het platteland van Groningen een krimpregio waar steeds minder bedrijven en werkgelegenheid waren. De rijkere boeren bouwden nieuwe stalen frame schuren. Sommige grote gebintenschuren in Nederland kregen een nieuwe bestemming zoals ateliers, hotels, vergaderruimte, woninguitbreiding of een nieuw soort werkplaats en werden helemaal vernieuwd. In enkele situaties werden de gebinten voor andere gebouwen gebruikt. Zo kunnen ze goed omgebouwd worden voor woongemeenschappen.

Figuren 10-2. Ombouw naar andere functies.
Rechts. Een geheel glazen dak op de oude schuur.

Zoals in de vorige hoofdstukken al reeds werd uitgelegd is aardbevingsschade vaak het gevolg van een combinatie van factoren zoals: gebouwd volgens mindere en nu verouderde normen, verzakking vanwege verschillende oorzaken, slecht onderhoud, gebouw aanpassingen en verwijdering delen van dakconstructies en tenslotte ook nog de aardbevingen. Die aardbevingen brachten niet alleen de zwakheden van de gebouwen aan het licht, maar verergerde ook bestaande bouwkundige problemen.

[355] Zie b.v. verslag: https://www.libau.nl/wp-content/uploads/1._LK_-Toekomst-Oldambtster-boerderijen_hoofdrapport-en-advies.pdf en https://www.groningerlandschap.nl/assets/uploads/2018/10/GoldenRaand03herfst2018-compressed.pdf

Figuren 10-3. Niet onderhouden boerderij. Verlaten en ingestort. Voor een aantal bedrijven was het onderhoud te duur. Oldambt:

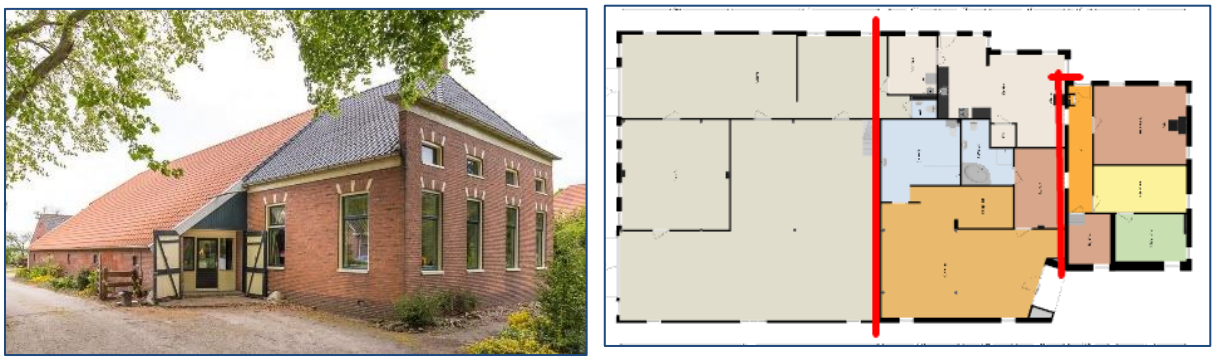
In een enkel geval stortte er een gedeelte van een boerderij in (aan de rand van het invloedgebied van de bevingen) waarover discussie ontstond of dat nu was vanwege slecht onderhoud en houtrot, of vanwege een aardbeving of door een windvlaag.

Foto RTV-Noord, en https://www.rtvnoord.nl/nieuws/138268/Boerderij-ingestort-en-leeggeroofd-NAM-en-gemeente-doen-niets

Dit hoofdstuk 10 gaat niet over de schuldvraag van de schade, of over hoe de restauratie van de oude gebintenschuren te financieren, maar over de technische aspecten van de constructie en wat er gebeuren moet om schade door aardbevingen te herstellen of te voorkomen.

10.2. Eerst dilateren, dan herstellen

De grote agrarische gebintenschuur in de provincie heeft een flink aantal aspecten die verschillend zijn in vergelijking met woningen. De eerste maatregel die genomen moet worden is het loskoppelen van de woning (dilatatie, Hoofdstuk 2). Daarnaast zijn er twee opties: (1) het ontkoppelen van de gemetselde (draag)muren die aan de hoofdconstructie van de houten gebinten schuur vastzitten, of (2) de hele gebintenschuur net zo rigide maken als het metselwerk. Een zwakke oude monumentale kopwoning kan eventueel op *Base-isolation* gezet worden.



Figuren 10-4. Woonruimte in schuur gebouwd. Er zouden hier twee belangrijke dilataties toegepast moeten worden, één direct achter het kopgebouw en één in de schuur achter de woning.

Figuur 10-5. Aan elkaar gebouwde kop-romp.
Bij sommige grote boerderijen zal het dilateren tussen de woning en de schuur een bouwtechnische uitdaging zijn om het doorlopende dakvlak te behouden. De dilatatie hoeft echter maar enkele cm's te overbruggen als men in staat is om de grote schuur met spandraden veel stijver te maken. Foto Oldambt boerderijen:

Verschillende boerderijen met schadeclaims aan de woningen hadden deze (oude) schade bij de aansluitingen tussen het woonhuis en de achterbouw. Dat is hetzij aan een uitbreiding van het woonhuis, hetzij aan de grote schuur. In het volgende geval is de bredere schuurmuur anders (minder goed) gefundeerd dan de woning, maar de woning heeft schade opgelopen omdat de aansluitende schuurmuur de woningmuur over vele jaren naar beneden trok.

Figuren 10-6. Verbreding van het woonhuis.
<u>Links.</u> Het woonhuis van deze kop-romp boerderij heeft aan een zijde een eerste verbreding en daarachter nog een.
<u>Rechtsboven</u>. Deze foto van dezelfde gevel laat zien dat aan de bovenkant de verbreding de muur van de woning naar linksonder trok, waarna de scheuren met lichtere mortel zijn ingevuld.
<u>Rechts.</u> De andere kant van het kopstuk. Aan de gootlijn en het raamkozijn en de deur is een sterke verzakking te zien. Onder dat rechter gedeelte zit geen kelder.

Het verschil in fundering van het kopgebouw (t.g.v. de kelder) en het verschil in belasting van de twee gebouwdelen is hier de hoofdoorzaak van zetting. In het volgende voorbeeld zal het maken van één dilatatie eenvoudiger zijn, omdat deze dan langs het hals gedeelte van het woonhuis loopt. Ook daar blijkt dat de woning met uitbouw zelf een onvoldoende fundering heeft, geen plafond/vliering-diafragma, en in het verleden al veel zettingsschade had.

Figuren 10-7. Kop-hals-romp boerderij schade. Boven de deur loopt een grote scheur naar linksboven. De schuur (links) heeft het hals-gedeelte naar beneden getrokken. Dit wijst op zowel een slechte fundering van de schuur, als een slechte fundering van de hals. Rechtsboven. De top van de gevel is verbreed. Er is geen doorgaande latei boven de ramen. Een verbetering zal dus (A) een dilatatie moeten inhouden én (B) een verbetering van de fundering én (C) het aanleggen van een verbindend dak-diafragma van het woonhuis met doorgaande latei buitenom.

In veel situaties, zoals bij deze oude boerderijen, zijn er meestal meerdere factoren die tot verzakkingen en bevingsschade hebben geleid. Van de zijgevel van het kopgebouw heeft de verwijding van de bovenkant waarschijnlijk ook al veel eerder plaatsgevonden dan de grotere aardbevingen sinds 2006. Bij de beoordeling van degelijke gebouwen zal ook funderingsonderzoek en kleine sonderingen informatie verschaffen over de draagconstructie.

Bij het beoordelen van schade aan de grote gebinten schuur is het relevant om naar het verschil tussen de funderingen en belastingen te kijken met het hals-gedeelte of het kopgebouw. Daarnaast moet het verschil in stijfheid van de verschillende gebouwdelen overwogen worden om tot een duurzame oplossing te komen. Binnen in de grote schuur kunnen ook grote stijfheidsverschillen bestaan wanneer er metselwerkconstructies binnen gebouwd zijn.

10.3. Loskoppelen van kopgebouw

De verschillende boerderijvormen zullen verschillende methoden vereisen om ze seismisch als onderdelen op te splitsen. De kop-hals-romp boerderijen zijn het eenvoudigste, omdat daar het tussenstuk klein is. De aan elkaar gebouwde kop-romp boerderijen (Figuur 10-4) zijn moeilijker te realiseren, vooral wanneer in de schuurgedeeltes ook een woonruimte is ingebouwd (Figuur 10-3).

Gezien de ouderdom van sommige gebouwen, gecombineerd met de staat van onderhoud en de opgelopen schade, zal er een overweging gemaakt moeten worden of het schuurgedeelte van het gebouw economisch is te verduurzamen. Bij een erg slechte staat van onderhoud zal de gebouweigenaar meestal geen additionele financiering hebben voor het verduurzamen van het kop-gebouw, laat staan voor het verduurzamen van de grote schuur.

Figuur 10-8. Architectonisch geen grote waarde. Het dak is met asbestcement golfplaten gedekt. Het verwijderen van het asbest is een forse kostenpost.

Figuur 10-9. Kosteloze vervanging asbest. In dit geval moet de onderliggende constructie stevig en duurzaam zijn. Rechts foto Essent. Ook moet de geleverde elektriciteit aan het net geleverd kunnen worden. Foto: Veldpost renovatie PV-dak op moderne schuur.

Figuur 10-10. Bij nieuwbouw met PV-dak. Bij nieuwe schuren kan direct een geïntegreerd PV-dak geplaatst worden en de energie gedeeltelijk in het bedrijf gebruikt worden.

Figuur 10-11. Alleen woonhuis opwaarderen. In dit geval zou bijvoorbeeld het schuurgedeelte kunnen vervallen. Foto ANP-Kolham.

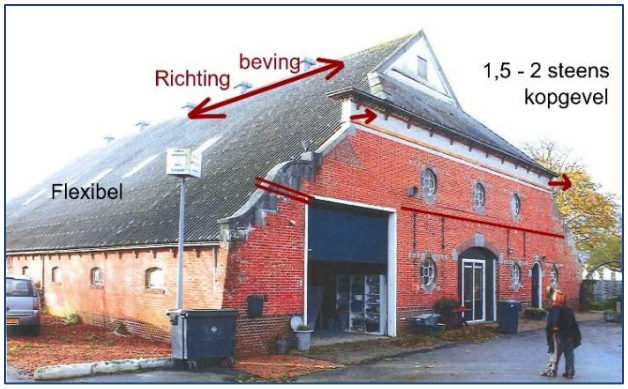
Bij monumentale boerderijen waar geen versmald hals-gedeelte aanwezig is, zal langs het hoofdgebouw een dilatatie moeten komen en de delen seismisch afzonderlijke behandeld, waarbij in de schuur het dak zelfstandig en los van de binnen- en buitenmuren moet dragen.

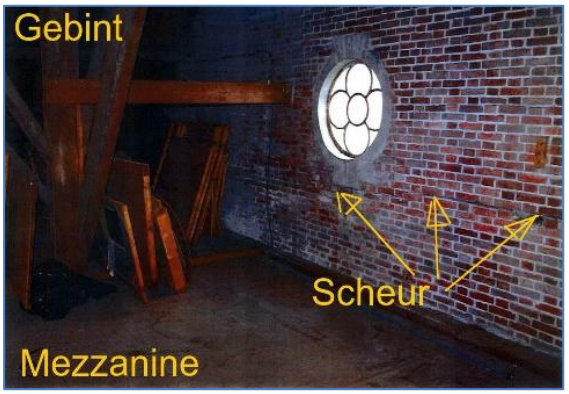
Figuren 10-12. Gang en zijdeur aan grote schuur. Een eventuele dilatatie zou hier langs het kopgebouw gemaakt moeten worden, wat een grote invloed heeft op het plafond in de gang. Rechts. De schets geeft aan dat er hier constructief vijf verschillende onderdelen zijn met verschillende stijfheden.

De twee verschillende gekleurde woongedeeltes (gemetseld) binnen in de grote schuur moeten hier losgekoppeld van de flexibele houten gebinten en dakconstructie. Het dak van de grote schuur hoeft dan niet speciaal versterkt te worden, tenzij er structurele gebreken aan het dak zijn zoals verdwenen kepers of schoren. Het dak komt dan vrij en bewegelijk over de ingebouwde vertrekken te liggen.

10.4. De muren moeten losgekoppeld van het schuurdak

De grote kopgevel van de alleenstaande grote gebintenschuur zit wel vast aan het wolfseinde[356] van het dak, maar seismisch gesproken kan deze zware (steens, 1,5 steens tot 2-steens) muur de krachten van het dak loodrecht op het vlak van deze kopgevel niet opnemen. De kap is een flexibele constructie die aan de muur vastzit ener tegenaan drukt. In het volgende geval is de zware kopgevel halverwege gescheurd (afgeschoven) omdat het gevelstuk boven de binnenvloer door de bewegelijke kap naar buiten werd gedrukt door de aardbeving.





Figuren 10-13. Voorgevel en scheurdetail.
De lintvoeg scheur (afschuiving) gaat over de hele breedte. Dit betreft het gedeelte boven de 4 muurankers van de mezzanine vloer. Boven de binnen-vloer van de mezzanine heeft het bovengedeelte van de muur gescharnierd.
Het opnieuw invullen van de lintvoeg is hier onjuist. De topgevel moet een eigen ondersteuning krijgen. Afhankelijk van de gebinten en de gebinten-constructie moet deze minder bewegelijk gemaakt worden.

De horizontale barst over het midden van de 6 m hoge gevel illustreert de mogelijkheid dat bij een nieuwe aardbeving deze bovenkant verder naar buiten valt als de verbindingen tussen het dak en de muur onvoldoende zijn om de massa van het bovenste muurgedeelte vast te houden. Dit werd herkend als een hoog-risico situatie dat onmiddellijk aandacht vereiste.

Er dienen de volgende maatregelen genomen te worden:

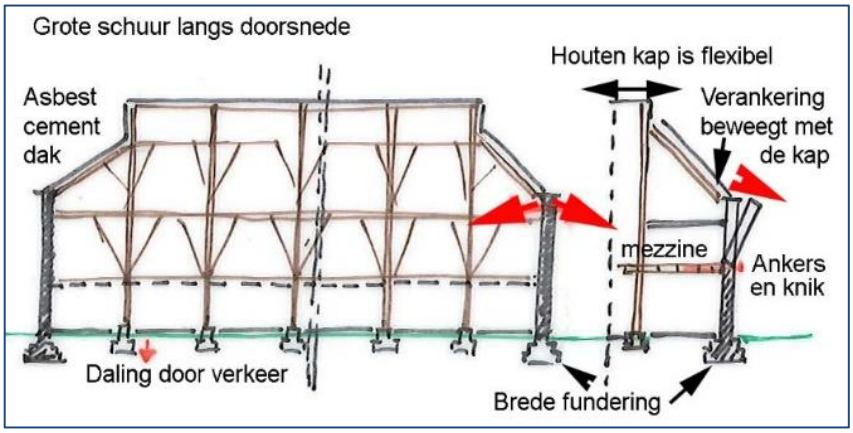
1. Het afzetten van het terrein onder de hoge muur en een andere schuuringang gebruiken. Hetzelfde geldt voor de achterkant van de schuur dat ook een hoge muur heeft.
2. Het verstijven van de grote gebinten tegen de flexibiliteit in de lengterichting van het gebouw. Dit kan het beste door de toepassing van spandraden.
3. Het loskoppelen van het wolfseinde dak (de sporen) van de hoge voor- en achtermuren.
4. Het loskoppelen van de andere dak-sporen van de lage zijmuren van de schuur.

[356] Het schuine kopgevel wolfeind en uilenbord zijn de aansluiting van de kopgevel op het dak en helpen de windbelasting op de kopgevel te verminderen. De gemetselde kopgevel heeft de grote/hoge toegangsdeuren.

5. Het zelfstandig ondersteunen van de lange zijmuren, met een flexibele verbinding naar het dak. Eventueel de fundering van de zijmuren versterken.
6. Het maken van een interne en permanente steunconstructie voor de voor- en achtergevels met een flexibele ondersteuning naar de kopgevels.
7. Fundamenten van de gebinten verbeteren/verbeteren zodat er geen verzakking van de gebinten kan optreden.
8. Het vervangen van het asbestcement golfplaten dak door een duurzame dakbedekking.

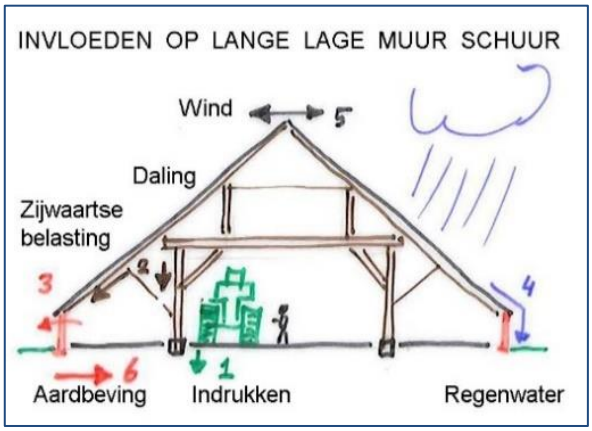
Het 'seismische' probleem van de grote gebintenschuur is dat de drie belangrijkste constructieve componenten van de schuur elk een verschillende flexibiliteit hebben. Door die elementen van elkaar los te koppelen wordt slechts een gedeelte van het probleem verholpen. Na het loskoppelen is de stabiliteit van de hoge zware kopgevels en de lage slecht gefundeerde zijgevels een probleem.

Met maatregelen om de constructie in haar geheel preventief en duurzaam te versterken dient de verbinding tussen de houten dak-sporen en de gemetselde gevels herzien te worden.



Figuur 10-14. Zij druk van flexibele kap.
Deze drukt loodrecht op het vlak van de kopmuren.
Deze kopmuren zijn niet ontworpen op dergelijke belastingen. Daaroverheen komen de eigen aardbeving belastingen t.g.v. de massa van die kopmuren, loodrecht op het vlak van die kopmuren.

De staanders van de grote gebinten zijn op kleine funderingen geplaatst die kunnen inzakken wanneer de grond rondom deze funderingen extra belast wordt. Deze extra belasting kan veroorzaakt worden door opslag of de ingevulde bouwmuren van een woongedeelte of door zware landbouwvoertuigen (#1 in de schets beneden). Het zakken van de stijlen van de gebinten zal de dak-sporen in de lengte en dwarsrichting van de schuur naar buiten drukken (#2) die op hun beurt de lage muren rondom zijwaarts belasten (#3). Zoals boven beschreven wordt ook hoge de kopgevel naar buiten gedrukt.



Figuur 10-15. Verzakking van gebinten.
1. *Indrukken van de vloer.*
2. *Inzakken van de gebintpoten.*
3. *Naar buiten drukken van de sporen.*
4. *Geen goten en verweking van de grond langs de zijmuren die een slechte fundering hebben.*
5. *Windbewegingen hebben hetzelfde effect*

Door het indrogen van het hout kunnen de verbindingen van de grote gebinten losser komen te zitten, waardoor het effect van de beweging door stormbelasting groter wordt.

Figuren 10-16. Kolom-voeten onderhoud. Sommige kolomvoeten zijn slecht gefundeerd of zwaar aangetast.

De lichte en ondiepe “funderingen” van de zeer lange (tot 40 m) lage zijmuren zijn ook vaak verzwakt vanwege het gebrek aan goten (#4) en door grote hoeveelheden regenwater die langs de muur in de grond zakt. Tenslotte wordt het grote dak zwaar door de wind belast en zal vanwege haar flexibiliteit heen en weer bewegen (#5). Als deze lange muren al een beetje uit het lood staan vanwege inzakking zal dat door een aardbeving verergeren (#6), en kunnen/zullen ze omvallen.

Figuren 10-17. Zijmuren zonder funderingen.
Deze zijn daarom niet bestand tegen de zijwaartse druk van de dak-sporen. De grond langs de muren is verweekt ten gevolge van regenwater (geen goten). <u>Rechtsboven</u> foto van Jeroen Berkenbosch TV-Noord.

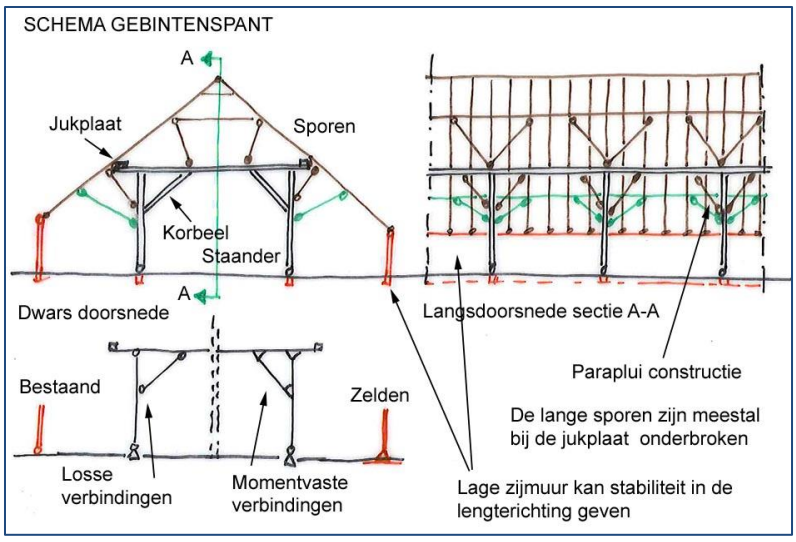
In bijna alle situaties van schade aan de grote gebintenschuren (hoofdzakelijk de muren rondom) zijn deze een combinatie van vroegere manieren van empirisch bouwen, gebrek aan onderhoud, verandering van gebruik en tenslotte ook nog extra belastingen van meer stormwinden, zetting van funderingen en extra aardbevingsbelastingen. Deze tekortkomingen zouden als ‘eigen gebrek’ kunnen worden aangemerkt, maar die benaming geeft geen informatie over hoe het herstel te financieren.

10.5. Schematische constructie gebinten structuur

De gebinten of jukken zijn vaak sterk. De gehele dak-structuur ontleent haar sterkte verder aan de diagonalen die vanuit de gebinten met de dakconstructie in twee richtingen zijn verbonden (korbelen en paraplu ribben). In de dwarsrichting van de schuur staan sterke jukken (de gebinten), waarbij de lange rij jukken door twee lange zijbalken (jukplaten) en diagonalen met elkaar verbonden zijn.

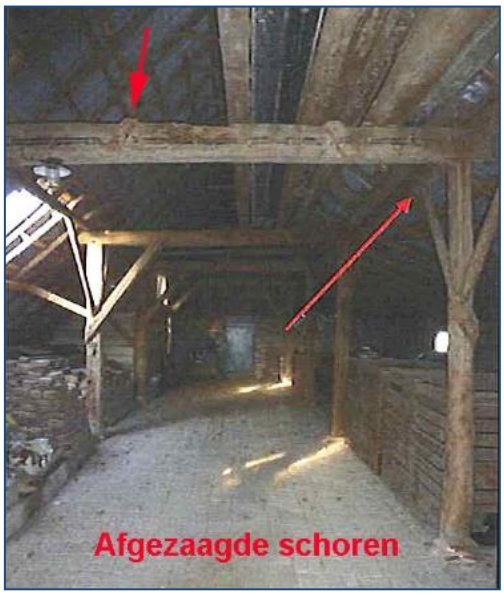
Praktisch gesproken zijn alle verbindingen scharnieren. De verbindingen tussen korbeel en juk, of de verbinding tussen juk en jukplaat zijn soms met zware hardhouten pennen, gecombineerd met 20 cm lange draadnagels. De meeste verbindingspunten kunnen goed druk opnemen, maar geen trek (vanwege de spijkerverbinding). Omdat de diagonalen steeds in paren voorkomen wisselen ze in hun trek-druk functie af gedurende een storm of een aardbeving.

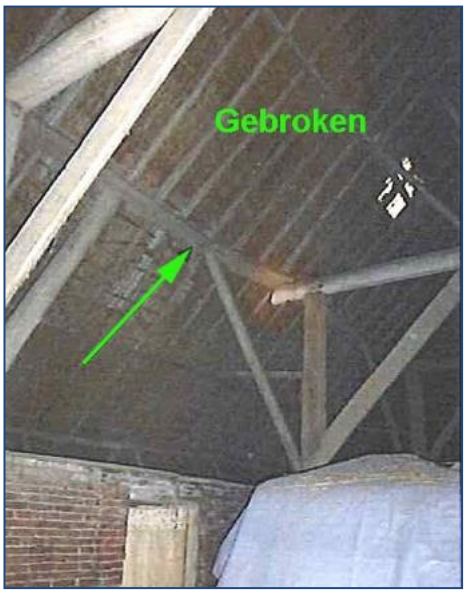
De aardbevingsfrequentie, het aantal schokgolven/sec, van de Groningse geïnduceerde aardbevingen is hoog (10/sec = frequentie 0,1 sec), maar de eigen gebouwfrequentie van de hoge schuren ligt boven de 0,3 sec. Hierdoor is het omvalrisico van de houten gebinten constructie laag. De maximale horizontale doorbuiging (elastische vervorming) van baksteen is echter < 0,1% van de hoogte en aanzienlijk minder dan de mogelijke verplaatsing van de houten kap (> 2%). Hierdoor kunnen muren die aan de kap verbonden zijn in het midden of bij de fundering scheuren.



Figuren 10-18. Ontwerp gebinten schuur.
De meestal gespijkerde verbindingen zijn hoofdzakelijk scharnieren. De dunnere rondhout dak-sporen zijn buigzaam (flexibel). De groene verbindingen zijn vaak niet aanwezig.
<u>Rechts.</u> De staanders van de gebinten zijn sterke constructies met kap ondersteuning in alle richtingen.

Figuren 10-19. Verzwakking van spanten. Links. Verwijderen van diagonalen. Rechts. Door breuk of door houtrot.





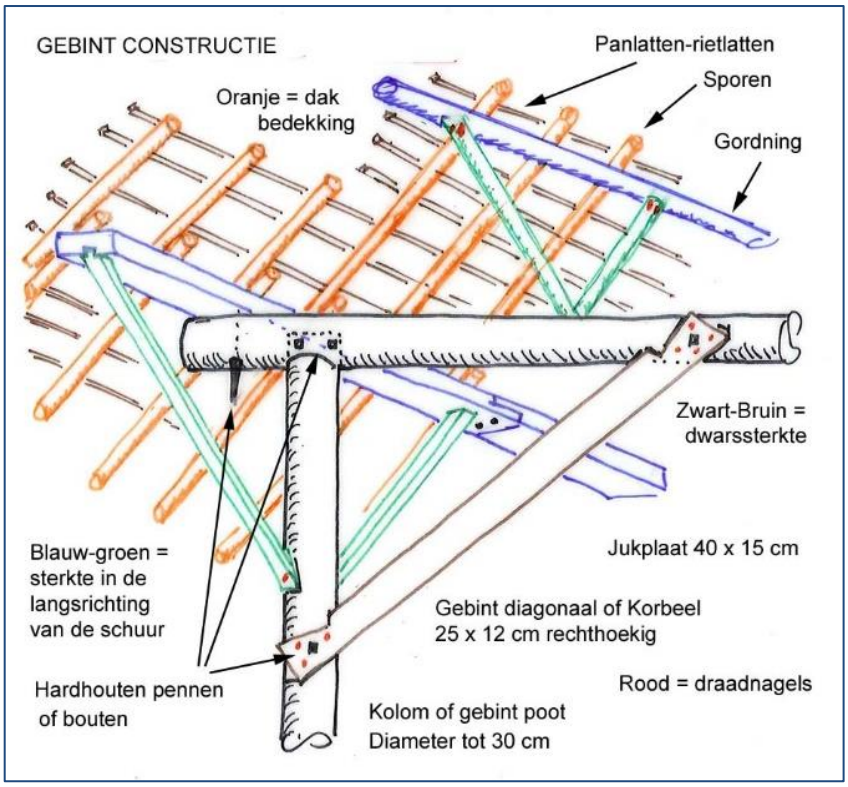
De schoren worden soms verwijderd vanwege hoge moderne agrarische voertuigen. De gebinten dienen voor het aanbrengen van de versterkingen gecontroleerd worden op de kwaliteit van hun funderingen en hun oorspronkelijke opbouw met alle diagonale componenten.

Figuren 10-20. Opslag in gebintenschuren. Hier zit onder de asbestcement golfplaten nog een laag riet dat voor wat isolatie zorgt. Het dak is hier helemaal van rondhout gemaakt met vrij lichte gebinten.

Wanneer door veranderde bedrijfsomstandigheden de grote schuren niet meer commercieel kunnen worden uitgebaat, dan worden ze niet meer onderhouden. Voor een verandering van bestemming zijn vaak wijzigingen in het bestemmingsplan noodzakelijk. Deze kunnen jaren vergen. Daarna zijn er grote investeringen nodig om de gebouwen aan te passen voor een nieuw gebruik.

De onderstaande schets geeft de hoekconstructie weer met de twee driehoekconstructies die de stabiliteit in de dwarsrichting (gebint = **zwart**, korbeel = **bruin**) en in de langs richting (jukplaat en gording = **blauw**, diagonalen = **groen**). Op een lager niveau is nog een set diagonalen en gording aanwezig.

De lange lage zijmuur in de lengterichting van de schuur draagt niets bij in de stabiliteit van de houten gebinten of dakconstructie, maar is wel belangrijk voor het opvangen van de verticale belasting van het dak en het voorkomen dat de wind onder het dak komt.



Figuur 10-21. Ontwerp dakconstructie.
De groene diagonalen zijn op de staander ingekeept en gespijkerd. Deze kunnen wel druk opnemen, maar bij trek en grote flexibiliteit kunnen de (rode) spijkers loskomen en de diagonaal bij een grote zijwaartse beweging uit de inkeping getrokken worden.

De boven verbinding is slechts een inkeping, meestal zonder verdere verbindingsmiddelen. De bovenste en onderste sets diagonalen verbindingen zijn ook slechts op druk ontworpen.

Bovenstaand is slechts een voorbeeld. Andere schuren kunnen zwaardere en sterkere constructies hebben. Vroegen was het vaak de kunst om zo weinig mogelijk hout voor de schuur te gebruiken.

Figuren 10-22. Versterkingen langs gebinten.
Veel schuren zijn nog in gebruik als opslag of parkeerruimte. Enkele versterkingen zijn met hout (links) of ijzer (rechts). De oude constructies vervangen is een kostbare aangelegenheid.

10.6. De kopgevels voor en achter

Een aardbeving in de richting loodrecht op deze hoge kopgevel muren (dus in de lengterichting van het gebouw) zal, behalve door de eigen massa van die kopgevelmuur, deze muur bij een aardbeving extra belast worden door de massa van de flexibele en vervormbare houten dakconstructie die eraan gekoppeld is. Daar zijn die kopgevelmuren niet op ontworpen.

De kapconstructie kan extra vervormbaar zijn als de vele diagonaalverbindingen in de kap gedurende het verloop van de tijd los zijn gaan zitten. De kap is nog meer flexibel wanneer de houten onderdelen relatief dun of lang zijn, zoals rondhout.

Figuren 10-23. Losgekomen kopgevel. Dis is ten dele vanwege het doorrotten van de jukplaatverbindingen aan die buitenmuur (rechts).

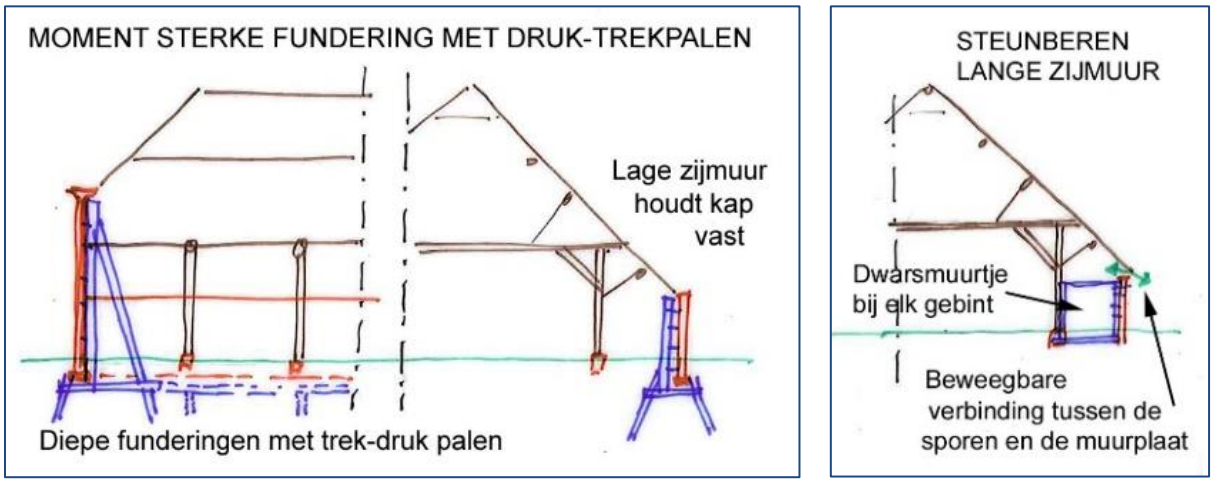
De grotere schuren hebben soms een opslaggedeelte achter de hoge kopgevel (*Figuren 10-13 en 10-23)*. Om effectief van de ruimte gebruik te maken is hier binnen een mezzanine gebouwd die soms ook als additionele woonruimte wordt gebruikt. De mezzanine kan constructief een voordeel zijn, want dat geeft ruimte voor de constructieve versterking.

Figuren 10-24. Mezzanine vloer aan kopgevel. De verankering is met een serie grote muurankers aan de massieve kopgevel verankerd. Links. Ramen geven licht op de vloer van de mezzanine. Rechts: Hier zijn er geen ramen op de mezzanine, wel de ankers.

Een eventuele mezzanine binnen in de schuur kan versterkt worden om één geheel met die hoge kopgevel te maken en deze van binnenuit te ondersteunen met dwarsmuren of portalen. In deze optie blijft het nodig om de hele dak-sectie die boven de kopgevel aansluit daarvan los te koppelen.

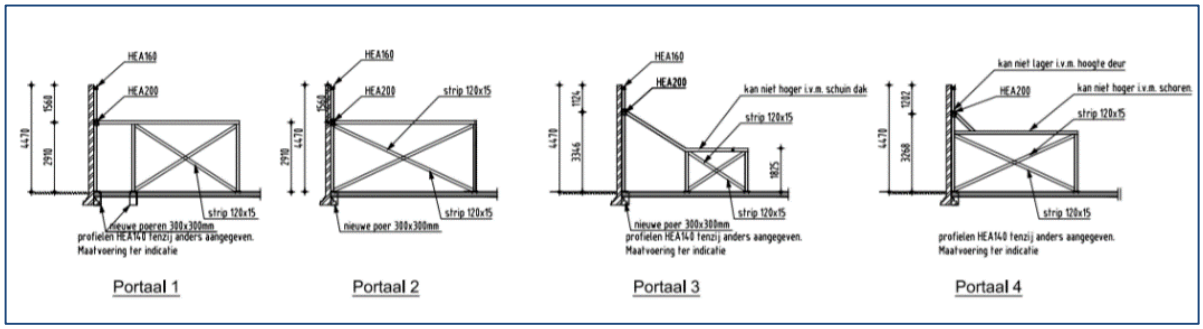
De volgende opties zijn mogelijk om de gebintenschuur op een duurzame manier voldoende te versterken tegen schade bij aardbevingen:

1. Bij een vrijstaande schuur de vier dakvlakken verstijven en intensief met de gemetselde gevels verbinden. Ook dan blijft de flexibiliteit van het grote schuurdak hoger dan de buigzaamheid van de gemetselde muren. Deze optie om de muren (stijf/bros) en het dak (relatief flexibel) sterk met elkaar te verbinden vereist een zware constructie en is daarom ook **heel duur**.
   De muren moeten aanzienlijk versterkt worden om ze momentsterk te maken tegen de additionele druk van de dakvlakken; dit vereist ook nieuwe funderingen met trek- en drukpalen en muren die een buigend moment kunnen opvangen.

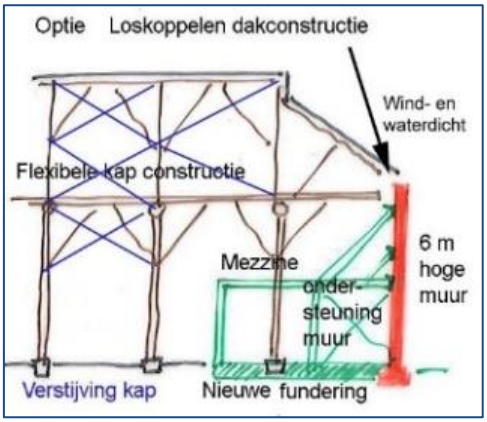


Figuur 10-25. Versterken van de kopgevel.
Om het dak te ondersteunen is dit een hele dure maatregel die extra zware fundering maatregelen vereist. De perimeter muur is hoofdzakelijk een windscherm voor vee. Rechts. In veel schuren zitten er langs de lage zijmuur vee-boxen met tussenmuren. Door de ze samen te versterken kan een goede stabiele constructie gemaakt worden, maar ook dan moet het dak losgekoppeld worden.

2. Binnen in de schuur ondersteuningsframes of portalen bouwen waar de kopgevels aan zijn verbonden. Dit vereist funderingen van die portalen die zowel op druk als op trek belast kunnen worden. Over het algemeen is er in de schuur voldoende ruimte om dit te realiseren, ook als er in dat gedeelte al reeds woonruimte is gemaakt. Met deze optie dient de dakconstructie ook voldoende bewegelijk aan de kopgevel gekoppeld te zijn. Ook bij deze oplossing dient de dakconstructie niet structureel, maar wel bewegelijk en wind- en waterdicht aan de hoge muur gekoppeld te blijven.



Figuur 10-26. Portalen ondersteunen kopgevel. Afhankelijk van het gebruik van de ruimte binnenin kunnen er meestal goed portalen geplaatst worden. Het portaal moet op trek belast kunnen worden, tegen een muurbeweging naar buiten.

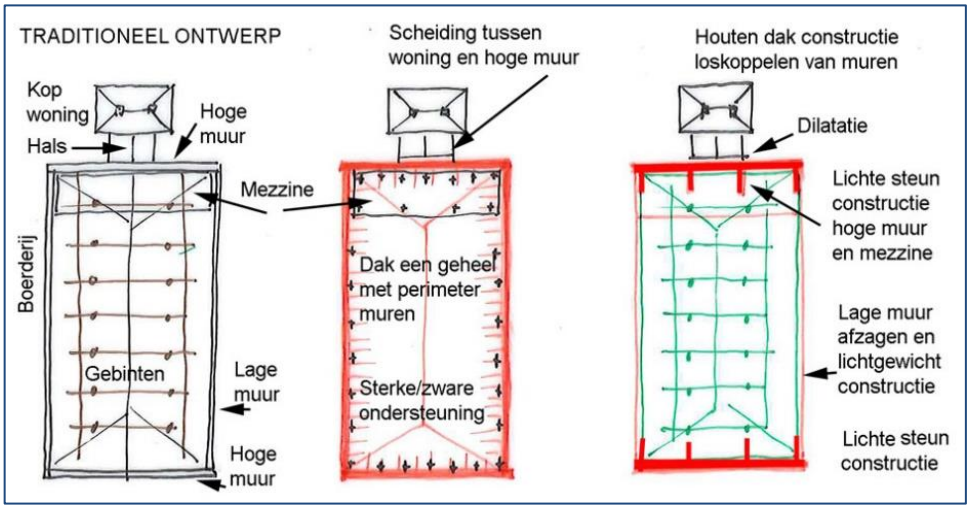


3. Het vervangen van de hele gevels door lichtgewicht constructies. Het plaatsen van een metalen, kunststof of houten gevel is te overwegen. Echter, de hoge gemetselde kopgevels hebben een eigen architectonische uitstraling en het vervangen zal het karakter van het gebouw tenietdoen.

Figuren 10-27. Vervangen van de hele gevel. Dit kan niet wanneer de schuur een monumentenstatus heeft.

Dit kan misschien zinvol zijn wanneer de hele schuur wordt omgebouwd, maar in veel situaties zijn de gebintenschuren monumenten en leent de interne houten gebinten structuur zich niet voor een grote open ruimte die nodig is voor een moderne bedrijfsinrichting. Door het op een meer creatieve wijze omgaan van de monumentenregeling en de gebruiksbestemming kan voor verschillende gebintenschuren het behoud betekenen.

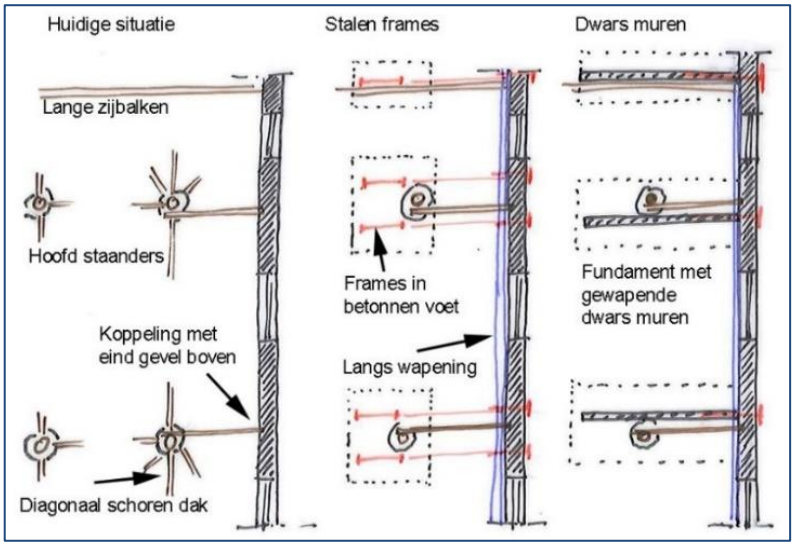
4. Bij de koppeling van de grote schuur aan een woonhuis, eventueel met een hals-gebouw zal er altijd een dilatatie tussen de gebouwen en de schuur gemaakt moeten worden. Bij deze optie gelden dan de eerdere opties 1 tot en met 3 voor de grote schuur.



Figuur 10-28. Ontkoppeling van het woonhuis. Dit is een eerste vereiste. De middelste optie met muren die het dak ondersteunen is niet aanbevolen. Rechts. De hoge kopgevels kunnen aan de binnenzijde ondersteund worden, en structureel los van het dak blijven.

Bij de hoge kopgevels dienen verticale ankerbalken[357] hoog aan de binnenkant van de gevel te worden bevestigd, die op hun beurt aan de steunconstructies achter de gevel dienen te worden verbonden. In elke hoge kopgevel zijn in de gevel al lange muurankers, waar achter de mezzanine vloer is verbonden. De toevoeging van een paar extra identieke muurankers zal de architectuur van de gevel geen geweld aandoen. Alternatief kunnen van binnenuit gaten in de muur geboord worden en draadeinden chemisch in het metselwerk verbonden, met twee componenten epoxy. Aan de draadeinden worden L- of U-profielen verbonden. Aan de profielen kan de ondersteuningsconstructie verbonden worden.

[357] Het kan noodzakelijk zijn om ook horizontale metalen profielen aan de gevel te bevestigen om te zorgen dat de hele gevel een versterkte constructie wordt. Dit hangt af van de kwaliteit van het metselwerk en de openingen die in die gevel zitten.



Figuur 10-29. Versterking met portalen.
Aan de binnenzijde kan een profiel bevestigd worden met origineel lijkende buitenzijdige balkankers, of alleen aan de binnenzijde met chemische ankers. Aan het-profiel kunnen de metalen portalen bevestigd worden (Figuren 10-25).

10.7. Berekening van alleen de hoge muur

In de situaties dat het kopgedeelte van de schuur bewoond is heeft het volgens de Eurocode een belangrijkheidsfactor γ = 1,0. Een schuur die niet bewoond is en ook niet bewoond gaat worden kan met een belangrijkheidsfactor van γ = 0,8 volstaan. De meeste grote schuren worden slechts gebruikt om boerderijmachines droog te stallen. Sommige schuren zijn echter als groepsruimte in gebruik en hebben dan een belangrijkheidsfactor γ = 1,2.

De dwarskracht op de 6 m hoge muur (+ 1m fundering) kan als volgt berekend worden
$F_b = S_d(T_1)*m*\lambda$ wanneer gebouw < drie verdiepingen: λ = 1,0
(Eurocode form 4.5) $T_1 \approx C_t*H^{¾}$ = 0,05*4,3 = 0,215 sec. bij gebouw 7 m hoog. (Eurocode form 4.6)[358]
De aanbevolen parameters voor het elastische respons spectrum voor grondsoort E (kleigrond 5 tot 20 m dik boven vaste grondlagen) zijn volgens het Type 2 die van toepassing is voor lichte bevingen.
S = 1,6 ; T_B(s) = 0,05 ; T_C(s) = 0,25 en T_D(s) = 1,2
Eurocode Tabel, Formule 3.3 $S_d(T_1)$ = $a_g * S * \eta$ *1,5.
Waarbij absorptie of dampingsfactor η = 1 en $a_g = \Upsilon_1 * a_{gR}$ en Υ_1 = 1 (voor woning) en de a_g is de huidige (jaar 2020, NPR 9998) maximum PGAg 0,15 voor het epicentrum.

Volgens formule (3.14) wanneer $T_B \leq T \leq T_C$ dan: $S_d(T_1) = a_g * S * 1,5 / q$ waarbij q het type van de constructie is. Voor metselwerk is dit een q van 1,5 of 2,0 (in de UK). Indien echter de gevel van achteren versterkt wordt met horizontale en verticale profielen kan sprake zijn van q van 2,5 tot 3,0. Een muur verbonden met een volledige stalen frame heeft een q van 4,0.

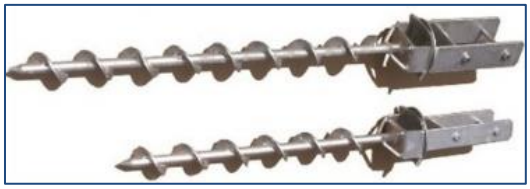
Bij PGAg 0,15 dan: (T_1) = 0,25 * 1,6 * 1,5 /3 = 0,2 dan F_b = 0,2 * m m = *massa*
Bovenstuk 3 m hoog x gemiddeld 10 m breed x 0,33 m dik x 1800 kg/m^3 = 17.820 kg
Voor **PGAg 0,15** F_b = 0,2 * 17,8 t = *3,56* t -> per dwars constructie (6) = 0,6 ton horizontaal
Onderstuk 3 m hoog x gemiddeld 15 m breed x 0,33 m dik x 1800 kg/m^3 = 26.730 kg
Deuren in het onderstuk 3,5 m x 3,0 m en 2,5 m x 2 m in mindering = 9.027 kg
Netto onderstuk 17.703 kg. Dit is ongeveer hetzelfde als het bovenstuk.
Voor PGAg **0,15** F_b = 0,2 * 17,8 t = *3,56*0 t -> per dwarsconstructie (6) = 0,6 ton horizontaal

Deze berekening is feitelijk **tweemaal zo zwaar** als de werkelijk mogelijke aardbevingssterkte per 2020 omdat de maximale NPR in 2020 nog aan de hoge kant is vastgesteld.

[358] Voor gebouwen lager dan 40 m vanaf de fundering. C_t = 0,085 voor momentvaste ruimtelijke staalconstructies.

De vrij beperkte belastingen voor elk van de 6 portalen is vrij eenvoudig met een stalen frame op te vangen en in de bodem te verankeren met schroefankers. Aan weerszijden van de grote deur moet een ondersteuning komen.

Figuren 10-30. Schroefankers in alle maten. Deze kunnen in de grond worden vast geboord en aan de portalen vast gebout. Voor het lichter maken van de dakbedekking kunnen lichtmetalen dakpanplaten worden toegepast (verschillende kleuren).



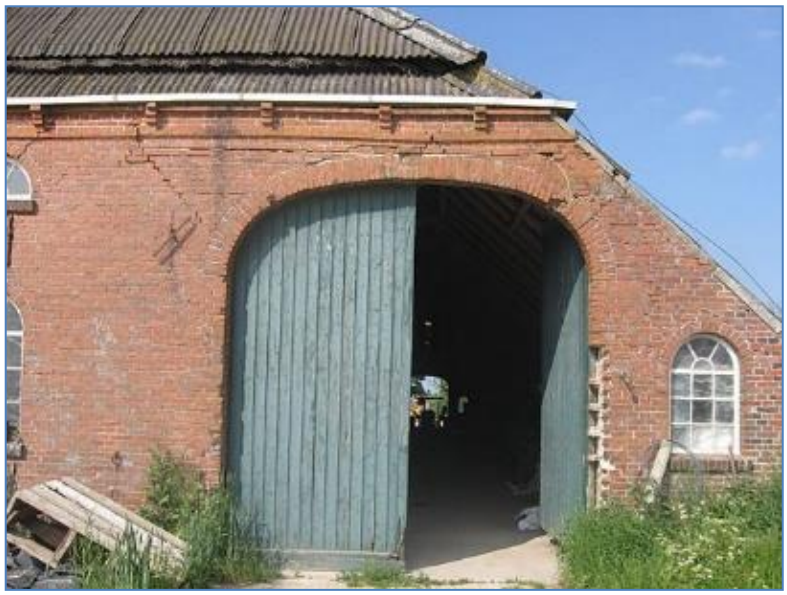
De flexibele zone tussen de hoge kopgevel en het dak kan worden uitgevoerd met een gootconstructie, terwijl het wolfseinde een strook licht doorlatende dakplaten kan hebben (licht doorlatende of polyester glasfiber golfplaten). Lichtgewicht materiaal voor de vervanging van oude golfplaten is aluminium of gecoate metaalplaten met dakpannen profiel, die in verschillende kleuren in de markt verkrijgbaar zijn (dakpanplaten). Een matte polyester coating kan deze daken een uitstraling geven van echte dakpannen.

Beide materialen hebben zeer weinig thermische isolatiewaarde. Met het toevoegen van thermische isolatie zal het gewicht van het dak toenemen. De dak-sporen en de gebinten constructie moeten in dat geval het extra gewicht van de isolatie zonder grote vervorming aankunnen. Ook de toevoeging van PV-panelen zal de constructie extra belasten.

10.8. De grote deuren aan de kopzijde

In bijna alle grote schuren zitten grote deuren in de hoge kopgevels. De smalle gemetselde strook tussen de grote deuropening en de dakrand is meestal gebroken vanwege de zijwaartse druk die de kapsporen uitoefenen bij het zakken van de hoofdgebinten.

Figuur 10-31. Ontwerp grote schuurdoor.
Hier zijn constructieve fouten en verdrukking naar rechts.
Het dak drukt zijwaarts naar rechts vanwege een flexibele constructie.
De grote muurankers zijn links net onder het mezzanine raam te zien.
Ook hier een mezzanine vloer die voor verschillende doeleinden gebruikt kan worden, meestal voor opslag.



Figuur 10-32. Schematische toelichting schade. De hoek tussen de deuropening en de dakrand is meestal gebroken. De positie van de grote deur naar het midden van de grote kopgevel voorkomt deze scheuren.

De foto en schets boven (Figuur 10-31) toont aan dat de smalle zone tussen de boog en het dak (1) gescheurd is, omdat de rechter zijkant naar buiten wijkt. Hierdoor is de boogconstructie boven de deur doorgezakt en gescheurd (2); verder is er een diagonale scheur ontstaan links van de boog (3). De sporen (2) van de spanten zakken wanneer de vloer in de schuur wordt ingedrukt (1). De lange lage zijmuur is meestal halfsteens, licht gefundeerd en zal makkelijk door de afzakkende spant sporen naar buiten gedrukt worden (3). De beste oplossing is om de lage zijmuur (3) af te zagen op 60 cm boven het maaiveld en een nieuwe lichtgewicht muur op het afgezaagde muurtje plaatsen is.

In de provincie Groningen zijn erg veel grote schuren die aanmerkelijke bouwkundige gebreken hebben, waarvan bij veel schuren die gebreken door de aardbevingen zijn toegenomen.

Figuur 10-33. Grote deur is dichtgemetseld. Boven de kleinere deur is de dag van de oude deur zichtbaar als scheur. Die scheur loopt via het raampje naar de dakrand. Mogelijk is de fundering verzakt vanwege de grotere muurmassa.

Door aan de binnenkant en buitenkant lintvoegwapening aan te brengen kan het verder scheuren voorkomen worden wanneer de fundering niet verder verzakt.

Figuur 10-34. Scheur in de zwakste doorsnede.
Hier is waarschijnlijk ook het wegdrukken van de zijmuur ook de oorzaak. De kozijnstijl onder de bovendorpel opzijgeschoven.
De rechter schets van figuur 10-31 zou hier ook van toepassing kunnen zijn.
Aan de invul baksteentjes boven de deur

Figuren 10-35. Complexe schadesituaties. In sommige situaties is het verval en de schade zo complex dat geheel slopen en dan opnieuw opbouwen de enige optie is. Links. Oude situatie. Rechts. Na de sloop klaar voor gedeeltelijke reconstructie. Het betreft hier een cultureel erfgoed dat op na het melden van aardbevingsschade hersteld werd. Ook is het hier duidelijk dat dit geen recent probleem was.

Figuren 10-36. Gelijksoortige oplossingen. De financiering van het muurherstel is een problematisch punt, wanneer de schade niet uitsluitend door de aardbevingen zijn ontstaan en vanwege de omvang van de herstelkosten. Wanneer de eenmaal herstelde gebinten schuren daarna niet duurzaam gebruik gaan worden, zal een lange termijn financiering moeilijk te realiseren zijn.

10.9. Lange lage zijmuren vervangen

De *Figuren 10-16* zijn slechts een selectie van de tientallen lange en lage zijmuren van de grote gebintenschuren die vervallen waren, en waarbij sommige muren een laatste zetje kregen van de aardbevingen. De volgende aspecten spelen een rol bij de beoordeling:

a. Deze lage muren zijn het windscherm of de klimaatafsluiting tussen de grote kapconstructie en de grond. Dat wil zeggen dat ze de wind en de koude moeten tegenhouden. Dit zijn lichte muren die vaak slecht gefundeerd zijn. Achter de muren stonden vaak koeien in boxen. In de tijd dat deze gebinten schuren werden gebouwd hadden ze allemaal een rieten kap.

b. De kapsporen zitten vast aan de muurplaat op deze lange muren, maar door verzakking van de gebinten drukken de kapsporen de muren naar buiten. Het verzakken kan veroorzaakt zijn door de tijd (inklinking onder kleine fundamenten of door zwaar verkeer in de schuur.

c. De originele rieten daken hadden geen goten, terwijl er bij het plaatsen van de nieuwe golfplaten daken er ook geen goten werden aangebracht. Door het grote dakoppervlak komt er extra veel regenwater langs deze muren in de grond wat verweking kan veroorzaken.

Figuren 10-37. Oude plaats van koeienstallen. Langs de daken zijn niet altijd goede goten aanwezig is. Het vele regenwater zakt weg in de grond naast de matige funderingen.

d. De funderingen van deze lange lage muren zijn meestal te smal en ondiep, terwijl veel muren slechts halfsteens waren. De dwarsmuurtjes binnenin, tussen de koeien/kalveren stallen gaven de steun. In veel situaties zijn die dwarsmuurtjes verwijderd.

Figuur 10-38. Zijmuur is vaak halfsteens. Deze is ook opgebouwd gedurende verschillende fasen. Deze muur is vergaand in verval. Op verschillende plaatsen kan je door de gebroken muur naar buiten kijken. Bij in gebruik zijnde schuren worden deze muren gewoonlijk onderhouden.

e. Tot aan de 20ste eeuw werden deze lange muren door de boeren onderhouden en soms vernieuwd (elke 50 tot 100 jaar) wanneer de gebintenschuren nog als veestallen werden gebruikt, maar sinds de vernieuwing van de veeteelt en grote moderne stallen met onderliggende mestkelders (gierkelders)[359] gebeurt dit niet meer van wege de hoge kosten.

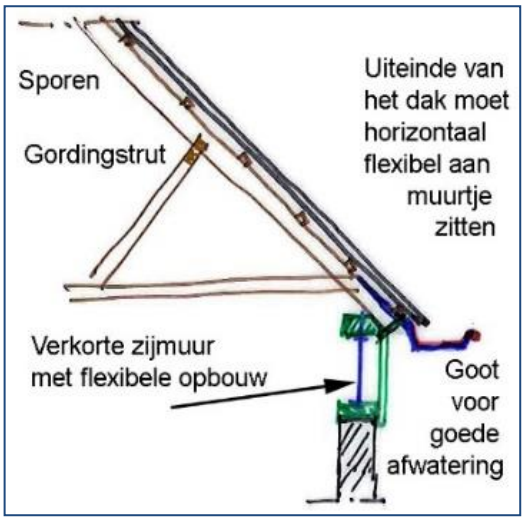
Figuren 10-39. Oude kalverenstallen vervangen. Links. Oude kalveren boxen. Rechts. De dak-sporen worden boven de binnenmuur ondersteund met schoren. Wanneer deze ruimte weer gebruikt gaat worden kunnen hier licht doorlatende platen op gelegd worden.

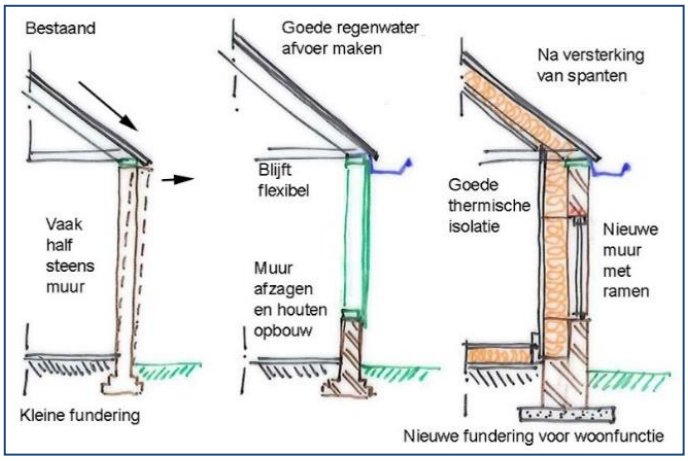
Figuur 10-40. Zijmuur aan de gebinten vast. Bij deze nieuwe constructieve aanpak is de lage zijmuur aan de gebinten verbonden (nieuwe fundering), waarbij de scheidingen tussen de kalverenboxen extra sterkte aan de lage muren kunnen geven.
Foto Kalvermesterij Kroes.

Figuren 10-41. Balkankers in de zijmuren. Hier is te zien dat er in de lange zijmuren balkankers zitten waarmee de muren aan de binnen constructie zijn verbonden. In deze situaties is er minder schade en zijn de schuren nog in gebruik. Aan de binnenzijde wordt pas duidelijk in hoeverre deze ankers een constructieve functie hebben en in staat zijn om de stabiliteit van de muren te garanderen.

[359] Deze methode van mestverwerking is het resultaat van een steeds verdere arbeid efficiëntie in de bedrijfsvoering, maar resulteert in een grote CO_2- en stikstof-uitstoot, allebei slecht voor het milieu.

f. Het recht-drukken van deze muren, of de kapconstructie structureel aan deze muren verbinden zijn géén goede oplossingen, omdat de oorzaken niet worden weggenomen. Wanneer het monumentale gebintenschuren zijn, is het slopen met behoud van de bakstenen (hergebruik) en het opnieuw breder en dieper funderen en het opnieuw opmetselen de beste optie (zonder verbinding aan de sporen). Wanneer het geen monumentale schuren zijn, is het vervangen van deze muren met een flexibele lichtgewicht constructie een betere oplossing.





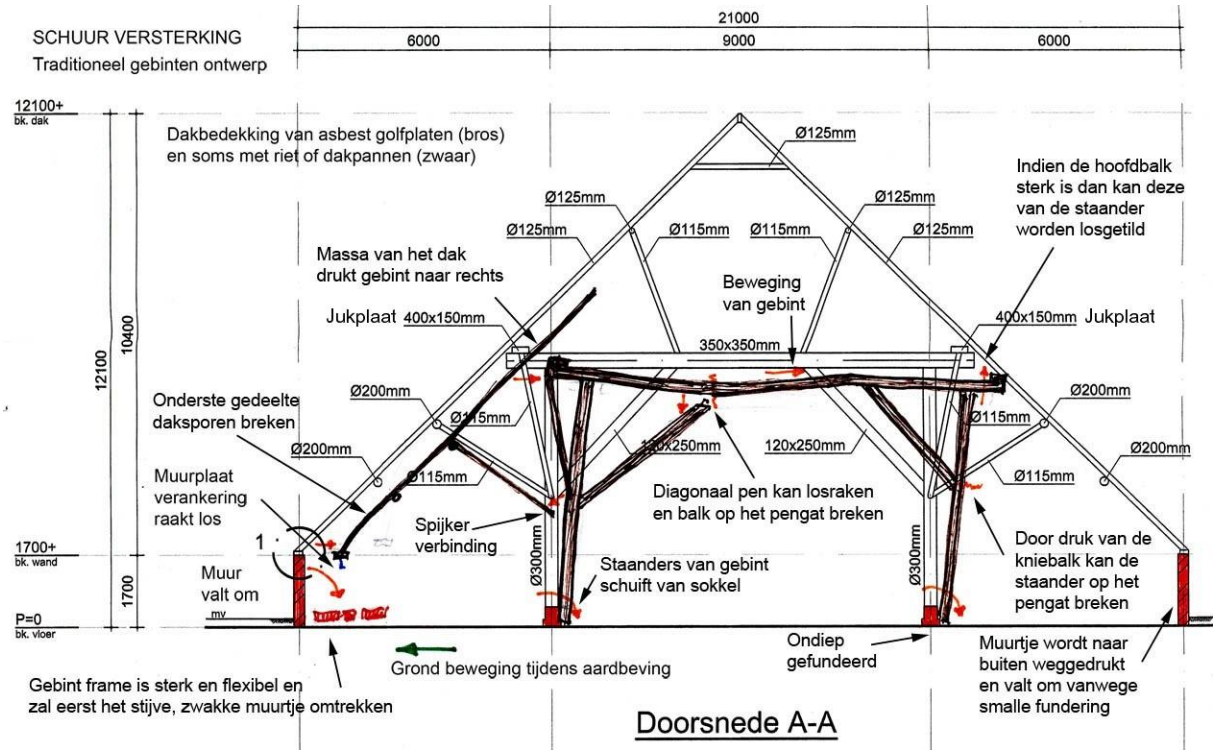
Figuren 10-42. Ingestort muurdeel dichtgezet.
<u>Rechtsboven</u>: Optie van verlagen van de muur en toepassing van een flexibele houten rand of ramen.
<u>Rechts</u>. Verschillende opties voor een andere vorm van zijmuren wanneer het geen monumentale status heeft .De verbinding met de kap moet wel flexibel gehouden worden.

Voor een niet-geïsoleerde schuur is geen metselwerk muur nodig. De muur doet slechts dienst als windkering; om te zorgen dat de wind niet onder de kap komt. Als de funderingen van de gebinten zijn verzakt en niet omhoog worden bijgesteld is het verlagen van de zijmuur noodzakelijk. Na het rechtzetten of versterken van de lange zijmuren moet de grote kapconstructie structureel los van die zijmuren gehouden worden, maar wel water- en winddicht aansluitend.

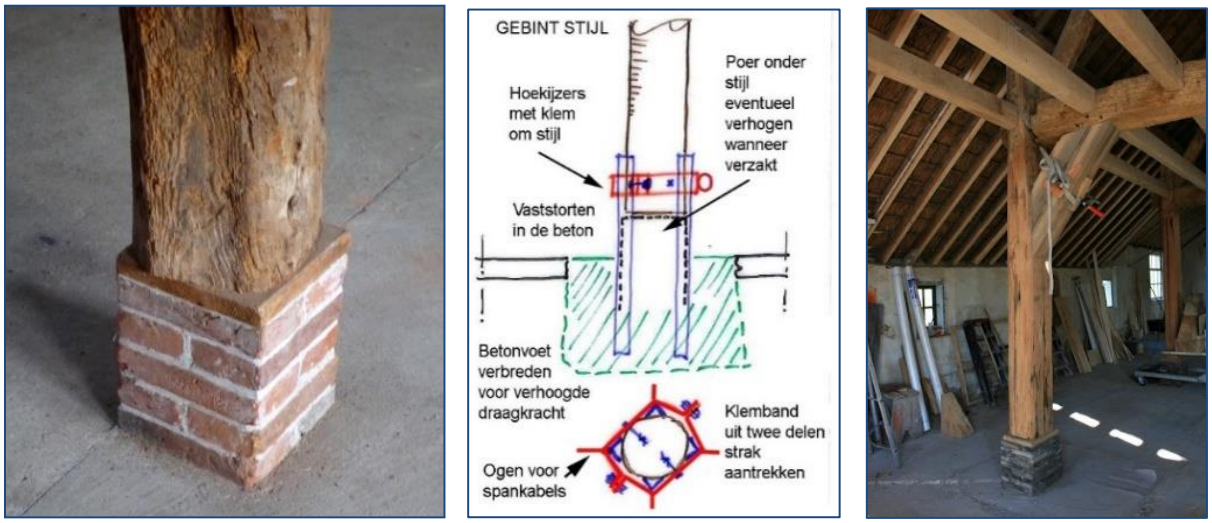
10.10. Versterking van gebinten en spanten

De volgende schets geeft de doorsnede van een gebintenschuur weer, met de mogelijke vervormingen vanwege een aardbeving in het vlak van de gebinten. De mate van vervorming van de constructie zal afhangen van de stijfheid van het juk en de kwaliteit van de verbindingen van de verschillende soorten diagonalen. Bij sommige gebinten zijn dubbele kniestukken toegepast en aan de zijkant van de stijlen en de ankerbalk bevestigd. In veel schuren zijn de diagonalen slechts aan de sporen of de gordingen gespijkerd, zonder andere verbindingshulpmiddelen. Deze verbindingen geven hoofdzakelijk sterkte bij druk, maar speling met trekbelasting. Bij meerdere schokken kunnen de staanders van hun sokkel fundering afschuiven/trillen wanneer daar geen penverbinding zit. De pen-en-gat verbinding tussen de stijlen en de ankerbalk is technisch een scharnierverbinding.

De dwarsweerstand van het gebouw wordt bijna geheel gecreëerd door de diagonalen (korbelen of kniestukken) van het zwaardere gebinthout. Bij een frequente horizontale belasting en verzakking van de staanders, kunnen de kniestukken uit de horizontale ankerbalk getrokken worden, wat tot verdere instabiliteit van de constructie zal leiden.

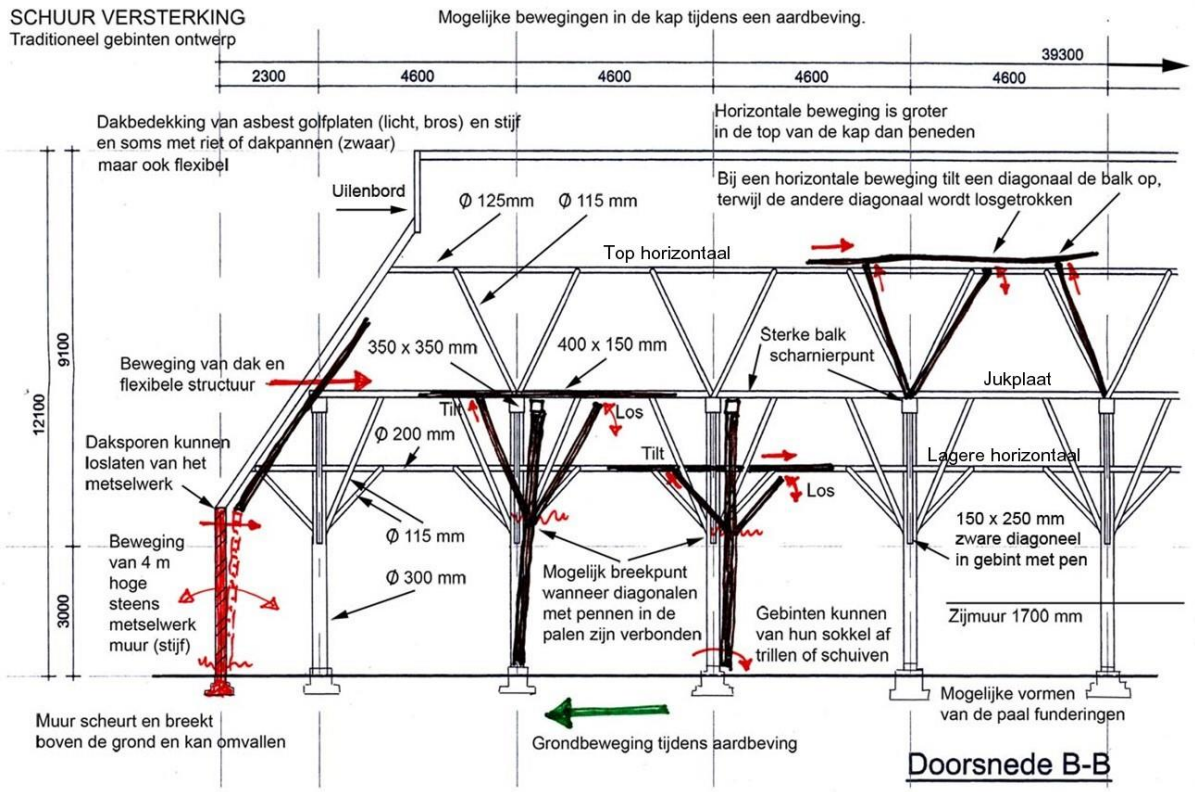


Figuur 10-43. Flexibele dakconstructie. Deze zal de lange lage perimetermuur omtrekken of wegduwen. Indien de verbinding met zware zijmuren sterk is, dan kunnen de onderste sporen van het dak vervormen of breken.

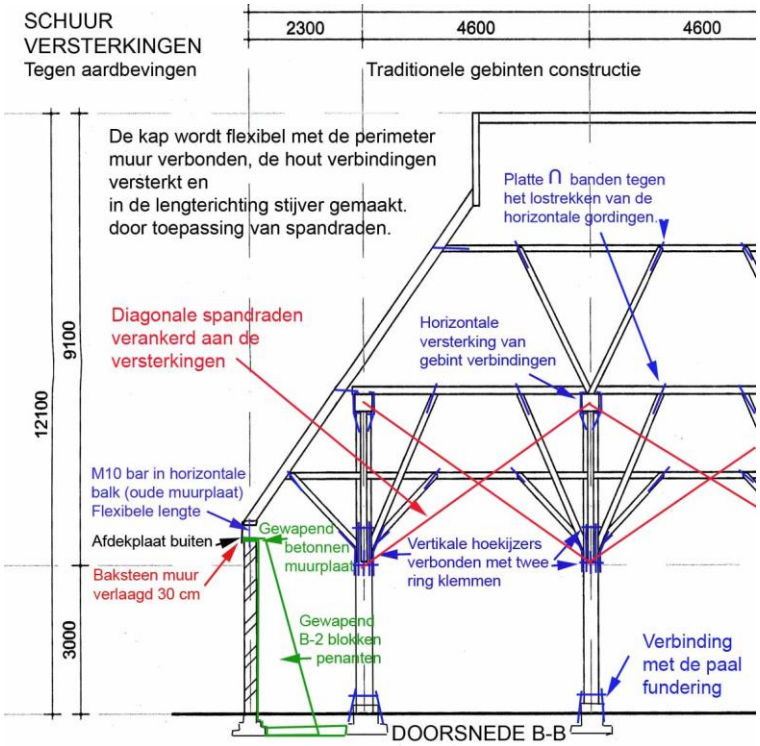


Figuren 10-44. Nieuwe funderingen voor staanders.
In de schuren kunnen de onderzijden voorzien worden van ankerpunten voor diagonalen of spankabels. Door de staanders vrij van de grond te houden wordt rot in de onderkant voorkomen. De staanders moeten met een penverbinding in de nieuwe fundering zitten.

De staander funderingen kunnen verzakken vanwege uitdroging van de klei- en veengrond of door belasting van zware landbouwvoertuigen die in de schuur er vlak langs rijden. Dit kan ook gebeuren door toevoegingen van bouwmuren ten behoeve van bewoning. De gebintenschuren werden hoofdzakelijk op basis van ervaring gebouwd en de staanders zijn een paar honderd jaar geleden niet op ontworpen op extra belastingen. Deze gebintpoten kunnen worden opgetild en de funderingen verbreed. Vanwege de flexibiliteit van de houten constructie is het mogelijk dat per gebint deze poten iets hoger gesteld worden.



Figuur 10-45. Langsdoorsnede grote schuur. <u>Boven.</u> De kopgevels en wolfseinden bewegen zonder versterking heen en weer.



Figuur 10-46. Versterking van de verbindingen.
<u>Rechts</u>. De constructie van de kap is gebaseerd op druksterke diagonalen (paraplu) constructies vanuit de staanders en bovenzijde van de gebinten. Om te voorkomen dat verbindingen door de trekbeweging loslaten kunnen verzinkte metalen strippen worden aangebracht. Wanneer de basis van de paraplu constructie een verzwakking van de staander in kunnen houden, kunnen deze met manchetten van hoekijzers versterkt worden.

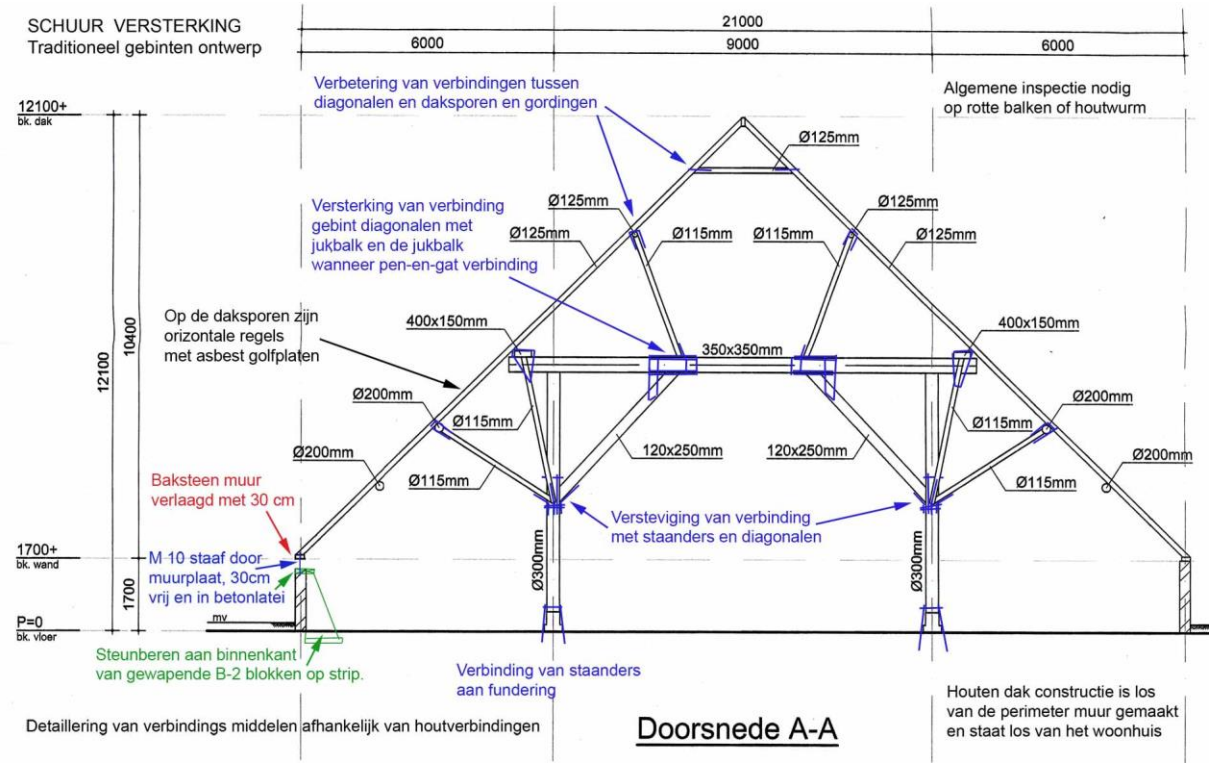
Er zijn horizontaal in de lengte een zware jukplaat en twee horizontale balken aanwezig die constructief dezelfde functie hebben als die van de ankerbalk heeft in de dwarsrichting; de diagonalen zijn met deze jukplaten en horizontalen verbonden. Bij een aardbeving en flexibele jukplaat en horizontalen zullen de 4 m tot 6 m hoge voor- en achtermuren door de sporen van de wolfseinden heen-en-weer gedrukt en getrokken worden.

Bij een grote links <-> rechts beweging in de lengte van de kap kunnen de verbindingen van de diagonalen met de gordingen losraken. De zware en sterke horizontale balken en de jukplaat op 6,50 m hoogte (40 x 15 cm doorsnede) zijn niet momentvast met de gebinten verbonden. Bij een horizontale verplaatsing kunnen ook de ondersteunende diagonalen van deze balk losgetrokken worden. Hetzelfde kan gebeuren met de onderste serie diagonalen, alhoewel de horizontale verplaatsing hier minder is. In deze richting staan geen sterke gebinten. De sterkte en stijfheid wordt geleverd door de vele (paraplu) diagonalen van de gebinten naar de gordingen. Met de vervanging van het rieten dat door stijve golfplaten is er slechts enige verstijving door de dak beplating.

De versterking van dit soort schuren in de lengterichting kan bestaan uit de volgende elementen:

A. Loskoppelen van de hoge kopgevel muur van de dakconstructie en deze hoge muur voorzien van een hoog-flexibele steunconstructie aan de binnenkant.
B. Het zekeren van alle andere verbindingen tussen de diagonalen, sporen en gordingen door U-vormige koppelstukken en gegalvaniseerde platte metalen strips (aan de balken). Een andere oplossing is om banden om het rondhout te maken en die met elkaar te verbinden.
C. Het aanbrengen van twee sets van trekvaste diagonalen in de vorm van spandraden tussen elk paar gebinten (verbindingsstukken B), en over de gehele lengte van de schuur.

De manchetconstructie aan de paraplu, halverwege de stijlen kan uit twee halve delen van een ring bestaan, die aan elkaar verbonden zijn. Aan de verbinding van de manchet kunnen diagonale spankabels bevestigd worden. Deze kunnen ook beneden aan de poeren verbonden worden.

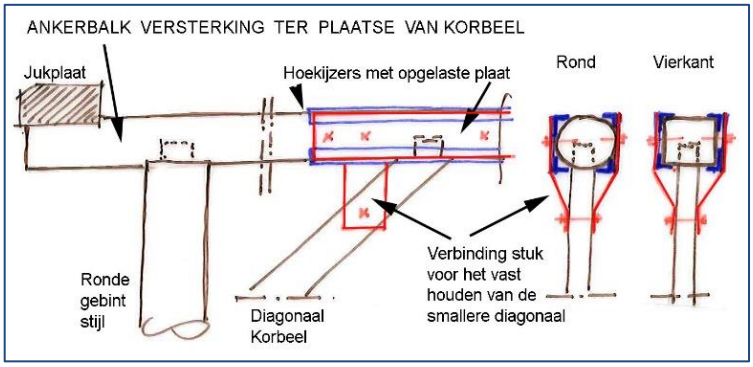


Figuur 10-47. Dwarsdoorsnede gebintenschuur. Locaties waar versterkingen kunnen worden aangebracht.

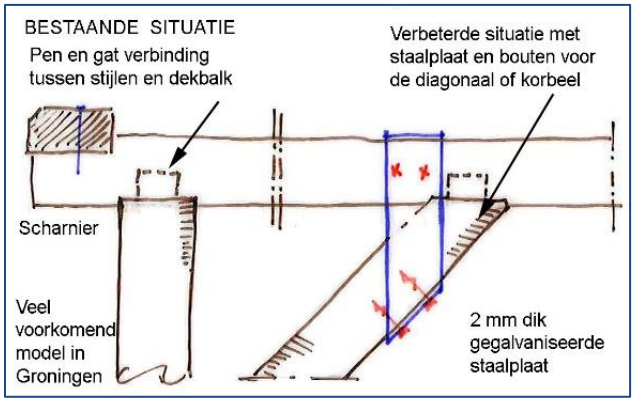
Bij veel gebintenschuren zijn deze verbindingen in de lengterichting voldoende sterk, maar een versterking in de dwarsrichting kan bestaan uit de volgende elementen:

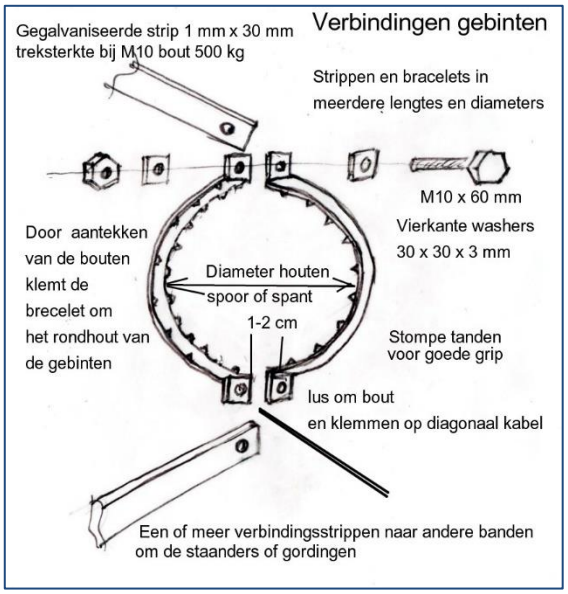
D. Het verbinden van de stijlen aan de funderingen of poeren, zodat de staanders er niet afvallen of schuiven bij een horizontale beweging. Verzakte stijlen moeten worden opgekrikt zodat de kap sporen niet meer zijwaarts op en tegen de lange zijmuren drukken. De funderingen onder de poeren moeten verbreed worden voor een betere draagkracht. Aan de onderkanten van de staanders kunnen eventueel spankabels of diagonalen bevestigd kunnen worden, maar dat belemmerd de vrije doorgang tussen de jukken.

E. Het versterken van zwakke pen- en gat verbindingen in de ankerbalk, zodat deze niet los kunnen geraken of op die punten kunnen breken. Dit kan met het opbrengen van een versterking d.m.v. hoekprofielen en een plaat die aan de zijkant is opgelast (linker schets). Als de ankerbalk voldoende sterk is dan hoeft slechts de diagonaal aan de ankerbalk te worden opgehangen door middel van een metalen strook (rechter schets).



Figuur 10-48. Versterkingen van balkverbinding.
Dit is het zwakste punt va de horizontale balk. Toepassing van hoekijzers en de aansluitingen van de korbeel tegen lostrekken.





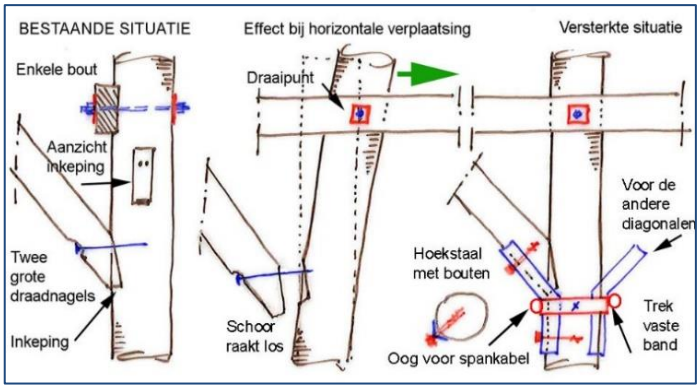
Figuren 10-49. Verbinding tegen lostrekken.
<u>Rechts</u>. Twee halve manchetten met een spanbout voor aan de staanders. Aan de spanbouten kunnen strips gekoppeld worden die aan de manchetten aan de sporen worden verbonden.

F. De onderkanten van de verschillende diagonale ondersteuningen dienen stevig aan de stijlen verbonden te worden. De pen en gat verbinding aan de bovenkant van de stijl is nu structureel een scharnierpunt. De diagonalen bepalen de sterkte en stijfheid van de constructie. De verbindingen tussen de diagonalen met de verticale en horizontale elementen zijn daarom kritisch.

G. Door zowel aan de staanders en de paraplu diagonalen twee halve manchetten te klemmen kunnen aan de klemboutenverbindingen gemaakt worden naar de andere manchetten, waardoor er trekvaste verbindingen ontstaan. Manchetten in verschillende diameters.

H. Het zekeren van de onderste verbindingen tussen de stijlen en de verschillende diagonalen kan zoals geschetst. Meerdere steunen van hoekijzers kunnen samen met één klemband worden geborgd. De klemband heeft ogen voor de verbinding met spankabels.

Bij het vernieuwen van onderdelen van deze grote gebinten en kapconstructies is het belangrijk dat geïmpregneerd hout gebruikt wordt dat niet aangetast kan worden door insecten en houtworm. Hoewel voor oude stolp- en gebinten boerderijen veelal eikenhout gebruikt werd, of het duurzame grenen, zijn deze kwaliteiten bijna niet meer beschikbaar.



Figuur 10-50. Metalen verbindingsstukken. Deze kunnen tegelijkertijd punten zijn voor de verankering van spandraden of stangen die verder de stijfheid van de constructie kunnen vergroten. Rechts

Figuur 10-51. Gebintenschuren verduurzamen. Economische activiteiten moeten de hoge herstel en onderhoudskosten kunnen rechtvaardigen, anders gaat dit culturele erfgoed verloren.

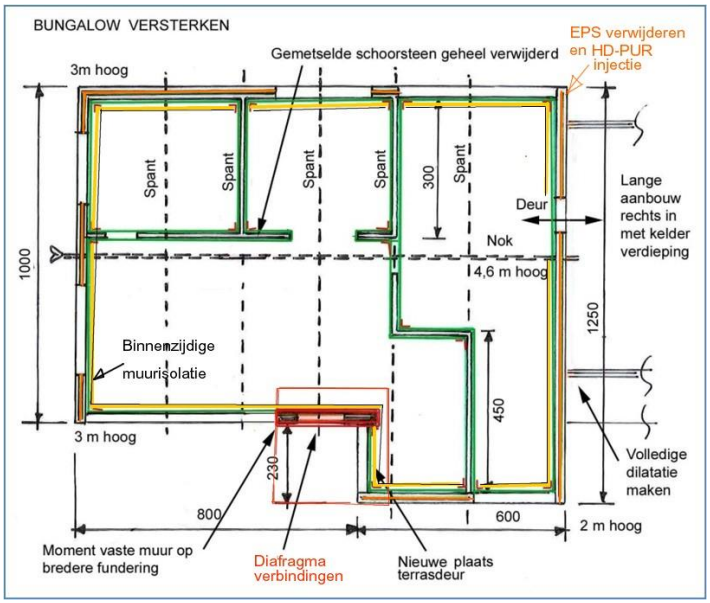
**********Terug naar het begin van dit Hoofdstuk 10**********

**********Terug naar de inhoudsopgave figuren**********

Duurzaam Herstel en Versterking van Woningen in Groningen

Hoofdstuk 11 DRIE TYPISCHE PROJECTEN

Na de aardbevingsproblematiek en de afbouw van de aardgasproductie



Abstract: Drie Typische Projecten van de versterkingsoperatie in Groningen zijn nader beschreven: overmatig versterken, slopen en verkeerde beoordelingen. De analyse geeft aan dat er meerdere oorzaken zijn van gebouwschade en dat deze in veel situaties met de fundering te maken hebben. Een goede beoordeling ligt aan de basis van de herstel opties. Een foute beoordeling kost veel tijd en geld. Het verbeteren of versterken van de fundering is vaak een voorwaarde voor het verder verduurzamen van de woning. Met foto's[360] en schetsen.

Kernwoorden: aanbouw, aardbeving, baksteen, beton, dakpannen, diafragma, dilatatie, doorzakken dak, duurzaam, garage, metselwerk, muur-vloer verbindingen, houten vloeren, scheuren, seismisch versterken, shotcrete, spouwmuur, verbouwen, verduurzamen, verzakking, vloeren, wasmachine, woningbouw.

Door: Sjoerd Nienhuys
Bouwkundig, seismisch ingenieur
Juli 2023.

[360] De foto's zijn uitsluitend als illustratie en voorbeeldmateriaal bedoeld. Gebouweigenaren die in de foto's hun gebouw of gebouwonderdeel herkennen, kunnen of mogen hier geen consequenties aan verbinden.

11.0. Inleiding

De drie kleine projecten die in dit hoofdstuk worden beschreven werden sinds eind 2013-2015 gerealiseerd op basis van de in 2013 bestaande seismische kennis onder de schade inspecteurs en hun bureaus. De technische opname door die schade inspecteurs van de verschillende bedrijven was gebaseerd op wat men ter plaatse zag en van de bewoner vernam, zonder gedegen onderzoek.

De voortvarendheid van de eerste periode van de hersteloperatie in 2014 leidde ertoe dat er enkele beslissingen werden genomen die met wat meer kennis van zake in latere jaren wellicht op een andere manier genomen en uitgevoerd zouden worden.

In het begin werden er aannemers gemobiliseerd die hoofdzakelijk de scheuren dichtsmeerden, maar met de eerstvolgende beving stond die scheur weer open en begon het werk weer overnieuw met: schademelding, rapportage, taxatie en “reparatie”. Na de publicatie van de eerste NPR9998:2015 veranderde dit, omdat de voorgestelde toekomstige aardbeving veel te zwaar werd aangegeven.

De observaties zijn om een voorbeeld te geven van het uitdiepen van de oorzaken en mogelijke oplossingen die relevant kunnen zijn bij bouwkundige gebreken en aardbevingsschade.

Al in 2015 was het duidelijk dat de per eind-2014 voorgestelde maximale aardbevingssterkten, extreem hoog waren bepaald. Tegelijkertijd werden wel enkele woningen op die basis doorgerekend en versterkt. Dankzij het precies opmeten en doorrekenen van deze woningen was er veel data beschikbaar. Bij een voorbeeld is daar gebruik van gemaakt.

Het zoeken naar de beste fundering- en muren-herstelmethoden en het voorkomen van schades bij de geprojecteerde zwaardere aardbevingen, leidde ertoe dat er een dozijn verschillende woningtypes in de provincie van Groningen gegroepeerd werden volgens verschillende bouwperiodes[361]. Elke bouwperiode van 20 jaar heeft in Nederland duidelijke constructieve eigenschappen met bijbehorend type fundering, lichte houten of zware betonnen vloeren, rijtjeswoningen, meer-etage woningen en boerderijen of monumenten. Voor elk van het 12-tal bakstenen gebouwtypen is dan een eigen versterkingsmethode nodig[362]. Was eenmaal die methode bepaald, dan zouden alle woningen van hetzelfde type volgens dezelfde versterkingsmethode behandeld kunnen worden, zonder dat voor elke woning weer opnieuw dure en langdurige analyses en berekeningen gemaakt hoefde te worden.

Op basis van deze strategie werd er van elk woningtype een exemplaar aangekocht om volgens de toen geldende NPR9998:2015 seismisch te versterken. Hiermee werd ervaring opgedaan in de organisatie, versterkingsmethoden en kostenaspecten. Groningse bouwondernemingen konden daar muur- of vloerdiafragma versterkingen uitproberen. Deze testwoningen deden ook dienst als demonstratieobjecten.

De hier vermelde drie projecten waren geen onderdeel van die test- en demonstratieprojecten maar voorbeelden van hoe verkeerde of onvoldoende analyses gemaakt werden.

[361] In 2020 zijn dit er 60 en per type wordt er een versterkingsvoorstel gemaakt (niet openbaar).

[362] Uiteraard zullen binnen elke typologie veel kleine verschillen bestaan, maar die kleine verschillen zullen geen grote veranderingen in de versterkingsmethoden vereisen. Het gaat hier over de schoorstenen en de drie hoofdelementen van seismische versterking zijnde: funderingen, muur-vloer verbindingen en diafragma’s.

11.0. Herbeoordeling van drie projecten

Na de aardbeving van 16 augustus, Huizinge (PGAg 0,085 en Richter 3,6) moest er kennis worden opgebouwd over de geleden schade en hoe de woningen structureel te herstellen of veiliger[363] te maken. Hiervoor werd er eerst een schade identificatieprotocol opgesteld en werden er na de schaderapportage verschillende voorstellen gedaan over de mogelijke reparaties of versterkingen.

De drie typische voorbeeldprojecten die in dit hoofdstuk worden besproken, worden op een andere manier belicht dan de in 2014 uitgevoerde versterkingsplannen van die woningen. Bij slechts lichte en steeds minder voorkomende aardbevingen zoals voorgesteld sinds 2018, is een geheel andere werkmethode mogelijk dan wat er voor die tijd werd uitgevoerd.

Figuur 11-1. Kleine vrijstaande woning.
Bouwjaar uit de jaren ’60 met dunne betonnen etagevloer en kleine kelder. Een voorbeeld van matige kwaliteit woningbouw met gebruiksschade die daardoor ook kwetsbaar was voor aardbevingen.

Figuur 11-2. Bungalow met garage in de kelder.
Bouw uit de jaren ’70.
Dit was ook gebouwd volgens bouwnormen die nu als verouderd worden beschouwd.

Figuur 11-3. Garage aanbouw op zandpakket.
Aan een ouder woonhuis en op opvulgrond werd gebouwd ontstonden hier verzakkingen.

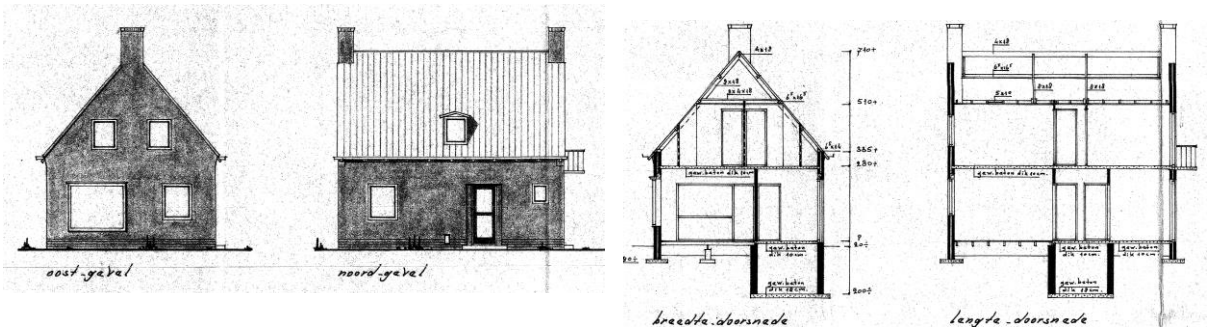
Dit hoofdstuk geeft de verschillende oorzaken aan en wat de mogelijke versterkingsopties zijn. Het geeft niet aan wie moet betalen voor de reparaties.

[363] Het begrip veiliger van de NPR houdt in dat het gebouw ‘net niet instort’, dat is dus niet zonder schade. Uitgebreidere toelichting op deze en andere terminologie is in de woordenlijst van hoofdstuk 1.

11.1. Kleine vrijstaande woning

Dit voorbeeld van een kleine vrijstaande woning met een 1963 ontwerp, beschrijft de verschillende overwegingen en opties die zich kunnen voordoen bij een analyse voor seismisch versterken.

Kenmerken van de woning:
Bouwjaar 1963, woonoppervlakte[364] op de begane grond 53 m^2 en op de etage 40 m^2.
Niet nageïsoleerde spouwmuren, on-geïsoleerde begane grond vloer of dak. Kleine dakkapel aan een zijde. Twee gemetselde topgevels met schoorstenen. In dit gebouw zit onder een klein gedeelte bij de zijdeur een keldertje. De betonbalken en strokenfunderingen zijn ontworpen op de belastingen. Boven het keldertje, doorlopend in de bijkeuken is een betonvloer. De begane grondvloer is verder van hout met een ondiepe kruipruimte. De etagevloer is doorlopend en slechts 10 cm dik gewapend beton.



Figuren 11-4. Oostgevel en noordgevel. Links naast de voordeur een kleine kelder.

De woning heeft aanzienlijke scheurschade aan twee kanten in de bijkeukenkoek en is in de rechterhoek aan de buitenkant ondersteund (zie plattegrond beneden). Naast de kelder bevindt zich een septic-tank, terwijl de regenwaterafvoer langs de hele zijgevel loopt en verder naar het riool.

Figuren 11-5. Opname van schade aan bijkeuken. Aan de buitenmuur van de bijkeuken en binnen. De plattegrond van de begane grond geeft de positie van de kelder aan en de locatie van de scheurvorming in de gevel.

Na de beving van 16 augustus 2012 werd door de bewoner extra schade gemeld en werd er in 2013 een schaderapport opgemaakt, en in 2014 een contra-expertiserapport over die bevingsschade.

[364] Het netto woonoppervlak heeft een minimale vrije hoogte van 150 cm. Op zolder is dat kleiner dan het vloeroppervlak.

Figuren 11-6. Voorzijde met oud gevelherstel. De positie van de septic-tank naast de voordeur. Achtergevel met balkon, en bijkeukendeur. Verzakkingsschade in de hoek van de bijkeuken. <u>Rechts.</u> Oude scheuren naast bijkeukenraam.

Om te beoordelen hoe dit gebouwtje seismisch versterkt moest worden, werd een precieze meting gedaan, waarbij de scheuren en zettingen in alle gevels en binnenmuren werden vastgelegd. Nieuwe (verse) scheuren zijn te herkennen aan scherpe randen en geen vervuiling in de scheur.

Tijdens de schade beoordeling werd een onderscheid gemaakt tussen:
A-scheuren = nieuw of duidelijk aardbeving gerelateerd;
B-scheuren, oorzaak onduidelijk en waarschijnlijk vergroot door de trilling, maar wel vergoed als aardbevingsschade; en
C-scheuren, niet gerelateerd aan de aardbeving, niet vergoed.
In deze woning werden binnen en rondom wel veel scheuren genoteerd, maar geen C-categorie.

Figuren 11-7. Verse nieuwe en oude scheuren. <u>Links.</u> Verse scheuren hebben scherpe en schone randen en geen verkleuring bij de schilfers. Oude scheuren hebben mos, vervuiling en spinnenwebben.

De beschadigingen en originele bouwtekeningen resulteerden in de volgende rapportconclusies:

a. De bouwperiode 1963/4 is kenmerkend voor een snelle en weinig robuuste bouwkwaliteit, waarbij de gewapend betonnen funderingsstroken (op staal) op minimale breedte werden uitgerekend. Bij een dergelijk ontwerp is te verwachten dat de woning in het eerste jaar na de bouw zettingen zal ondergaan en daardoor scheurvorming kan optreden.
b. De gewapend betonnen etagevloer fungeert wel als een vloerdiafragma, omdat deze volledig doorloopt en op de binnenmuren is vast gestort. Dit is seismisch een gunstige situatie.
c. De raampenanten hebben een redelijke breedte en zouden de geleden bevingen makkelijk kunnen weerstaan, tenzij er reeds andere spanningen in het metselwerk waren t.g.v. zetting.
d. De binnenmuren zijn halfsteens en nemen nauwelijks de aardbevingskrachten van de bovenliggende betonvloer op, of van de topgevels en het dak. De aardbevingsbelasting zal daardoor geheel op de buitengevel komen. Dit is seismisch gesproken nadelig.
e. De gemetselde topgevels met schoorstenen kunnen door het flexibele houten dakbeschot loodrecht uit het vlak van die topgevels gaan bewegen en op hun basis scheuren.
f. Het uitkragende balkon achter zit aan de betonnen etagevloer vast en zal door een verticale trilling extra belasting op de achtergevel geven. Dit is een seismische fout.
g. De regenwaterafvoer en de septic-tank zijn aangelegd met gresbuizen. Wanneer die lekken (na 40 jaar meestal het geval), zal water in de grond naast de fundering infiltreren en de draagkracht van die grond negatief beïnvloeden. Gerelateerd aan de bouwmethode destijds.

De straatgevel was al eens eerder gerestaureerd vanwege verschillende verzakkingsscheuren.[365] Er werd geen sonderingsonderzoek gedaan, maar de algemene conclusie over het grote aantal scheuren rondom en in het gebouw is dat de fundering onvoldoende draagt en dat het hoogstwaarschijnlijk is dat de kleine en grotere bevingen het zettingsproces weer gestart of versneld hebben. Resultaat: B-schades. **De relatie met de wasmachine in de bijkeuken werd niet opgemerkt.**

In aanvulling op de bovenstaande zeven punten a tot-en-met g van de schade inspecteurs kunnen de volgende opmerkingen gemaakt:

h. De kleine kelder naast de entree heeft een grotere funderingsdiepte dan de rest. Bij slechte bouwcontrole kan/zal de grond naast de kelder onvoldoende verdicht zijn, waardoor daar extra (snel) zakking kon optreden. Dit is seismisch en bouwkundig een nadelig ontwerp.

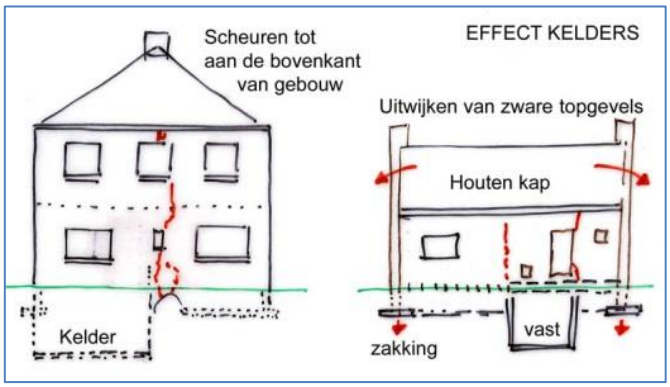
i. De topgevels zijn in dit gebouw zwaarder dan de zijgevels. De topgevels zijn 34 mm naar buiten gaan uitwijken, vanwege een grotere zetting van hun funderingen dan de funderingen onder de zijgevels. Dit is mogelijk omdat de houten kapconstructie niet stijf is en de verankering van de gordingen aan de topgevel waarschijnlijk iets beweging toelaat. Seismisch onwenselijk.

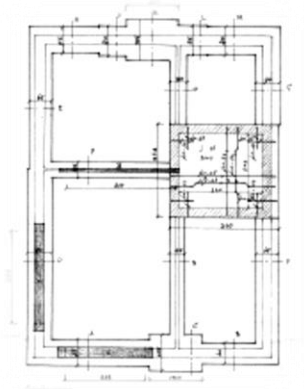
j. De aanleg van de diepe en open-bodem septic-tank kan ná die van de funderingsstrook zijn gemaakt, waardoor de grondslag vlak naast de fundering door het uitgraven ondermijnd werd. De locatie van die septic-tank kan foutief genoemd worden.

k. Het oud model septic-tank is bodemloos; hierdoor is er waterinfiltratie naar beneden, hoofdzakelijk onder het gedeelte naast de kelder, waardoor verweking van de grond kan optreden[366]. Dit zou ook kunnen vallen onder een “ontwerp”-probleem. De septic-tank had veel verder buiten het gebouw aangelegd moeten worden.

[365] Dit betekent dat de fundering al jaren aan het zetten is en dat een verdere zetting niet noodzakelijk het effect kan zijn van aardbevingen.
[366] Kleine trillingen in vochtige grond kunnen verdichting van die grond veroorzaken. Het vocht verdwijnt dan tussen de zandkorrels uit. De zandkorrels worden dan vaster aangedrukt. Dit leidt tot zetting van de fundering. Bij kleigrond wordt het water langzaam uit de klei geperst, hetgeen ook zetting tot gevolg heeft.

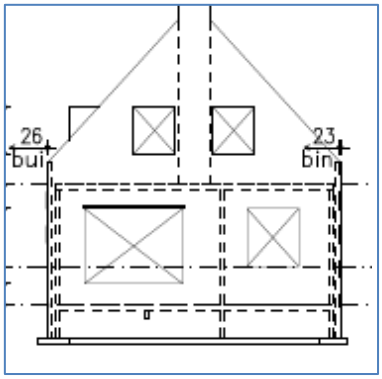
Figuren 11-8. Woning 'op staal' met keldertje. Hier treden er scheuren op die vanaf de zijwanden door de gevel naar het dak lopen. Hier leidt dit tot het wijken van de topgevels.

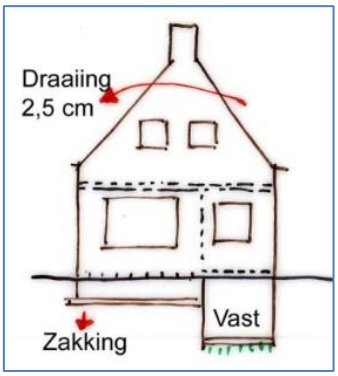




De combinatie van de minimaal gedimensioneerde fundering 'op staal' met de kelder die aan één zijde onder een gedeelte van het gebouw zit, en de betonvloer op de etage die het kleine gebouw bij elkaar houdt, resulteerde niet alleen in het wijken van de topgevels, maar ook in de kanteling van de woning.

Figuren 11-9. Kanteling van de hele woning. De tekening van de funderingsbalken laat zien dat de aanlegbreedte van die fundering gerelateerd is aan de boven-belasting. Onder de schoorstenen en de zwaardere kopgevels is de fundering breder. Omdat het grond draagvermogen onder de kelder hoger is, kantelde het hele gebouw 23-26 mm.



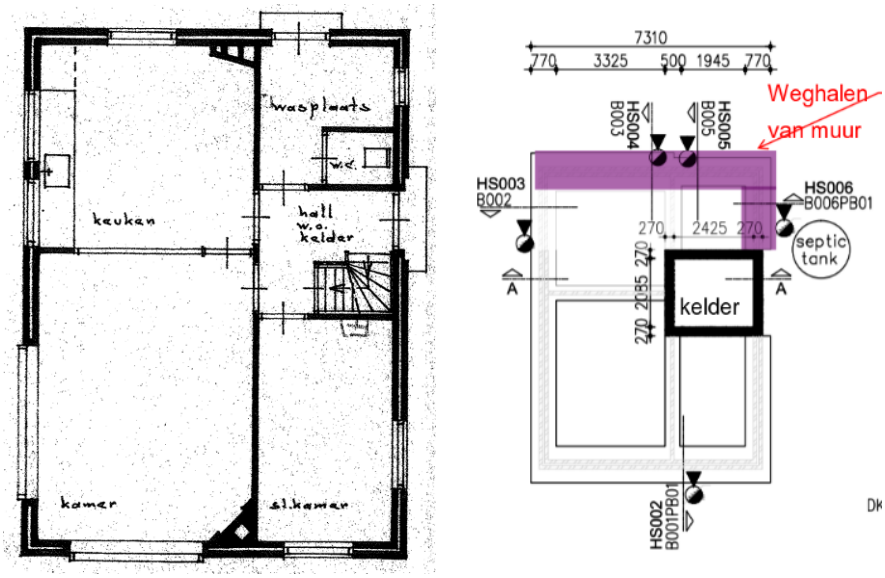


In de achtergevel (bijkeuken) zitten grotere scheuren van een veel oudere zetting, reden waarom hier de muur ondersteund werd (*Figuren 11-5 midden)*. De vraag is waarom dit het geval is?

Het verzakken van de hoekfundering vanwege de belasting van de topgevel is niet het geval, want anders zou er geen grote horizontale scheur in alleen die hoek zitten. Deze scheur zou dan door het gewicht van de topgevel dicht gedrukt worden. Ook zijn er geen diagonaal scheuren in de topgevel. De betonnen etagevloer houdt de topgevel feitelijk omhoog, terwijl de bijkeukenvloer verder wegzakt.

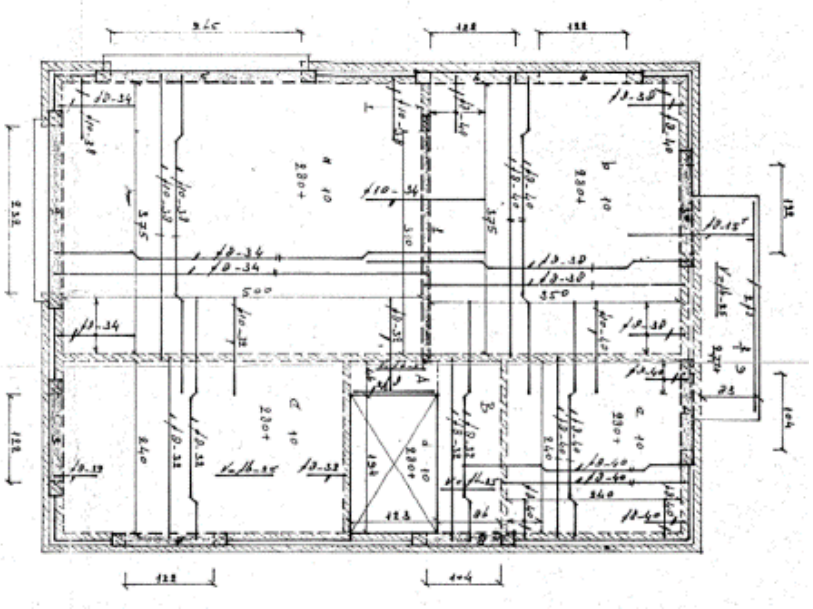
l. Op het betonnen bijkeukenvloertje bij de achterdeur staan zowel een wasmachine en een droogmachine (op een andere foto). Deze leveren allebei bij het centrifugeren een sterke trilling op waardoor de gehele betonvloer, gebouwhoek en gebouw gaat meetrillen. Ofschoon een nieuwe wasmachine gebalanceerd en grotendeels trillingvrij kan zijn opgesteld, zal er ongetwijfeld voor jaren apparatuur hebben gestaan dat trillingen op het gebouw heeft uitgeoefend. Deze trillingen zullen bij een oorspronkelijk in evenwicht zijnde fundering 'op staal' veroorzaken dat deze langzaam verzakt. Dit is een gebruiksprobleem. Noch de fundering, noch de dunne betonvloer werden ontworpen op de trilling-belasting van huishoudelijke apparaten. Dit is de meest waarschijnlijke oorzaak van de grote scheuren in de muren van de bijkeuken[367]. Dit hadden de schade inspecteurs niet geconstateerd.

[367] Een (sterke) aardbeving duurde anno 2012 ongeveer één seconde. Met ongeveer 50 kleine bevingen gedurende dat jaar is de beving belasting hooguit 1 minuut, wel voldoende om kleine zettingen in de fundering te veroorzaken. Een ouder type wasmachine die de centrifuge aanzet, draait minstens 5 minuten. Met één keer per week één was draaien is dat >250 minuten per jaar, dus ook **250 x zoveel trilling belasting dan alle aardbevingen bij elkaar**. In 10 jaar is de belasting dan minimaal 2000 keer meer belastend dan alle grotere bevingen die zich tot 2012 hebben voorgedaan.



Figuren 11-10. Straatgevel werd eerder hersteld. De achtergevel staat meer onder invloed van de wasmachine. Extra aardbevingsbelastingen kunnen daar iets aan toegevoegd hebben. Na de inspectie werd besloten om de hele achtergevel en die fundering te vervangen.

Het is goed mogelijk dat er in de betonvloer van het plafond aan de bovenkant haarscheuren zitten en dat deze betonvloer onder spanning om de topgevel overeind het houden. Vanwege de vloerafwerking op de verdieping werd dit niet gecontroleerd. De stempels in de foto's van *Figuur 11-5*, zullen voorkomen dat het wapeningstaal in deze betonvloer te veel op trek wordt belast en gaat vervormen. De tekening van de betonvloer dateert uit 21-10-1963 en het wapeningstaal is dus waarschijnlijk glad betonstaal dat een hoge rek toelaat (F = 190 N/mm^2).



Figuur 11-11. Glad betonstaal met hoge rekgrens. De 10 cm dikke betonvloer uit 1963/4 heeft een negatieve wapening over de gangmuur en loopt door in het balkon. Omdat de bijkeukenvloer verzakt is, blijft het metselwerk boven de bijkeuken ramen aan de betonvloer hangen. De dunne gangmuur wordt door het wegvallen van het draagvermogen van de gevel extra zwaar belast. Het risico is hier het bezwijken van die gangmuur, waardoor de etagevloer weer op de buitenmuur gaat dragen. Van instortingsgevaar is hier nog geen sprake.

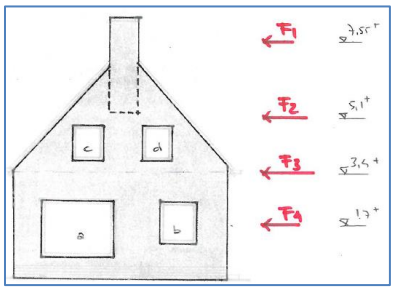
De algemene samenhang van het gebouw is goed vanwege de 10 cm dikke gewapende betonvloer die op alle binnen spouwmuren en binnenmuren is opgelegd. Deze verdiepingsvloer vertegenwoordigt een stijf diafragma in de twee loodrecht op elkaar staande richtingen. Het gebouw is in plattegrond vrijwel symmetrisch en er zal daarom geen torsie optreden tijdens een aardbeving. Seismisch gunstig.

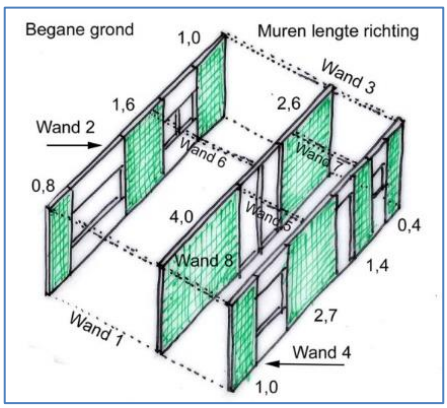
Het probleem van de verzakte gebouwhoek naast de kelder moet eerst worden verholpen voordat er sprake is van een algehele seismische versterking. Het opnieuw funderen en opmetselen van deze gebouwhoek moet dus eerst gebeuren vóórdat het gebouw als geheel kan worden versterkt. Bij deze maatregel behoren het vernieuwen van de regenwaterafvoeren en het verhuizen van de septic-tank.

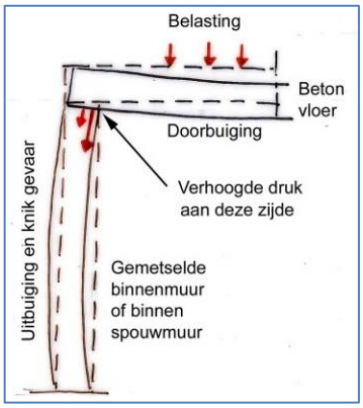
Figuur 11-12. Opdrukken van de vloer is mogelijk.
Er bestaan verschillende methoden om verzakte vloeren en funderingen op te drukken. Diepe injectie kan hier niet mogelijk zijn (slappe kleigrond), en zou bij deze woning onder de hele fundering van de woning plaats moeten vinden.

11.2. Seismische versterking

Seismische gebouwbelastingen zijn horizontaal en verticaal. Deze horizontale krachten moeten in het vlak van muren worden opgevangen. De onder de vloer staande binnenmuren en binnen spouwbladen hebben echter deur- en raamopeningen die de sterkte beïnvloeden. Het gebouw heeft in de lengterichting (Y-as) drie muren; wand 2, wand 8 en wand 4, en in de X-as wand 1, wand 6 en wand 3.







Figuren 11-13. Seismische versterking. Dit is noodzakelijk voor de fundering en de muren.

In Hoofdstuk 6 Versterking van Muren, werd van deze woning de berekening van de binnenmuren aangegeven, ten behoeve van het opnemen van de horizontale gebouwbelastingen. Een doorbuigende betonnen etagevloer kan bij verticale bevingsbelastingen een excentrische belasting op de buitenmuren geven (*Figuur 11-13 rechts*), en voor de binnenmuren extra belasting op de funderingen.

Bij een keuze voor seismisch versterken moeten de verschillende krachten worden opgevangen, overeenkomstig met de werkelijk optredende PGAg < 0,05 (na 2020). Echter, in 2014 bestond er het verkeerde idee dat toekomstige maximale aardbevingen zouden kunnen oplopen tot een PGAg 0,42 in het epicentrum (gemeente Loppersum), en ongeveer PGAg 0,32 ter plaatse van deze woning. Op basis van deze onwaarschijnlijk hoge theoretische belasting werd er een ontwerp gemaakt met een doorlopende funderingsplaat en de reconstructie van de hele achtergevel.

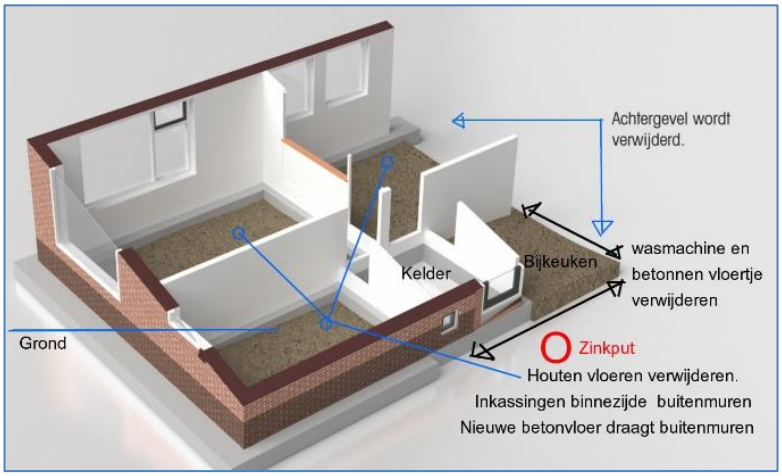
De doorlopende funderingsplaat is in alle versterkingsoperaties een logische operatie, want bij deze woning is de fundering het zwakke element. Dat zal ook in 2021 het geval zijn. Om de betonnen stroken fundering overal te verbreden, ook onder de binnenmuren, is waarschijnlijk meer kostbaar dan een doorlopende fundering onder het gebouwtje te maken. Het keldereffect met de plaatselijke betere draagkracht wordt dan geneutraliseerd, want de hele nieuwe platformvloer draagt dan veel beter.

Omdat in 2021 de aardbevingsbelastingen onder de PGA*g* 0,05 uitvallen, zijn bij dit modelwoning de raampenanten rondom het gebouw voldoende breed en sterk om de belastingen van het zoldervloer diafragma op te vangen, met uitzondering van de verzakte achtergevel, vooral rondom de bijkeuken.
Het aan de binnenzijde versterken en isoleren (+15 cm PIR = Rc 3,7 m^2.K/W) van de buitenschil zal de begane grondvloer van de huidige 50 m^2 met ongeveer 5 m^2 verkleinen, hetgeen relatief veel is. Op de

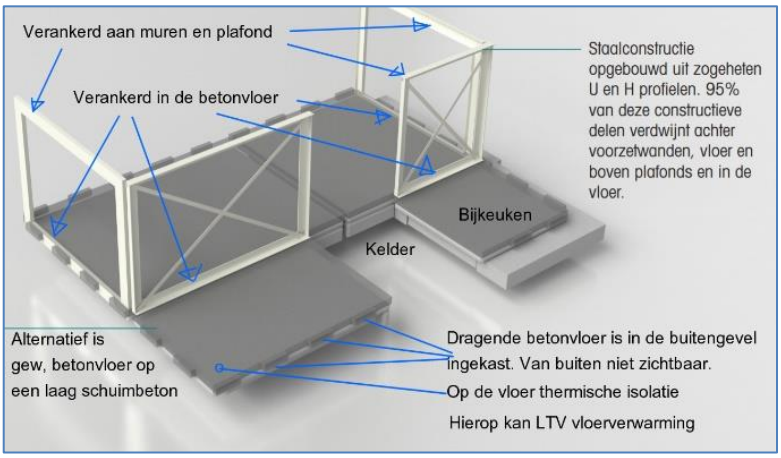
etage wordt het dan slechts 2 m^2 kleiner. Samen met de spouwmuur na-isolatie wordt de buitenschil dan ongeveer Rc = 5,0 m^2.K/W en voldoet dan aan de 2021 BENG norm-waarden.

11.3. Uitgevoerd versterkingsprogramma

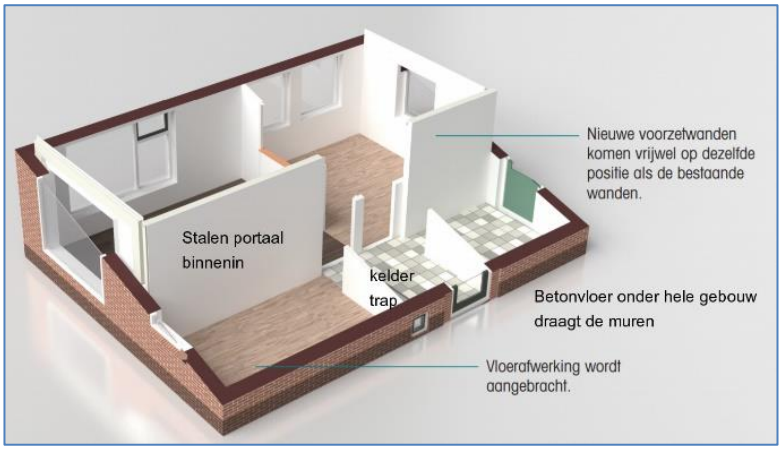
Op basis van dit hoge jaar 2014 NPR-waarde van PGAg 0,32 voor de gegeven locatie, werd er een versterkingsplan opgesteld. De volgende 3D-ontwerpen van Arcadis lichten dit toe.



Figuur 11-14. Hele achtermuur werd verwijderd. Ook de hele houten begane grondvloer wordt verwijderd. Net boven de bestaande betonnen balken van de fundering worden inkassingen in de muren gemaakt. Op de zandgrond, afhankelijk van de hoogte van de kruipruimte wordt een laag gasbeton (schuimbeton) gestort tot aan de inkassingen.



Figuur 11-15. Negatieve wapening in de vloer.
Deze komt In de bovenkant van de betonvloer en boven in de inkassingen. Ook onder de binnenmuren wordt deze negatieve geplaatst. In de betonvloer kunnen ankers geplaatst worden waar de portalen aan worden bevestigd. De portalen zijn strak tegen de buitenmuren aan geplaatst.[368]

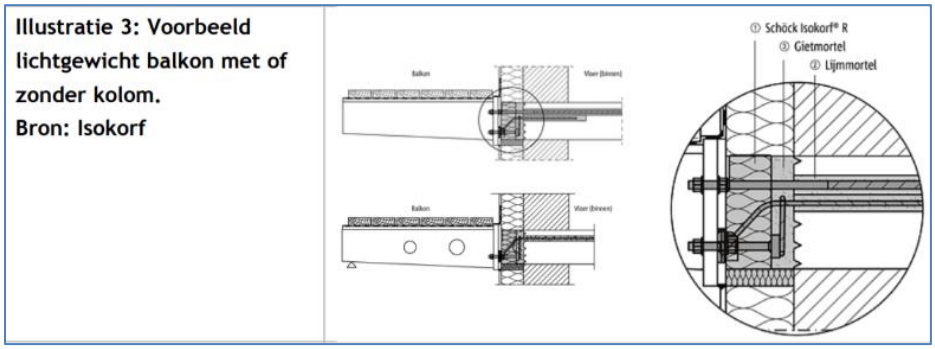


Figuur 11-16. Stalen binnenmuur portalen.
Dit belemmert wel de toekomstige aanpassing(en) van de woning.
Tegen de buitenmuren komt een houtskelet constructie om deze te versterken. Ook op de etage wordt de borstwering versterkt.

[368] Het is ook mogelijk om de betonnen etagevloer te stempelen en de hele binnen muren te vervangen. Met de portalen op de plaats van de binnenmuren worden deze dan afgewerkt met voorzetwanden.

De achtergevel werd geheel vernieuwd vanwege de grote horizontale scheuren in de gevel en het balkon dat constructief aan de etagevloer zit vast gestort. Het balkon was verweerd.

Figuren 11-17. Detail van ingeklemd balkon. De bouwtekening van figuur 11-11 laat zien dat het aan de vloer is vast gestort. De slechte staat gaf aanleiding om het balkon niet te reconstrueren.



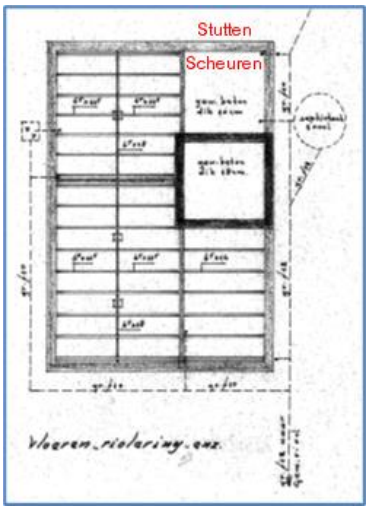
De bovengenoemde methode was gebaseerd op de verantwoordelijkheid van de schadeveroorzaker om het gebouw seismisch voldoende sterk te maken om de geprojecteerde toekomstige aardbevingen te kunnen weerstaan (zonder instorten) en de muren te herstellen. Met deze versterkingsoptie werd de woning wel structureel verduurzaamd in sterkte, maar niet of nauwelijks op andere manieren. Om deze woning in haar geheel te verduurzamen zijn nog een aantal maatregelen nodig zoals het goed thermisch isoleren[369].

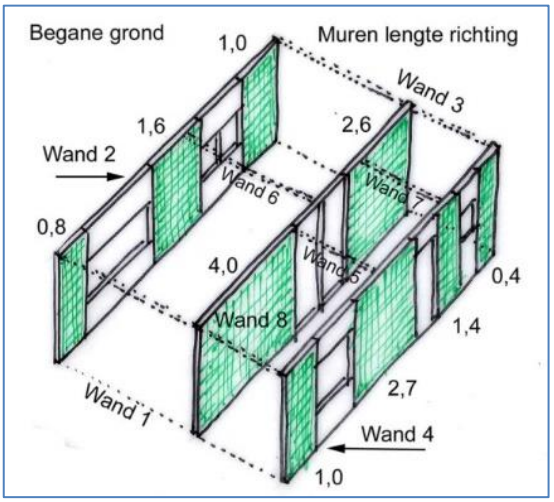
	Uitgevoerde maatregelen	Niet uitgevoerde maatregelen
1		Sonderingsonderzoek van de grond rond het gebouwtje
2		Analyse van het effect van de wasmachine en centrifuge
3		Navragen waarom de straatgevel van het gebouw werd vernieuwd
4		Verwijderen/vervangen/verplaatsen van de septic-tank die waarschijnlijk medeoorzaak is van de verzakkingen.
5	Verwijderen van de hele achtergevel inclusief balkon.	Permanent verwijderen van de twee schoorstenen op de topgevels.
6	Slopen begane grond vloeren en maken van een platform fundering	Rekening houden met de noodzaak om een LTV-vloerverwarming aan te leggen. Isoleren van de begane grondvloer.
7	Versterken van de binnenmuren, renoveren van de elektra leidingen	
8	Nieuwbouw geïsoleerde achtergevel	Vervangen van de topgevels boven de etage betonvloer met lichtgewicht geveltoppen.
9	Nieuwe aanleg van alle elektra en andere leidingen binnen het gebouw.	Aanleg van warmtepomp, balansventilatie of andere maatregelen voor verduurzaming.
10	Versterken van de binnenzijde van de buitenmuren met een houtskelet.	Isoleren van de buitenschil van het gebouw.[370] Het verbeteren van de isolatiewaarde van de ramen.

[369] Wanneer een woning structureel aanzienlijk wordt aangepast is het tegelijkertijd noodzakelijk om de isolatie aan te passen aan de laatste isolatienormen. Dit werd hier niet overwogen. Er was geen financieringsmodel ontwikkeld dat een totale verduurzaming mogelijk maakte.

[370] Het was op basis van de ontwerptekeningen niet te zien of er wel extra isolatie werd toegepast.

11	Binnen afwerking van de muren en nieuwe keuken.	Aanpassing van gang en het toilet als onderdeel in de bijkeuken.
12	Versterken van borstwering op etage.	Isoleren van de borstwering op de etage. Isoleren van het dak.
13		Vergroten dakkapel voor meer woonruimte op zolder. (Installaties).
14		Installatie PV of zonneboiler of PVT op het dak.
15		Regenwater afvoer niet in de riolering maar naar een zinkput.
16		Eindresultaat publiceren





Figuren 11-18. Vloer steunt niet op de buitenmuur. In wand 3 en in het einde van wand 4. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de belasting op wand 8 bij de aansluiting van wand 3 erg hoog moet zijn, omdat de etage betonvloer met het balkon aan de linkerkant hier op draagt.

Op basis van het uitgevoerde werk is de woning wel veel sterker geworden, maar niet thermisch verduurzaamd. Door de vloer en de muren niet tegelijkertijd optimaal te isoleren (m.u.v. schuimbeton ondervloer en de nieuwe achtergevel), komt de woningeigenaar straks voor extra kosten te staan als deze dit alsnog wil doen. In het slechtste geval moet dan eerst de muurafwerking verwijderd worden, geïsoleerd en later de muur opnieuw afgewerkt.

De woning (woonoppervlak 93 m^2) zal in 2014 zonder scheuren en zonder de grondwaarde (500 m^2) hooguit € 100.000 waard zijn geweest, terwijl de hele versterkingsoperatie (uitgevoerd in 2016) minstens € 200.000 zou kosten (zonder verdere thermische verduurzaming). Waarna de versterkte woning (zonder grondwaarde) dan in 2020 ongeveer € 150.000 waard zou zijn; dat is ongeveer de helft van oorspronkelijke waarde plus de kosten van de versterking (samen > € 300.000).[371]

Op basis van deze berekening lijkt het goedkoper om de hele woning te slopen en er een nieuwe, goed geïsoleerde woning (anno 2015) voor terug te bouwen; dat is € 150.000 goedkoper, maar er is dan veel meer vernietiging van bouwmaterialen (en daarmee meer CO_2-uitstoot voor nieuwe bouwmaterialen) dan met de versterkingsoptie. In het kader van circulair bouwen zou slopen en nieuwbouw erg nadelig voor het milieu zijn, wanneer in de provincie Groningen geen aannemers en bedrijven werkzaam zouden zijn in de circulaire bouw die hergebruik van sloopmaterialen kunnen optimaliseren. In beide situaties (versterken of slopen en nieuwbouw) zal de bewoner voor ongeveer een jaar andere huisvesting moeten hebben. Tenslotte zal een nieuwe bewoner nog eens minimaal € 50.000 moeten investeren om het te verduurzamen.

Het project werd enerzijds uitgevoerd als gebouwherstel voor de woningeigenaar en anderzijds als een testcase om te kunnen beoordelen in hoeverre of een dergelijke ingrijpende operatie wel economisch haalbaar zou zijn en makkelijk uitvoerbaar. Op eenzelfde manier werden er ook een paar andere woningen als gebouw typologieën versterkt met de toepassing van een volledige plaatfundering en zware metalen constructieve frames die aan de platform funderingsplaat werden vastgemaakt.

[371] Er werd later gesteld dat het slopen nieuwbouw overwogen zou moeten worden wanneer de herstelkosten met de eerdere woningwaarde meer dan 150% van de versterkte woning zouden zijn.

Dit voorbeeld geeft aan dat het versterken van veel gebouwen een complexe aangelegenheid kan zijn om eerst te bepalen wat precies de oorzaken van de schade zijn, vooral wanneer de oorzaken niet aan een enkel aspect toegewezen kunnen worden. De 2014 besluitvorming omtrent het al dan niet slopen en nieuwbouwen is daardoor dan ook vaak een emotionele beslissing.

11.4. Alternatief licht versterken

Vanwege de verlaging van de NPR9998:2020 tot PGAg <0,1 voor die locatie, zou een seismische versterking van dit soort woning volgens die NPR niet meer nodig zijn, maar de woningeigenaar zit dan nog wel met hele grote scheuren in de achtergevel en kleine scheuren op andere locaties. Het is vooral de achtergevel met onderliggende fundering die verzakt is, o.a. door de wasmachine in combinatie met de verdiepte kelder en wellicht de lekkende septic tank en regenwaterafvoer. Die factoren hebben weinig met aardbevingen te maken, maar kunnen wel iets verergerd zijn door extra trillingen.

Met de bestuurlijke regeling van 6 november 2020 zullen andere woningeigenaren kunnen kiezen tussen het voorgestelde VersterkingsAdvies (VA) of opnieuw berekenen en een beperkte vergoeding krijgen, waarmee ze zelf dan kunnen besluiten welke maatregelen ze al-dan-niet willen toepassen. Bij de optie 'opnieuw uitrekenen' kan zonder versterking de woning bij nieuwe lichte bevingen toch wel weer scheuren oplopen. In dat geval heeft de woningeigenaar slechts € 30.000 voor reparaties en licht versterken. In alle gevallen heeft de woningeigenaar geen financiering voor de verduurzaming.

De meest voorkomende opties zijn:

Uit te voeren versterkingsmaatregelen		Uit te voeren isolatiemaatregelen	
1	Nieuwe gesloten septic tank aanleggen op minstens 3 m van de gevel vandaan.	A	Isoleren begane grond vloer tot Rc = 3,7 m^2.K/W
2	Vervangen en verleggen van de oude gresbuizen door PVC-riolering langs de woning.	B	Aanleggen LTV-vloerverwarming, aanpassen deuren.
3	Aparte regenwater afvoer naar zinkput op 5 m van de gevel vandaan.	C	Nieuwe topgevels isoleren met Rc = 4,7 m^2/K/W.
3	Opdrukken van achtergevel fundering door de toepassing van grond injecties of vul-paletten.	D	Spouwmuurisolatie (Rc subtotaal 1,7 m^2.K/W.)
4	Verbeteren/verbreden van de fundering waar nodig	E	Nieuwe elektra en keuken op de binnenzijde van de buitenmuren.
5	Verwijderen van bakstenen topgevels en schoorsteen boven de etagevloer.	F	Binnenzijde buitengevels isoleren met +Rc = 3.0 m^2.K/W tot totale muurisolatie van Rc 4,7 m^2.K/W
6	Nieuwe lichtgewicht topgevels in houtskelet en weervaste buitenbekleding.	G	Triple glas in kozijnen Ug 0,5 W/m^2.K of Rg 2 m^2.K/W Beoordelen van ventilatie opties.
7	Binnenzijde buitengevels versterken met licht houtskeletbouw waar nodig	H	Nieuwe keuken en toilet inrichting op geïsoleerde binnen muren.
8	Binnenmuren versterken met GVTW waar nodig en elektra binnenmuren aanpassen	I	Balans ventilatiesysteem met WTW en CO_2-sturing.
		J	Dakisolatie verhogen naar Rc = 7 m^2.K/W
		K	Warmtepomp, PV of PVT-panelen, zonneboiler

De situatie die in de vorige paragrafen werd toegelicht, kan van toepassing zijn op veel woningen in de regio die eenzelfde bouw hebben, en meestal ook soortgelijke problemen. Dit ondersteunt de aanpak van de typologie methode, waarbij er minder begrotingstijd nodig is en er sneller maatregelen genomen kunnen worden.

Figuren 11-19. Bakstenen geveltop is kwetsbaar. Links. Hier moet de schoorsteen verwijderd worden. Deze geveltop kan vervangen worden door een houten geveltop. Rechts. Hier moet de schoorsteen binnen en buiten verwijderd worden.

Wanneer de versterking van deze kleine woning in de voorgaande paragrafen niet door een externe partij was gefinancierd, is het waarschijnlijk dat die eigenaar de uit te voeren versterkingsmaatregelen en isolatiemaatregelen niet zomaar kon financieren zonder externe deskundigheid en een goed toegankelijke financieringsbron.

11.5. Bungalow met twee vloerhoogten

Het tweede voorbeeld betreft een bungalow die met de 16 augustus 2012 Huizinge aardbeving flinke schade opliep. Het dak boven de woonkamer liep het risico dat het bij een volgende soortgelijke beving kon instorten. In de woonkamer werden steigers geplaatst om het dak omhoog te houden.

Figuren 11-20. De bungalow zonder en met stutten. Foto's van vóór de aardbeving. Rechts. De steigers waren na de aardbeving noodzakelijk om het naar buiten vallen van de terras-pui tegen te gaan. In de woonkamer stonden ook stempels. De dakconstructie was te zwak/slap en werd extra belast door de PV-panelen. Dak buigt door onder de PV. Dit was te zien aan de verhoogde pootjes onder de panelen.
De bungalow inclusief zijvleugel van twee etages was gebouwd in 1971 en gesloopt in 2015.

De bouwperiode van deze woning kenmerkte zich door matige kwaliteit. Wanneer de bouwkundige detaillering niet is doorgerekend op sterkte en er sprake is van onvoldoende toezicht op de uitvoering, kan een dergelijke woning structurele gebreken hebben die bij een aardbeving geaccentueerd worden.

Bij deze woning waren drie grote bouwkundige gebreken:

A. De dakspanten en dakbeschot over de woonkamer waren te licht uitgevoerd en doorgebogen. Dit was onder meer te zien aan de langere pootjes onder de recent geplaatste zonnepanelen boven het linker gedeelte.
B. De dakspanten waren niet goed op de centrale schoorsteen opgelegd en ook niet aan de schoorsteen verbonden. Bij de beweging van de gevel werden ze uit de schoorsteen getrokken.
C. De invul grond naast de kelder en onder de gang was niet verdicht en de gangvloer droeg niet op de binnenmuren maar op de grond. Er was daar geen kruipruimte.

Figuren 11-21. Goot en glazen pui uitgebogen. Deze loopt langs het terras en buigt naar rechts, naar buiten.

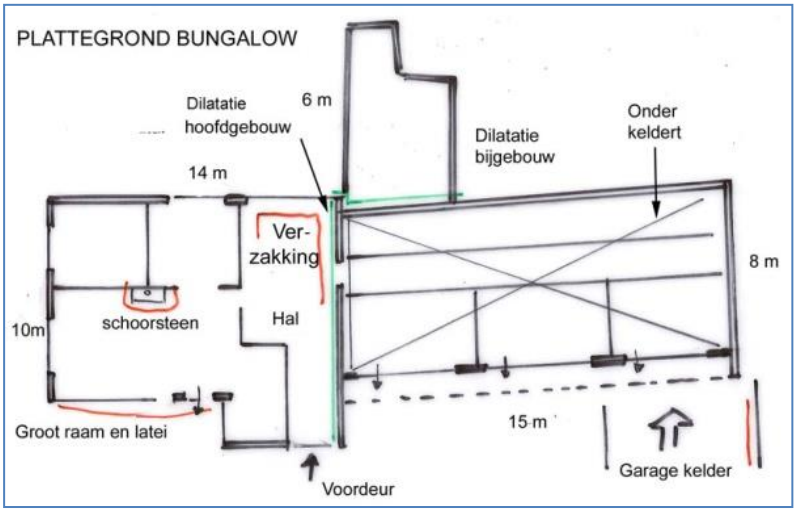
<u>Onder.</u> Te dunne dakbalken en spanten hebben geen of geen goede verbindingen aan de centrale schoorsteen/muur in de woonkamer. Door het wijken van de pui werden de balken van de te korte oplegging getrokken (foto <u>rechtsonder</u>).

Naast deze bouwkundige gebreken waren er ook seismische onvolkomenheden:

D. Het gebouw bestaat uit twee verschillende delen die samen een onregelmatige plattegrond en gebouwvorm hebben en daarom van elkaar <u>gedilateerd</u> moeten zijn. Bij horizontale trillingen zullen hierdoor bij deze gebouwvorm extra grote spanningen ontstaan.

E. De fundering van het woongedeelte is hoger aangelegd dan het gebouwdeel met de slaapkamers en garage, waardoor er een <u>verschil in gronddraagvermogen</u> ontstaat. Bij verticale trillingen resulteert dit in zettingsverschillen tussen de gebouwdelen.

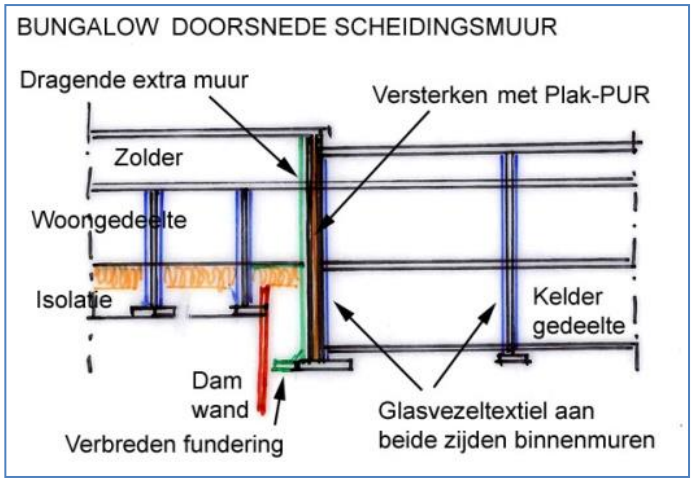
F. Het in een lage helling geconstrueerde plafond-dak boven het woongedeelte was <u>niet als een diafragma</u> uitgevoerd en had <u>onvoldoende verbinding</u> met de muren. (zie ook B.)
G. De binnenmuren zijn <u>halfsteens en kunnen geen seismische belastingen</u> opnemen.
H. De raampenanten zijn niet gelijkmatig over de zijmuren verdeeld, waardoor in delen van het gebouw <u>torsie</u> zal optreden.



Figuur 11-22. Plan lager aangelegd rechtergedeelte. Spouwmuren aan de buitenkant en de halfsteens binnenmuren.
De rode lijnen geven de schade zones aan. De groene lijn geeft de noodzakelijke dilataties aan.
De dilatatie betekent dat er een extra constructie (muur?) gemaakt moet worden om het dak te dragen.

In de bouwperiode van de jaren-70 functioneerden halfsteens binnenmuren als onderdeel van de dragende constructie en de gebouwstijfheid tegen zware windbelasting. Deze halfsteens binnenmuren zijn echter niet sterk genoeg om dwarskrachten van een aardbeving in het vlak van de muur op te vangen en moeten daarom versterkt worden. De open gevels aan de zuidkant zullen bij een beving in de lengterichting van het gebouw torsie veroorzaken. Het constructief niet meetellen van de halfsteens binnenmuren is geen optie, omdat dan de niet-ondersteunde horizontale lengte van de spouwmuren groter wordt dan tweemaal de vrije hoogte.

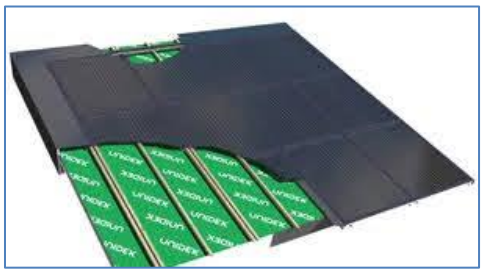
Het hoogteverschil in de fundering, gecombineerd met de matige kwaliteit van de uitvoering uit de jaren-70, veroorzaakt zetting van direct op de grond gestorte fundering strips (‘op staal’) en verzakking van de vloeren (op invulgrond). Seismisch dilateren langs de scheidingsmuur vereist een additionele draagconstructie om het dak te ondersteunen (groene lijn in schets). Omdat de scheidingsmuur op dezelfde diepte is gefundeerd als het rechter gedeelte zou een seismische dilatatie het best links van deze muur kunnen plaatsvinden. In dat geval dient de hal-vloer verwijderd te worden, de funderingen van de hal binnenmuur gestabiliseerd (damwand, rode lijn), en daarna de dilatatie op een aanvullende fundering strook gezet (groen).

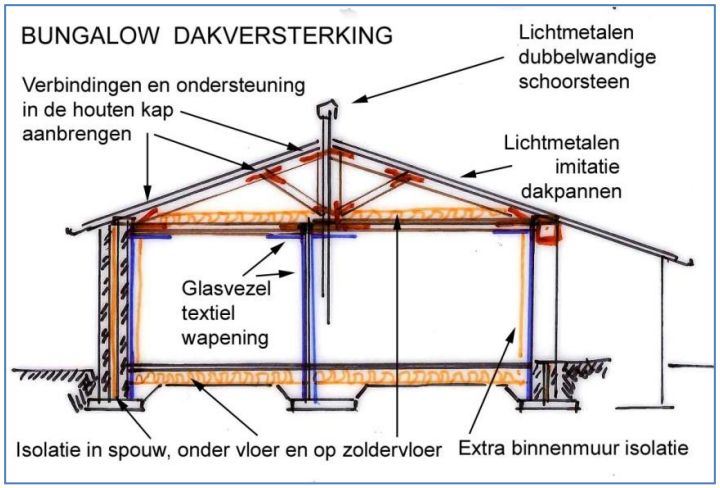


Figuur 11-23. Doorsnede midden over de woning.
Het rechter slaapgedeelte, kleder en garage heeft de minste schade en behoeft weinig versterking. Tussen het twee-etage slaapgedeelte en het woongedeelte moet een dilatatie en nieuwe dak-draagconstructie komen.

Omdat in het schaderapport is aangetoond dat de kapconstructie te zwak is uitgevoerd, blijft het versterken en verankeren van bestaande spanten wel nodig. Voor een vermindering van de belasting zijn er de volgende opties:

A. Het verwijderen van het gewicht van de zonnepanelen, en de dakpannen vervangen door een lichtgewicht metalen dakbedekking[372] of Ruberoid of EPDM[373]. Bij een dergelijke oplossing is het goed thermisch isoleren van het nieuwe dak wel nodig. Dit geeft tevens een hogere belasting. Buitenzijdige schoorsteen vervangen.
B. Toepassen van integrale en goed geïsoleerde dak-elementen met dak-folie PV. Dit is de meest economische oplossing.
C. Wanneer direct onder het dak niet geïsoleerd wordt kan er boven het plafond geïsoleerd worden, hetgeen ook een economische oplossing is.





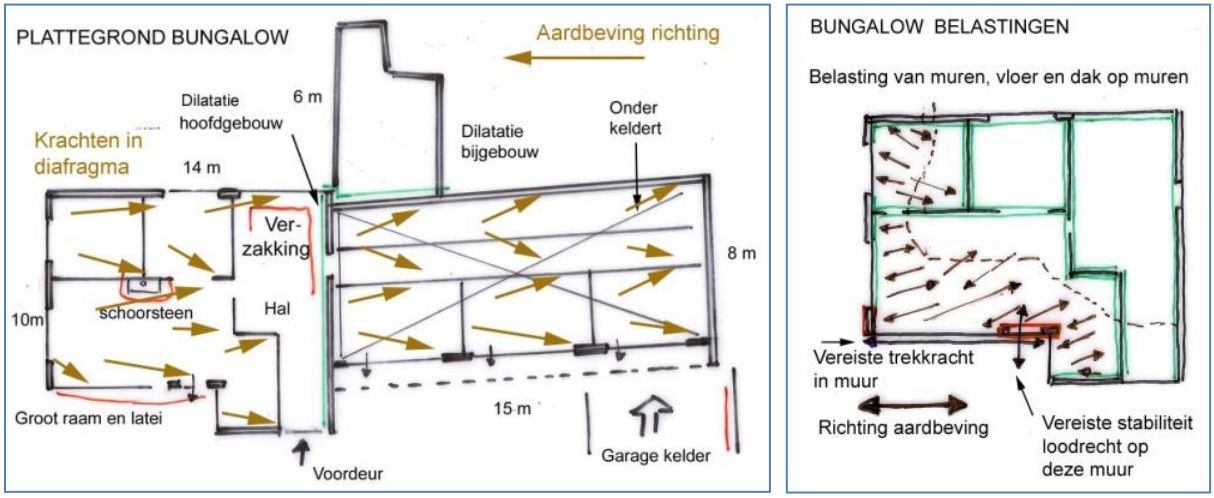
Figuren 11-24. Zelfdragende lange dakpanelen met PV.
<u>Boven</u>. Grote, lange, zelfdragende en goed geïsoleerde dakpanelen zijn voorzien van PV-cellen.
<u>Rechts</u>. Gordingen zijn hier niet getekend.
Met spanten versterken is als verdere isolatie optie het isoleren op het plafond van de woonkamers.

Figuur 11-25. Latei boven de terrasramen maken. Deze moet aanzienlijk versterkt worden. Zonder de dak belasting, moet de uitgebogen latei boven het grote raam teruggedrukt worden én horizontaal versterkt, én het plafond diafragma moet versterkt worden. Daarna kan pas het dak gereconstrueerd worden.

11.6. Veranderen van raam/deur-indeling ter versterking

De terrasgevel (*Figuur 11-20*, linksboven, rechts van de vlaggenmast) is vanaf de hoek sterk verzwakt vanwege de combinatie groot raam en terrasdeuren, terwijl de dwarsgevel (links van de vlaggenmast) ook een groot raam heeft. Een groot gedeelte van de krachten van het plafond en dak van de woonkamer moeten door deze hoekconstructie worden opgevangen. Het seismisch versterken kan geschieden door de terras zijdeur te laten vervallen en dat muurgedeelte met fundering aanzienlijk te versterken. Ook het stukje dwarsmuur met raam en fundering dient aanzienlijk versterkt te worden.

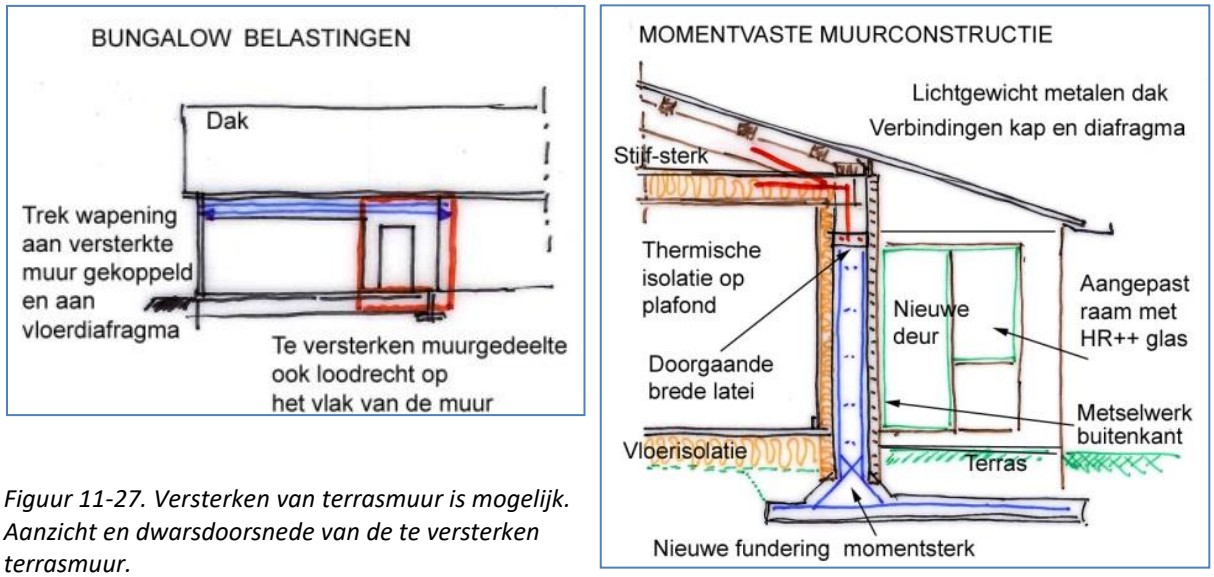
[372] Zie voor lichtmetalen daken bijvoorbeeld Stanacol® van: https://www.nautracom.com/dakpannen.htm en http://www.nieuwdakin24uur.be/overzetdaken/coversys-productinfo verschillende modellen en kleuren.
[373] Zie bijvoorbeeld http://www.aabosolar.nl/Nieuws-en-artikelen/Aabo-Eurostyle-Epdm-dakbedekking-met-gentegreerde-zonnepanelen.html http://www.dakdekkers.nl/pdf/folder_solar_epdm.pdf en http://www.solar-constructions.com/nl_bus_bipv.html



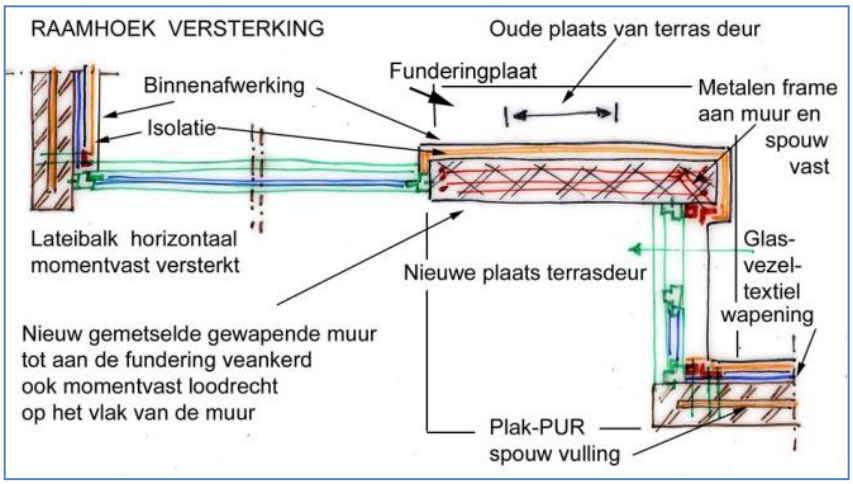
Figuren 11-26. Open façades zijn zwakke zijde. Hierdoor hebben beide gebouwdelen onvoldoende seismische sterkte. Door een sterk muur element in de linker terras façade te bouwen kan dit probleem daar worden opgelost.

Het grote raam in de zijgevel resulteert in een slank penant aan het muureinde. Door in die zijgevel een sterke, lang doorlopende latei in te bouwen met rvs-lintvoegwapening, worden de krachten op het rechtereinde van de muur teruggevoerd naar het brede penant aan de linkerkant van die muur. Dat wil zeggen als er een stijf plafond/dak diafragma is.

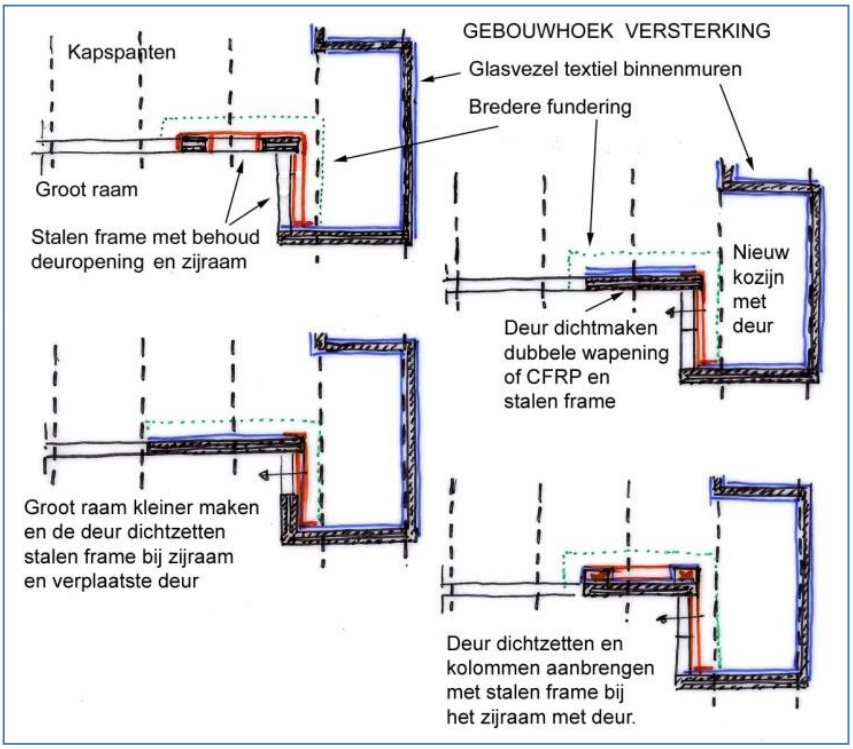
Door de deur van het terras naar het zijraam te verplaatsen kan de oude locatie worden vervangen door een volledig horizontaal en verticaal gewapend stuk metselwerk of momentsterk frame dat aan een bredere fundering is gekoppeld. Met de verplaatste deur in de zijkant, is een momentsterk stalen frame een additionele verbinding met de voorste buitengevel onderaan rechts. Dit frame moet dan aan de uitgebreide funderingsplaat gekoppeld worden.



Figuur 11-27. Versterken van terrasmuur is mogelijk. Aanzicht en dwarsdoorsnede van de te versterken terrasmuur.
Overeenkomstig de bovenstaande schets, kan een gedeelte van de terrasmuur worden opgetrokken als een momentvast element dat onder het terras verbreedt wordt zodat het zijwaartse krachten kan opvangen. Dit houdt een versterking van die fundering in met een verbreding tegen kantelen.
Tegelijkertijd moeten alle verbindingen in het dak goed worden uitgevoerd en een strek stijf plafond of dakdiafragma gemaakt.
Er zijn verschillende versterkingsopties mogelijk die allemaal ingrijpend zijn.



Figuur 11-28. Horizontale doorsnede over de pui. Schets van de nieuwe dwarsmuur. De optie van een constructieve oplossing is hier weergegeven.



Figuur 11-29. Binnenhoek opties voor zijdeur. Hoek versterking bij het terras. Met een extra versterkt element dat aan het sterke en stijve plafonddiafragma is verbonden. Links onder een versterkte wand met verbrede fundering onder het terras.

Wanneer de verticale wapening in het vlak van de muur ook momentvast in een nieuwe bredere funderingsplaat is verankerd kan deze muur ook krachten loodrecht op het vlak van de muur opnemen, waardoor het stalen frame in het zijraam klein kan blijven.

De optie van constructief sterke glaspanelen is hier niet mogelijk omdat de terrasdeuren aan de voorkant en zijkant open moeten kunnen. Het maken van sterke glaspanelen in de lange terrasdeuren kan de belasting van het dak loodrecht op deze gevel ook niet opvangen.

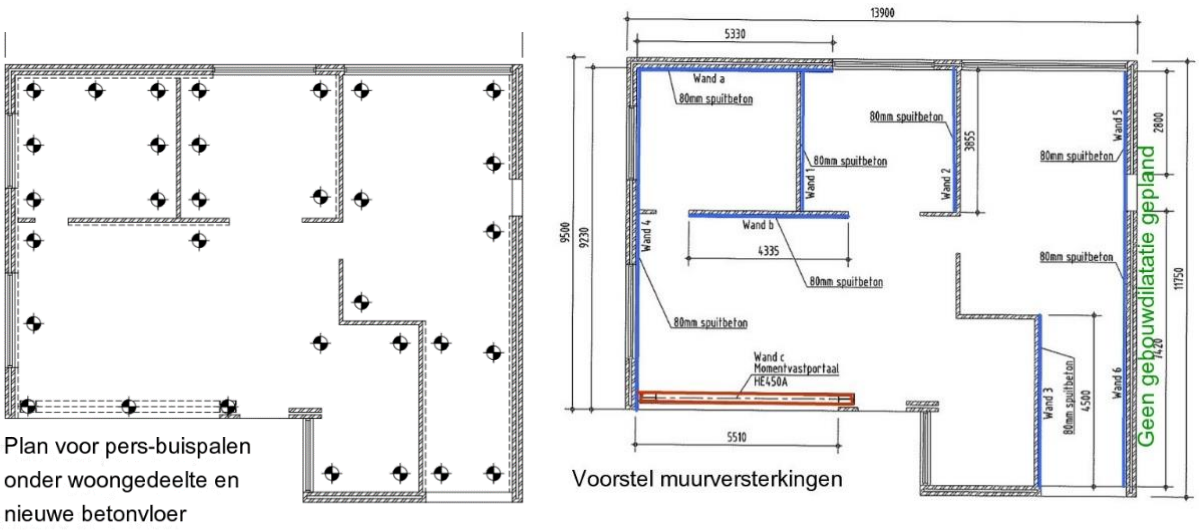
11.7. Het versterken van de dragende binnen- en buitenmuren

In 2014 werd na schademelding en schade onderzoek door een ingenieursbureau een herstelplan gemaakt op basis van de maximale PGAg in het epicentrum van PGAg = 0,42 en ter plaatse van deze woning PGAg = 0,32.

Vanwege de hoge aardbevingsbelasting werd gekozen voor:

	Geplande versterkingswerkzaamheden	Niet geplande/begrote werkzaamheden
1	Tijdelijk verwijderen van alle PV-panelen.	Het maken van gebouwdilataties.

2	Het verwijderen van de bestaande houten en tegelvloer van het woongedeelte	Herzien van vloerconstructie van slaapkamer vleugel (misschien niet nodig)
3	Plaatsen van perspalen volgens tekening	Controle van de fundering van het twee etage slaapkamer en garage gedeelte.
4	Maken van een betonvloer over de palen met verbindingen voor muren en portaal.	Vloerisolatie en optie voor LTV-verwarming
5	Aanbrengen van 8 cm spuitbeton op wapening op binnenmuren en binnen spouwmuren volgens plan. Nieuwe elektra leidingen.	Isoleren van de buitenschil muren/dak. Verbeteren van isolatie kwaliteit van de ramen. Verwijderen en herplaatsen van de keuken.
6	Plaatsen van een portaal over de hele lengte van de glazen pui van het terras.	Triple glas puien. Ventilatie van de woning
7	Extra dakspanten plaatsen en bestaande dakspanten versterken en verbetering van muur verankeringen.	Verstijving van plafond of dakvlak als diafragma.
8		Verwijdering van schoorsteen. Isoleren van het plafond of dak.



Figuren 11-30. Versterkingsvoorstel van aannemer. Deze zijn echter alleen van het woongedeelte.
De versterking was gepland met perspalen onder een betonvloer en gewapend spuitbeton voor de binnenmuren.

In dit eerste voorstel werden de halfsteens binnenmuren en het binnen spouwblad van de buitenmuren versterkt met 8 cm spuitbeton (massa). In hoofdstuk 6 Versterken van Muren, werd spuitbeton niet als een versterkingsoptie aangegeven omdat dit een zware methode is, (tegen zware aardbevingen), en niet voor de lichte soort bevingen in de provincie Groningen. Echter in 2014 was de constructeur verplicht met de toen geldende PGAg te rekenen.

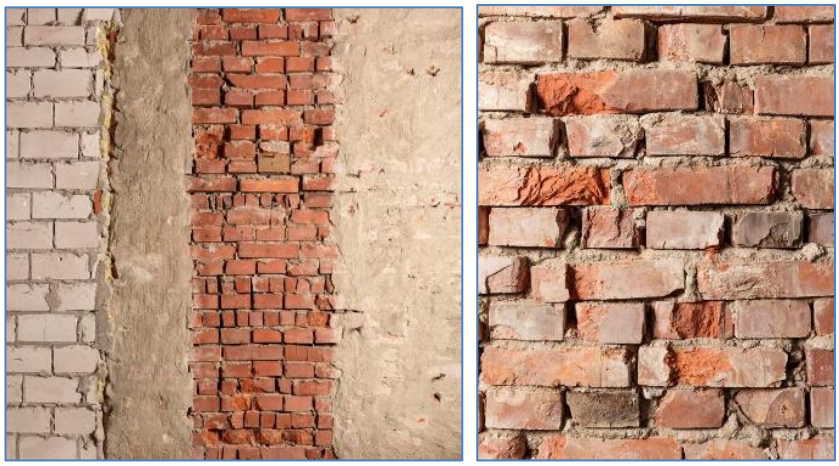
Figuren 11-31.
Spuitbeton toepassing.
Foto's 2011, door Appleton.

Uit document : http://www.civil.ist.utl.pt/~rbento/tmp/SEVERES/DTC-2013-HM-RB-Task6.pdf 10,6 MB

De voor- en nadelen van spuitbeton of *shotcrete* zijn:

a) Vanwege de toegepaste verwerkingstechniek is het slechts geschikt voor grote oppervlaktes. Dit is in deze kleine woning niet het geval.
b) Snelle werkmethode voor grote aaneensluitende grote oppervlaktes. Door het kleine oppervlak is dit niet het geval.

c) Kan makkelijk verwerkt worden wanneer het op maaiveld niveau wordt toegepast.
d) Zeer hoge sterktecapaciteit. De sterkte toename is groter dan de extra toename van de aardbevingsbelasting vanwege de extra massa.
e) Goede hechting bij onregelmatige oppervlaktes van de schoon gekapte muuroppervlaktes. Bij steens metselwerk van oudere gebouwen is het binnen oppervlak van de baksteen muur erg ruw. Wanneer er een zachte pleisterlaag op de binnenkant van de muren zit moet deze er eerst worden afgehaald.



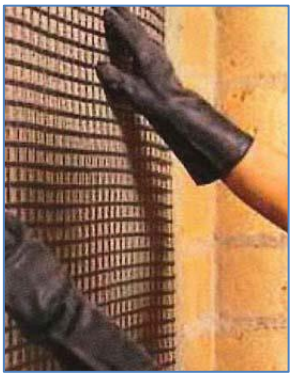
Figuren 11-32. Ruwe muuroppervlakten. Deze werden zichtbaar na de verwijdering van de afwerking.
Na het wegstrippen van de tengels van steens binnenmuren zijn de oppervlaktes vaak erg ruw en onregelmatig waardoor het opplakken van GVTW of CRFP pas mogelijk wordt na het egaliseren van de muren.

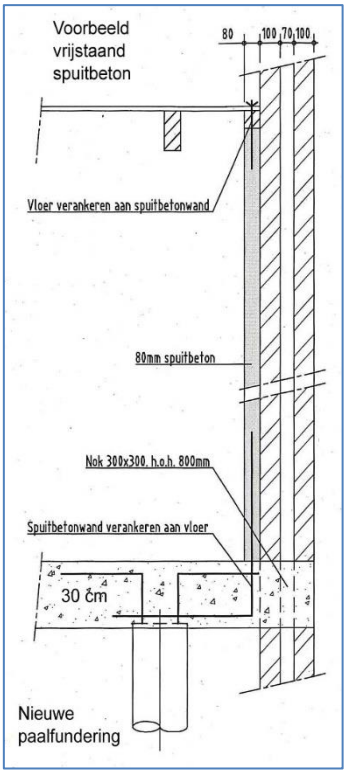
f) Vlechtwerk van betonstaal is aan te passen aan elke vorm muren, terwijl de toepassing van wapeningsnetten voor grotere oppervlaktes mogelijk is.
g) Integratie van staalprofielen en gewapend beton kolommen mogelijk. Niet aanwezig.
h) Sterke verbindingsmogelijkheden met betonnen (systeem) vloeren en met dwarsmuren. Deze zijn niet in de bungalow aanwezig.
i) Voorkomen van scheuren in het versterkte metselwerk door nieuwe aardbevingen.
j) Weinig toegevoegde ruimte aan de binnenkant van de muur (80 mm), echter dit is veel meer dikte dan bij glasvezel textiel wapening (GVTW) of CFRP. [374]
k) Nauwelijks toegevoegde isolatiewaarde. Dit betekent dat er behalve de dikte van 8 cm voor het spuitbeton nog eens 8 cm isolatie op de binnenkant moet worden aangebracht.

Figuur 11-33. Aanbrengen van perspalen.
Het schema van Figuur 11-30 geeft aan waar na verwijdering van de begane grond vloer de perspalen moeten komen. Op de perspalen komt dan een gewapend betonvloer die in de binnenmuren is ingekast. Zie volgende tekening.

[374] Het ruimtegebruik is weinig relevant omdat aan de binnenkant van het metselwerk van de buitenmuren meestal een aanzienlijke dikte aan thermische isolatie moet worden toegepast, vaak 15-20 cm dik om een Rc = 5 m^2.K/W te behalen.

Figuur 11-34. Spuitbeton of GVTW of CRFP.
In deze vrij lichte bungalow is de toepassing van GVTW een betere oplossing, zeker wanneer de cement pleisterlaag goed aan het metselwerk verbonden is. Bij de toepassing van GVTW zouden de binnenmuren allemaal tweezijdig versterkt moeten worden om te kunnen voldoen aan de minimumwaarden van de NPR voor structurele muren en de hoge NPR uit 2015.





<u>Rechts</u>. Deze tekening van het constructiebureau geeft slechts de technische oplossing weer zonder rekening te houden met de thermische isolatie. De dunne betonmuur maakt wel een goede verbinding met de vloer, maar dit is geen momentvaste constructie. Om de belasting loodrecht op de muur te verminderen moet het plafond als een diafragma worden uitgevoerd. Dit is niet weergegeven op de tekening.

Het verwijderen van de hele begane grondvloer van het woongedeelte was nodig, omdat in het ganggedeelte deze vloer was weggezakt, vanwege onvoldoende verdichting van de grond voor het storten van die vloer. Het ganggedeelte zit naast de dieper gelegen zijvleugel.

Deze gangvloer was niet in de tussenmuur opgelegd. In de begroting was nog geen dilatatie tussen de gebouwdelen opgenomen (wel nodig). De begrote kosten van de verschillende versterkingen op basis van de toen geldende NPR waren zeer hoog en aanleiding om het hele gebouw te slopen. De eigenaar van het gebouw zal gecompenseerd zijn voor de dagwaarde van het gebouw van vóór de schade.

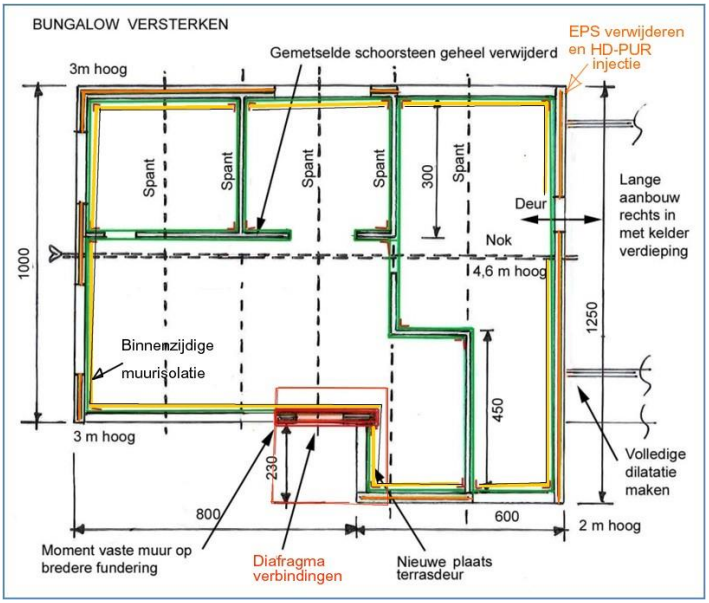
11.8. Alternatief van licht versterken van de bungalow

Vanwege de verlaging van de officiële NPR9998:2020 tot PGA*g* <0,05 zou nu een seismische versterking van dit soort woning niet meer nodig zijn, maar de woningeigenaar zit dan nog wel met een doorgezakte loshangende kap, uitgebogen terrasgevel en een weggezakte vloer. De spouwmuren waren hier nagevuld met EPS-korrels tot een Rc = 1,7 m^2.K/W.

De meest aangewezen opties zijn als volgt:

Uit te voeren versterkingsmaatregelen		Uit te voeren isolatiemaatregelen na versterking	
1	Verwijderen vloer in de gang en keuken gedeelte.	A	Isoleren b.g. vloer tot Rc = 3,7 m^2.K/W.
2	Maken van een dilatatie dwars door de woning met eigen fundering en draagconstructie dak.	B	Aanleggen LTV-vloerverwarming, aanpassen deuren.
	Verbreden van de funderingen onder de tussen-muren en onder de terrasmuur.	C	Verlichten van de dakconstructie en isoleren tot Rc = 7,0 m^2/K/W.
	Versterken van de lateiconstructie langs het terras	D	Warmtepomp, PV of PVT-panelen
3	Versterken dakspanten en aan de buitenmuren bevestigen.	E	Betere terras pui met Triple glas in kozijnen
	Elektra in en langs de muren aanpassen.	F	Isoleren slaapkamergedeelte. Vloer, muren, glas, daken.
	Binnenmuren versterken met GVTW.	G	Badkamer en keuken opnieuw installeren.
4	Rechtzetten terrasgevel met versterkingsoptie.		
5	Plafond of dakdiafragma maken.		
6	Maken nieuwe vloer in gang en keuken gedeelte.		

Als nieuwe begane grondvloer is het wellicht economische wanneer de hele begane grondvloer te vervangen wordt door een goed geïsoleerde systeemvloer zoals ⊥ balkjes met EPS-elementen. Als alternatief op een GVTW kan ook een licht houtskelet of C-profielen constructie aan de binnenzijde worden toegepast.



Figuur 11-35. Licht HSB of GVTW als opties. Bij een hogere aardbeving belasting bestaat de mogelijkheid om in plaats van een licht houtskelet constructie de binnenmuren tweezijdig te versterken met GVTW. In de situatie van tweezijdig versterken zal de keukeninricht eerst verwijderd en dan teruggeplaatst moeten worden. Dit kan ook problemen opleveren met het toilet, of badkamer.

*Figuur 11-36. EPS-vloerelementen op balkjes. Gelegd op **I** balkjes van metaal. In het onderhavige geval zou de hele woonkamervloer ook meegenomen kunnen worden en er een LTV op de vloeren kunnen worden aangelegd.*

De rechterzijde van het woongedeelte moet een nieuwe muur of andere dragende constructie krijgen om de dilatatie te maken en de dakconstructie te dragen. De binnenmuren moesten worden versterkt om de dwarskrachten op te vangen. De dakspanten moesten worden versterkt en er moest een dak-diafragma gemaakt worden. Onder het terras is een L-vormige fundering gemaakt waar het portaal in is verankerd. De twee etage zijvleugel van het gebouw (met kelder) werd niet meegenomen in de beoordeling. Feitelijk betekent dat half werk als ze het woongedeelte wel tegen de Mmax zouden versterken. In principe zou het slaapgedeelte dan niet instort-vrij worden gemaakt.

In de financiële analyse van een dergelijke woning kunnen er additionele kosten zijn die het resultaat zijn van de werkmethode. Een voorbeeld is het verwijderen en terugplaatsen van een keuken of badkamer. De wensen van de woningeigenaar kunnen ook invloed hebben over het al-dan-niet versterken of slopen en nieuwbouw. Voordat er een besluit genomen kan worden zijn er meestal 15 tot 20 gesprekken nodig tussen de verschillende partijen.

In dit geval werd er in 2015 meteen besloten (op basis van de NPR9998:2015) dat versterken veel te duur zou worden en werd de woning gesloopt.

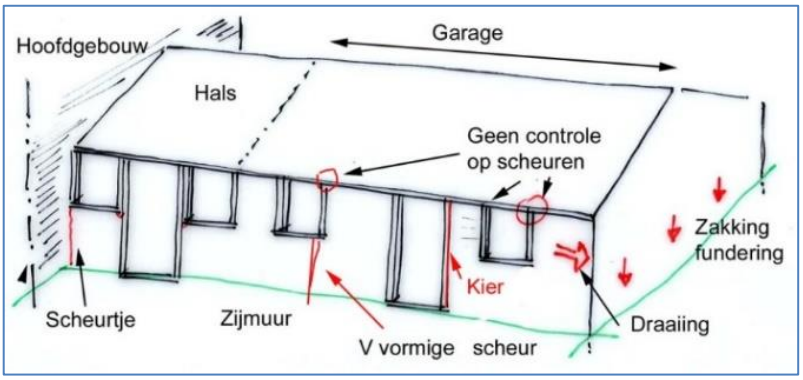
11.9. Garage op zandvulling achter de woning

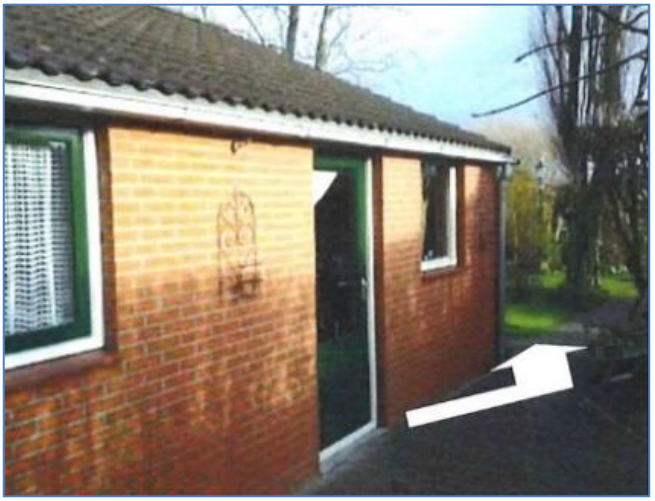
Dit derde voorbeeld van een schademelding is van een aanbouw/garage waar ook verschillende aspecten meespeelden in de schadebeoordeling en het vervolgtraject.

Het heeft lang geduurd (tussen september 2012 en medio 2014) [375] voordat er een voor de woningeigenaar accepteerbare beslissing was over de uitvoering van het muurherstel. De volgende partijen worden genoemd:

- Eigenaar = de gebouweigenaar die de garage heeft laten bouwen.
- Opnemer = de schade opnemer van een extern schade-expertisebureau.
- Contact = de coördinator of contactpersoon van de NAM.
- Begroter = het calculatiebureau dat een kostenberekening maakt van de reparaties.
- NAM = de organisatie die de kosten van de opnemer en de muurherstel rekeningen betaalt.
- Ingenieur = het ingenieursbureau dat de berekeningsvoorstellen maakt.
- Architect = het architectenbureau dat de verbouwtekeningen en de begroting maakt.
- Sondeer = het geotechnische bureau dat de sonderingen uitvoert.
- Expert = de aardbevingsdeskundige ingenieur.
- BoWoTo = Bouw en Woning Toezicht van de gemeente of provincie.

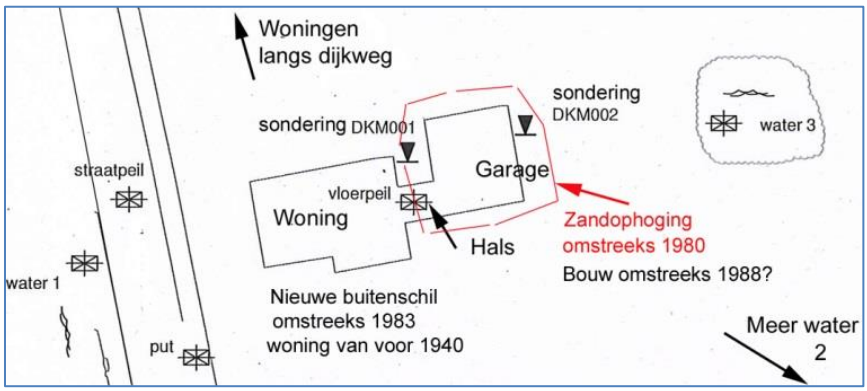
De schade aan de garage blijkt hoofdzakelijk over de verticale zetting van de fundering te gaan. De Eigenaar kwam pas in december 2012 aan de beurt voor een bezoek van de Opnemer, die door het Contact van de Nam werd aangesteld. Op basis van de opname werd door de Begroter een budget voorgesteld om de muren te herstellen.

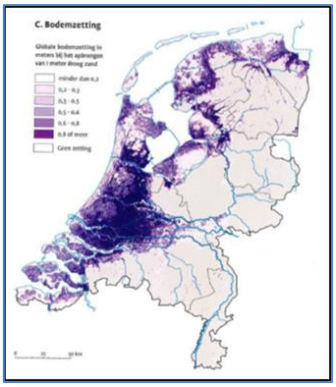




Figuren 11-37. Schets van aanbouw op zandpakket.
<u>Onder links.</u> Zijgevel van de aanbouw met foto's van de rechterkant van de aanbouw, V-scheur en draaiing.
<u>Onder rechts</u>. Zijaanzicht met verzakking van de achtergevel.

[375] Dit blijkt achteraf helemaal niet lang te zijn geweest. De meeste probleemgevallen duren meerdere jaren.





Figuren 11-38. Zandophoging van drie jaar oud. Deze was drie jaar voorafgaande aan de bouw van de garage gedaan. Links. Door sonderingen geconstateerde zandophoging. Rechts. Tekst van de afbeelding van Nederlandse kaart: ***C. Bodemzetting.*** *Globale bodemzetting in meters bij het ophogen van 1 m droog zand.*

De onderstaande acht issues worden hieronder in het kort uitgewerkt.

Issue 1. Een Opnemer is gecontracteerd om de schade aan het gebouw van de Eigenaar te beoordelen. De Opnemer had een **beperkte technische kennis** om alle aspecten die met gebouw- en bevingsschade te maken hebben te beoordelen. In 2014 werden er nog een groot aantal schaderapporten gemaakt, die een onvoldoende analyse van de oorzaken van de gebouwschade weergaven.[376]

Issue 2. De Sondeer organisatie is in zijn branche ervaren en gecertificeerd, maar werd slechts in een **late fase** bij dit schaderapport betrokken. In die late fase werd pas duidelijk dat de garage op een extra zandpakket was neergezet.

Echter, de Opnemer of de Sondeerorganisatie heeft geen putje naast de fundering gegraven om te zien of er voldoende brede fundering stroken onder de verschillende garagemuren liggen. Er is ook niet gekeken of de breedte van de fundering onder de zijmuren verschillend is van de breedte van de fundering onder de zwaardere achtermuur van de garage.

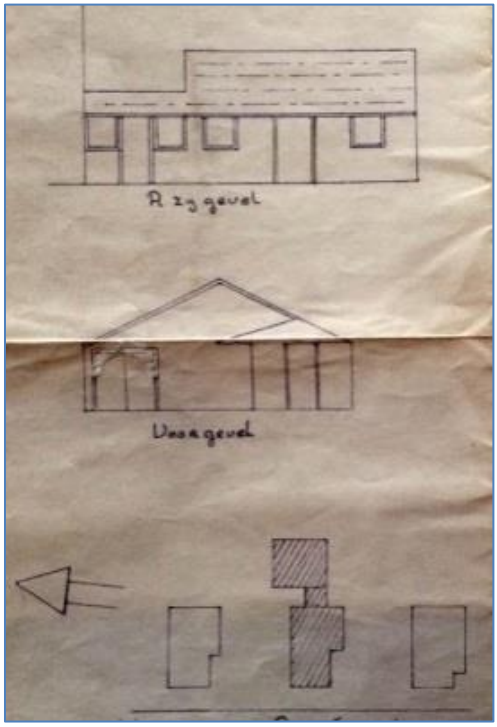
Het organiseren en uitvoeren van een paar sonderingen is een vrij kostbare zaak. Een ploeg die ter plaatse met een sondering bezig is, moet dan ook een paar putjes naast de funderingen graven om te kijken hoe breed de vertanding is of de funderingsstroken zijn.

De hoge in baksteen gemetselde achtermuur ontvangt ook de belasting van de betonnen dakpannen. De lage zijmuren met ramen (*Figuur 11-37*) zijn aanzienlijk lichter dan de achtermuur. Hierdoor is een zettingsverschil ontstaan tussen de fundering van de achtermuur en de funderingen van de zijmuren.

Omdat het zandpakket nog steeds aan zetting onderhevig is, is er ook enige zetting ontstaan tussen de woning en de garage als geheel. Hier zat geen dilatatievoeg.

Omdat de belasting van de achtermuur minstens tweemaal zo hoog is als die van de zijmuren, zou de fundering onder de achtermuur ook tweemaal zo breed moeten zijn als onder de zijmuren. Op het beschikbare schetsontwerp (*Figuur 11*-39) is echter géén fundering aangegeven. Ook is niet aangegeven hoe de dak-belasting via de spanten of anders op de lagere zijmuren wordt overgedragen. Een puntlast zal dan plaatselijk een verbreding van de fundering vereisen.

[376] Door het geven van bouwkundige trainingen op basis van verschillende case-studies en analyse, zou het inzicht van de Opnemers verbeterd worden, waardoor er minder discussies omtrent de rapportages ontstaan.



Figuren 11-39. Schetsontwerp van de aanbouw.
Dit was de enige informatie beschikbaar. Controle van de fundering aanlegdiepte en breedte. Zware achtermuur zonder detaillering fundering.

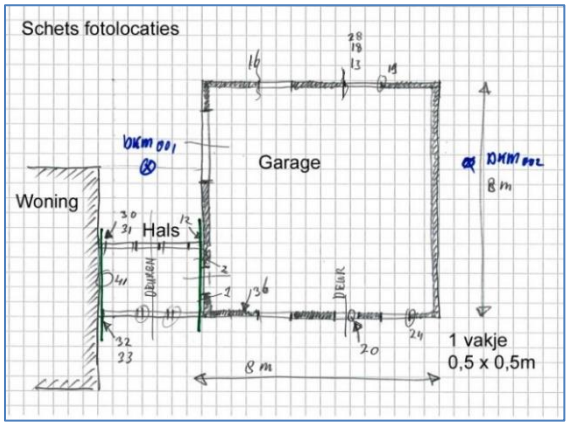
Issue 3. De **toevoeging van een zandpakket** achter het woonhuis en als ondergrond van de garage fundering is tijdens een oppervlakkige inspectie niet te constateren. Echter de Opnemer had kunnen constateren dat er achter de garage een watertje lag en even verderop een paar sloten. Omdat alleen in de garage scheuren zaten en niet in het veel oudere woonhuis, had de Opnemer bij de Eigenaar de bouwgeschiedenis van deze garage moeten navragen.

Het oude woonhuis (van vóór 1940) had een **andere architectuur** en gevelsteen dan de nieuwbouw van de garage (1983). De Opnemer had dit makkelijk kunnen constateren. Meestal heeft een fundering onder het oude woonhuis een uitgetande gemetselde fundering op staal, terwijl onder de nieuwbouw van de garage dan een modernere betonnen strook fundering is toegepast.

Aanbouwen zoals bijkeukens, schuren of garages zijn vaak van een latere datum dan het hoofdgebouw. Zettingen tussen een nieuwe aanbouw en het oudere hoofdgebouw zijn zeer veel voorkomend bij funderingen direct op de ongeroerde grond direct onder het maaiveld (‘op staal’). Indien er scheuren tussen het hoofdgebouw en de aanbouw zitten moet de bouwgeschiedenis worden nagevraagd. Ook hier kan het graven van putjes langs de fundering aangeven of de funderingen onder het hoofdgebouw en de aanbouw wel van hetzelfde type zijn. Bij verschillende funderingssoorten komt bijna altijd zetting verschil voor. Dit had de Opnemer moeten weten.

Issue 4. In 2015 bleek dat de slechte fundering door de vorige gebouweigenaar op het zandpakket was gebouwd. De nieuwe Eigenaar heeft de garage op de destijds al bestaande fundering gebouwd. Echter, er is geen fundering tekening aanwezig; ook de bouwtekening (*Figuur 11-39*) is zeer summier. De vraag is of er wel een tekening was die door Bouw en Woning Toezicht is goedgekeurd.
Met de summiere schets kan al geconstateerd worden dat de hogere achtermuur een grotere fundering belasting zal hebben dan de lage zijmuren. Een competente ambtenaar van BoWoTo zou

direct gezien hebben dat een identieke funderingsaanleg van de kopgevel en de zijgevels op de duur een zettingsverschil gaat opleveren, en de aangeleverde schets niet goedkeuren.



Figuren 11-40. Plan van het oude halsstuk. Tussen de garage en de woning. <u>Rechts.</u> Foto van onderzijde in de schets. Kleurverschil in baksteen en een andere bouwstijl en andere dakpannen duidt op een latere bouw.

Als de aanbouw vóór 1992 illegaal is uitgevoerd, is deze door het niet nalevingsbeleid van de controle op de bouwvergunningen in 2012 legaal geworden (20 jaar na datum). Het punt van de legale of illegale aanbouw is daarom niet meer relevant. Door de 20 jaar legalisatieperiode, is een aanbouw van 1983 met een eventueel te smalle fundering ook goedgekeurd.

Op basis van de ouderdom van de aanbouw kan men dus stellen dat het garagegebouw in ieder geval gelegaliseerd is; of de fundering te smal is voor de belasting doet er dan niet meer toe. Ook als op de bouwtekening een bredere fundering staat, maar deze is smaller uitgevoerd, is dat door verjaring en gebrek aan controle door BoWoTo gelegaliseerd.

<u>Issue 5.</u> Het Nederlandse grond zettingskaartje (*Figuren 11-38 rechts*) geeft aan dat er in de provincie Groningen veel gebieden zijn die minstens 30 cm grond zetting (of inklinking) zullen ondergaan bij een zandophoping van 1 meter. Dit was in 2009 al algemeen bekende informatie, dus ook ten tijde van de grondaanvulling en de aanbouw.

De vorige gebouweigenaar deed er daarom verstandig aan om niet direct de garage aanbouw uit te voeren, maar eerst de natuurlijke inklinking te laten geschieden, of dat de grond aanvullend mechanisch werd verdicht. Tenslotte is niet bekend of de vorige eigenaar wel een zware in baksteen gemetselde kopgevel in gedachten had; die fundering was wellicht bedoeld voor een houten gebouw. Bij een lichte HSB garage-aanbouw zou er geen of weinig zetting hebben plaatsgevonden. De besluitvorming om op de bestaande fundering een zware bakstenen kopgevel te plaatsen was onjuist.

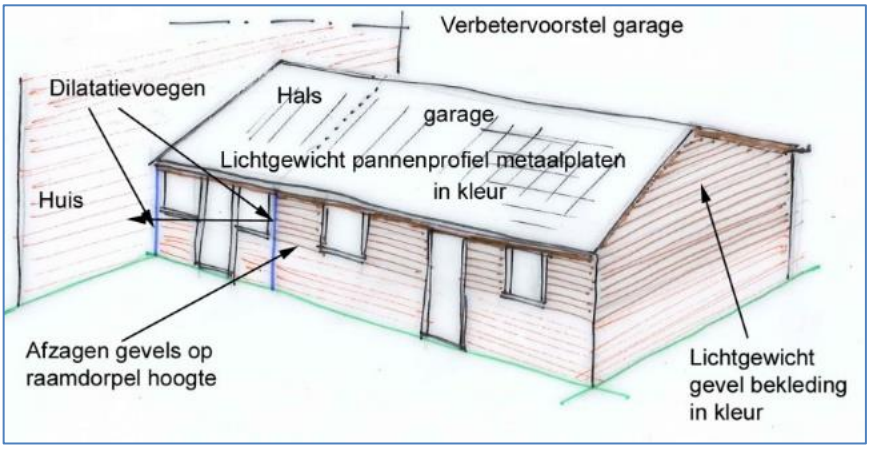
Als er sprake is van een groot tijdsverschil tussen oude en nieuwe bebouwing, of tussen de hoogtes of belasting van de oude en nieuwe aanbouw die op de vaste grond zijn gebouwd, is het essentieel om tussen de oude bouw en de nieuwe aanbouw een dilatatievoeg toe te passen die eventuele verticale zettingen kan opvangen. Verticale scheuren tussen hoge en lage bouwdelen en scheuren tussen nieuwe en oudere bouwdelen die op de vaste grond zijn gebouwd, zijn algemeen voorkomend.

Figuren 11-41. Zettingsverschillen in de aanbouw.
Lage aanbouw naast een hoger of ouder hoofdgebouw. Foto's van de inham en bovenkant van de schets 11-40 links.
<u>Midden</u>. Detail van de scheur tussen de ramen links.
<u>Rechtsboven</u>. Detail van de scheur bij de woonhuis aansluiting.

<u>Rechts.</u> Detail van de foto linksboven. Onder het raam is hier oud invulmetselwerk te zien in ouder steens metselwerk. Hier heeft dus vroeger een ander soort aanbouw gestaan met steens muren die grotendeels verwijderd werd.

Op basis van het bovenstaande kan men stellen dat de verticale scheuren tussen het oude hoofd-gebouw en de nieuwe aanbouwgarage niet bijzonder zijn en behoren tot gewone bouwscheuren, en hadden voorkomen kunnen worden door bij de bouw reeds een dilatatievoeg toe te passen.

Figuur 11-42. Aanpassing voor toekomstig gebouw. De bovenste ¾ van de achtergevel en ½ van de zijgevels verwijderen en er een houtskeletbouw bovenzijde op te bouwen. Daarmee zal de bestaande fundering voldoende draagkracht hebben. De zware beton dakpannen vervangendoor een lichtmetalen dak.



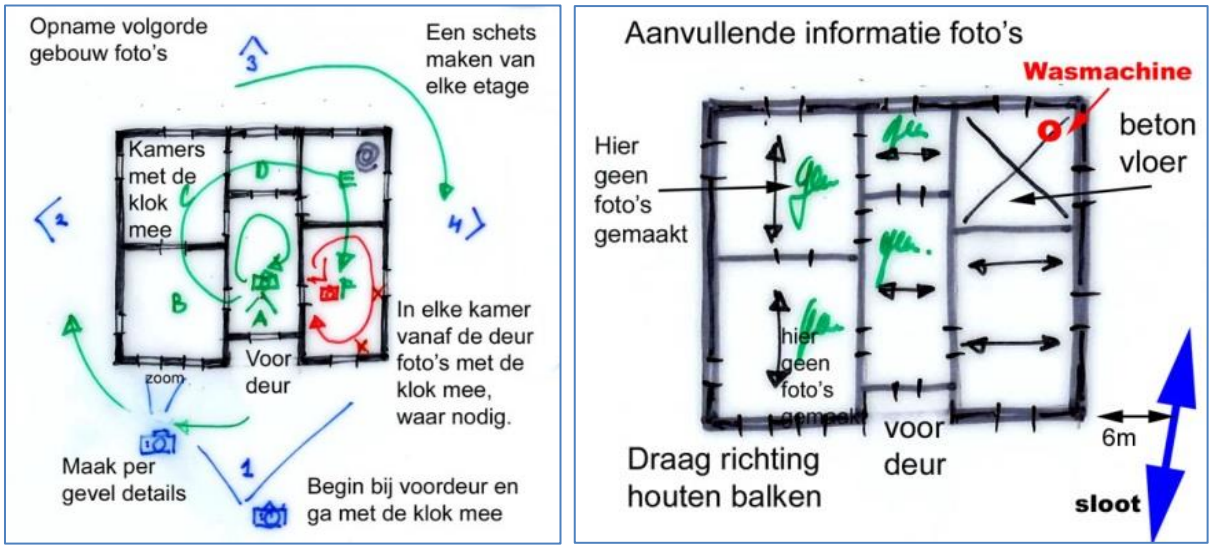
Omdat de Opnemer in 2012 beoordeelde dat het een aardbevingschade was (waarschijnlijk niet zo), heeft de Contactpersoon en de Begroter een kostenberekening van het muurherstel laten maken. Toen was de mening dat de fundering onder de zware kopgevel versterkt moest worden. Een van de basisregels van seismisch versterken (verkleinen van massa) werd hiermee niet gevolgd. Om een berekening te maken zijn hiervoor door de Contactpersoon een Architect én een Ingenieur aangesteld.

Op basis van de gegevens van de Sondering heeft de Ingenieur een vier palen fundering onder de achtergevel ontworpen (heel duur). Een dergelijke oplossing is seismisch gesproken ook een verkeerde beslissing omdat er dan twee verschillende soorten fundering onder dezelfde constructie komen te zitten en ergens anders na verloop van tijd scheuren gaan vertonen.

<u>Issue 6</u>**.** Het 2012 schaderapport van de (onervaren?) Opnemer is van slechte kwaliteit. Bij latere twee extra bezoeken zijn er extra foto's gemaakt, terwijl er geen complete overzichtsfoto's zijn.
Een reis naar de betreffende woning en een afspraak met de gebouw Eigenaar is een kostbare zaak en is vele male duurder dan om de eerste keer een **goede set foto's te maken en de locatie van de foto's**

op een plattegrond schets in te tekenen. Bovendien is elke keer een andere organisatie die een onderdeeltje komt bekijken ook belastend voor de Eigenaar.[377]

Sinds 2014 zijn er enkele trainingen gegeven voor Opnemers omtrent hoe er foto's gemaakt moeten worden. In 2015 is er een extra instructie beschikbaar van de Expert. Het systematisch maken van overzichtsfoto's en detailfoto's, met de klok mee rond het gebouw en binnen in het gebouw. Het aantekenen op een eenvoudige plattegrond van de locaties van foto's wordt hierin aangegeven.



Figuren 11-43. Systematische foto opnamen. Dit moet van het hele gebouw rechtsom gedaan worden, binnen en buiten.
Om een duidelijk dossier samen te stellen moeten de foto's systemetisch worden gemaakt. Goede aantekeningen voorkomen herhaalde bezoeken en daarmee hoge extra kosten en tijdverlies.
Tegenwoordige camera's en telefoons zijn van uitstekende kwaliteit, waarbij wazige foto's niet meer noodzakelijk zijn. Rechts. Oude foto uit 2012.

Omgevingsfoto's en schetsen moeten worden toegevoegd als die van belang kunnen zijn (bomen, water, wegen). De foto's moeten een minimale kwaliteit hebben. Omdat in een vroeg stadium geen schetsplattegrond van de waterrijke omgeving was gemaakt, was het niet duidelijk dat het hier om een zompig gebied ging. Pas na de schets van het Sondering bureau (*Figuur 11-38*) werd de algemene situatie bij deze garage pas duidelijk (september-2014).

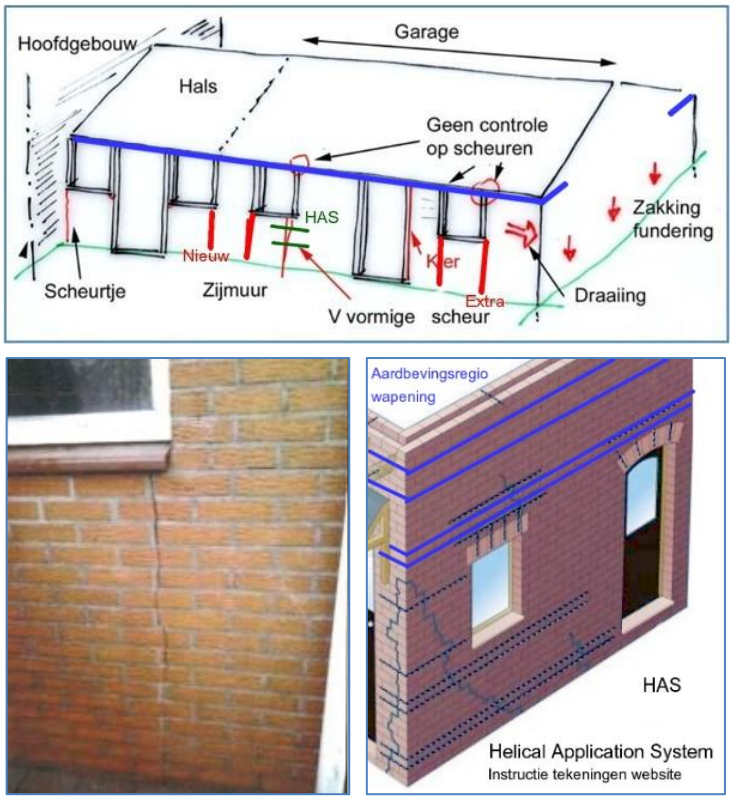
Issue 7. De Architect maakte een begroting voor de uit te voeren werkzaamheden die (verkeerd) door de Opnemer zijn gespecificeerd. Zijn idee was dat de achtermuur te zwaar is en versterking van de fundering nodig heeft (seismisch een verkeerde conclusie). De Ingenieur maakt een berekening en tekening van een 12 m diepe paalfundering met vier palen en een balk onder die achtermuur.
De hele achtermuur moet hiervoor eerst worden afgebroken, de palen geplaatst, een balk erover en dan de hele spouwmuur weer op de balk gemetseld. Dit is bij elkaar een veel duurdere optie dan *Figuur 11-42* met een houten achtergevel.

[377] In 2012-2015 was er onvoldoende seismische kennis beschikbaar voor de verschillende disciplines om de schades te beoordelen of een versterkingsplan te maken. Bij een algemeen eigenaren onderzoek kwam naar voren dat de vele "deskundigen" die allemaal bij de Eigenaar langs kwamen om iets te doen, in hoge mate irriterend werkt. Ook bleek dat de verschillende "deskundigen" niet altijd precies van elkaar wisten wie wat had gedaan, of wie wanneer was geweest.

Twee verschillende funderingtypes onder een gebouw zullen scheuren veroorzaken; dit hadden zowel de Architect als de Ingenieur moeten weten. Als de fundering onder de achtermuur op de 12 m diepe vaste zandlaag wordt gezet, zullen de lagere zijmuren en de binnenmuur ten opzichte van de nieuw gefundeerde achtermuur gaan zetten en losscheuren. Zowel de Architect als de Ingenieur moeten op de hoogte te zijn van de seismische basismaatregelen die van toepassing zijn op de bouw en in een aardbevingsgebied. Bij dit garagegebouwtje zijn drie basis regels van toepassing: (1) dilateren van verschillende bouwvolumen, (2) gelijkvormigheid in funderingsysteem, (3) vermindering van de massa. **Training op alle niveaus blijkt hier essentieel.**

Issue 8. De Opnemer geeft in het schaderapport aan dat voor de reparatie van de verticale scheuren onder de ramen van de zijgevel de HAS methode moet worden toegepast (*Helical Application System*), zonder te specificeren hoe deze methode moet worden toegepast. Er moet gedetailleerd worden aangegeven hoe en waar en voor welke lengtes de spiraalanker wapening moet worden aangebracht.

De Opnemer geeft in het schaderapporten niet-specifieke technische adviezen over de muurherstel methode. Echter, veel van de Opnemers geven veel te algemene instructies zonder technische uitvoeringsdetails. De duidelijke V-vorm van de scheur onder het raam en de scheur langs de deur geeft aan dat er een verdraaiing plaats vond. Dit kan beter gestopt worden door een wapening langs de dakgoot (blauwe lijn) dan met een te korte HAS over de scheur.



Figuren 11-44. Toepassing van HAS goed of fout.
Voor dit type scheuren in de onderkant van de muur helpt HAS nauwelijks of niet, omdat deze zijn ontstaan door het verzakken van de eindgevel.
Rechtsonder: Instructiemateriaal van de HAS-leverancies aan de Aannemer is vaak ***onvoldoende*** *(gebruik van te korte wapening) of* ***zelfs verkeerd*** *is (in een aardbevingssituatie).*

Gedurende 2013-2015 werden bij scheuren boven lateien alleen korte wokkels in de lintvoegen gelijmd aangebracht, in plaats van over de hele gevel breedte van de gevel én om de hoeken.

De juiste bouwkundige vooropleiding en seismische training op alle niveaus blijkt hier essentieel.

11.10. Samenvatting van de garage aanbouw

A. Op alle vochtige veen- en kleigronden zal bij een ophoging met 1 meter droog zand over verloop van tijd inklinking optreden; dit kan verschillende jaren doorgaan. Hoe natter de kleigrond, hoe groter de inklinking kan zijn; dit kan oplopen tot 50% van de ophoging. Bij vochtige veengrond kan

de inklinking oplopen tot zelfs 80 cm. Als in de directe omgeving van de locatie veel water aanwezig is zal de inklinking relatief groot zijn.

B. Niet direct bouwen op een zandophoging, maar tenminste vijf jaar laten rusten. Vóór het bouwen dient ook de grond onder de aanlegstrook van de fundering voldoende te worden verdicht. De mate van de verdichting hangt af van de gebouwbelasting. Bij een fundering op gewapend betonstroken dient de breedte van de stroken onder de draagmuren te worden aangepast aan de gebouwbelasting. Dit is vooral belangrijk bij puntbelastingen van kolommen die onder een spantconstructie staan.

C. BoWoTo; er zijn verschillende scenario mogelijk:
   a. Als BoWoTo de plannen goedkeurt, maar deze technisch niet in orde zijn, blijft sinds 2010 de Eigenaar aansprakelijk. Die Eigenaar kan voor een aantal jaren de mogelijke schade te verhalen op de Aannemer, Architect of Ingenieur van de tekeningen.
   b. Sommige aannemers zetten in hun bouwovereenkomsten gedetailleerde clausules waarin zij elke verantwoordelijkheid afwijzen; dan zijn ze juridisch niet meer aansprakelijk.
   c. Als BoWoTo de plannen van de Architect goedkeurt, maar ze worden niet uitgevoerd volgens de tekening, dan is de uitvoerende partij (Aannemer of Eigenaar) aansprakelijk voor de eventuele schade.
   d. Als BoWoTo de plannen al dan niet goedkeurt maar ze worden niet volgens deze plannen uitgevoerd en BoWoTo controleert niet de bouw, zal de gerealiseerde bouw na 20 jaar verjaren en treedt automatische goedkeuring op. Dit geldt ook voor illegale bouw. BoToWo heeft wel een controleplicht.

D. Verschillende funderingsvormen en belastingen resulteren bijna altijd in zettingsverschillen; dit is ook zo bij verschillende fundering aanlegdieptes (kelder onder slechts een gedeelte van een gebouw). Zettingsverschillen resulteren bij gemetselde constructies meestal in scheuren.

Figuren 11-45. Foto's van alle kanten zijn nodig. Door meerdere foto's (rechtsom) rondom en in het gebouw te maken en van de omgeving, kan een goede indruk verkregen worden van de situatie. Dit wordt nog beter met een (schets) plan waar de fotolocaties op genoteerd staan. Een goede documentatie en grondonderzoek voorkomt herhaaldelijke gebouw onderzoeken en hoge kosten.[378]

E. Halfsteens gebouwen (zoals een aanbouw) hebben een lage grondbelasting; hierop is de fundering aangepast. Door het toevoegen van een gemetseld buitenspouwblad wordt de belasting op de fundering met 50% verhoogd, afhankelijk van de vloer- en dak-belasting. Bij een fundering 'op staal' zou dan de funderingsaanleg dan ook met 50% verbreed moeten worden.

F. De grond onder de fundering van een al lang bestaand twee-etage gebouw (pré 1940) heeft reeds de maximale zetting ondergaan, en zal zonder andere invloeden niet verder inklinken. Een nieuw

[378] De A,B en C schade modaliteiten werden slechts omschreven. Voor de rapportages waren er geen duidelijke richtlijnen over de methode en inhoud, was het noodzakelijk dat men verschillende malen naar een gebouw terug moest. De uiteindelijke rapportage kosten werden 3X zo hoog als de uiteindelijke reparaties.

gebouwtje zal altijd enige zetting ondergaan. De aansluiting tussen de gebouwen zal dan ook een zetting scheur tonen. Hier is ALTIJD een dilatatievoeg noodzakelijk.

G. Een dunne ongewapende betonvloer van 7m x 7m op een zandpakket zal bijna altijd krimp scheuren krijgen. Dit zijn in eerste instantie haarscheuren die nauwelijks zichtbaar zijn[379]. Bij zetting van de fundering zal langs er eerst de randen van de vloer een naad ontstaan.

H. Een vierkant gebouwtje met sterk ongelijke belastingen op de funderingen zal scheuren indien deze funderingen dezelfde aanlegbreedte hebben en er in deze muren geen wapening zit. Wanneer de muren bij elkaar worden gehouden kan het gehele gebouwtje scheef zakken.

I. Ouderwetse betonnen dakpannen wegen ongeveer 50 kg/m^2 of 500 N/m^2. Moderne betondakpannen en keramische dakpannen (verbeterd Hollandse) wegen ongeveer 400-450 N/m^2, dus niet veel verschil. Lichtgewicht metalen sneldek dakpanprofiel-platen wegen tussen de 45 N/m^2 en 65 N/m^2. Dit is tussen 1/10de en 1/7de van de betonnen of keramische pannen. Bij het doorzakken van de spanten is het vervangen van zware dakpannen dan een goede optie.

J. De Eigenaar kan een keuze gegeven worden voor een lichtere dakbedekking. Van een fotocatalogus is slechts een matige indruk te verkrijgen. De Eigenaar dient het echte product te zien in de vorm van een set dakpannen of platen. Om ze te vergelijken met dakpannen die nog op een bestaand gebouw zitten, moeten deze monsters ter plaatse worden getoond. Een Aannemer of Architect zou dus de Eigenaar naar een bouwmaterialenhandel mee moeten nemen.

K. De scheur onder het raam is naar boven V vorming. Dat betekent dat er aan de bovenkant een rechts-links verwijdering van de muur aanwezig is. De kieren langs het raam en de deur bevestigen de verwijdering. Ter plaatse van de muurplaat zal ook verwijdering naar rechts zichtbaar zijn. Een Inspecteur/Opnemer moet het hele gebouw bekijken en niet alleen de scheur.

L. **Technische en inzichtelijke training op alle niveaus van de Opnemer, Aannemer, Architect, Ingenieur en de Bouwvakker is noodzakelijk** om verkeerde opname en uitvoering te voorkomen. Kennis bij de gebouw-Eigenaar is belangrijk wanneer deze mee moet bepalen wat er met het gebouw gebeuren moet in het kader van technisch en thermisch verduurzamen. Dit laatste voorkomt echter niet dat de Eigenaar het niet eens kan zijn met het schaderapport, wanneer niet alle gebouwschade wordt vergoed.

**********Terug naar het begin van dit Hoofdstuk 11**********

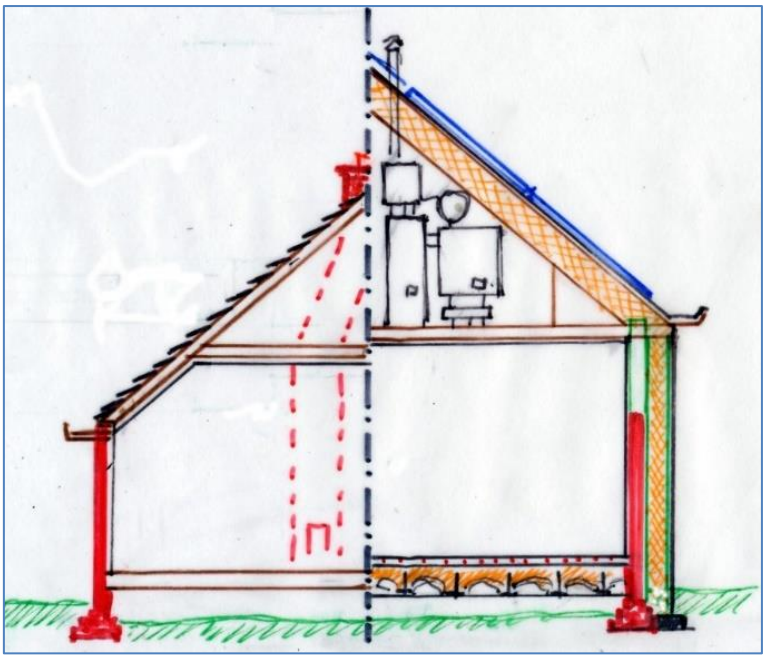
**********Terug naar de inhoudsopgave figuren**********

[379] De in deze garage liggende betonvloer was ook gescheurd, maar dit is niet behandeld in dit voorbeeld. Doordat de betonvloer volledig op het zandpakket draagt verzakt deze niet, maar de omringende muren veroorzaken een grotere gronddruk en verzakken dan wel; eerst scheurt de vloer dan langs de muur los.

Duurzaam Herstel en Versterking van Woningen in Groningen

Hoofdstuk 12 VERDUURZAMEN

Na de aardbevingsproblematiek en de afbouw van de aardgasproductie



Abstract:
Het technisch duurzaam versterken van een woning (seismisch of tegen scheuren) is pas zinvol wanneer diezelfde woning ook op andere manieren thermisch en energetisch verduurzaamd wordt. Het nuttige gebruik van de woning of het gebouw moet nog minstens honderd jaren gewaarborgd blijven. Minimalisatie van CO_2-uitstoot voor toekomstige verwarming is een kritiek punt en isolatie volgens de laatste BENG normen is daarom gewenst. Veel bouwmateriaal kan recyclet worden en duurzame bouwmaterialen zijn een alternatief op materialen die voor de productie een hoge CO_2-uitstoot hebben. Het opzetten van hergebruik en recyclingbedrijven daarvoor is belangrijk. Niet alle typen woningen zijn technisch goed te versterken of economisch goed te verduurzamen. Een goed onderzoek en planning vooraf kan dat bepalen, terwijl de ontwikkeling van bedrijven en technologieën gestimuleerd kan worden.

Kernwoorden o.a.:
Bouwmethode, beton, BENG, circulaire bouwmaterialen, dakisolatie, duurzaam, energielabel, hergebruik, isoleren, ladder van Lansink, muurisolatie, PV, PVT, ramen, Rc, recycling, renovatie, testwoning, trias energetica, Uw, verduurzamen, vloerisolatie, warmtepomp, zonneboiler.

Door: Sjoerd Nienhuys
Bouwkundig, seismisch ingenieur
Juli 2023

12.0. Inleiding

De voorgaande hoofdstukken gingen over het seismisch versterken of het licht versterken van verschillende typologieën van woningen. De structurele aanpassingen van deze woningen vereisen soms flinke aanpassingen aan de muren en het interieur, maar altijd aan de sterktestructuur van het gebouw. Hierdoor zal het gebouw vele jaren behouden kunnen blijven voor gebruik.[380] Dat betekent ook dat bij langdurig (tientallen jaren) gebruik na de versterking de indeling soms kan of moet veranderen en dat de isolatiewaarde van het gebouw verbeterd moet worden om de CO_2-uitstoot duurzaam te verminderen. Ook is het de algemene BENG-eis dat bij aanzienlijke aanpassingen aan de woning ook een gedeelte van de energie voor het gebruik van het gebouw ter plaatse wordt opgewekt.

In de eerste plaats mogen de versterkingen dus niet toekomstige veranderingen in de weg zitten. Dat is makkelijker gezegd dan gedaan, want men weet natuurlijk niet wat die toekomstige veranderingen kunnen inhouden. Het versterken van de binnenmuren (en funderingen), voor als deze door de diafragmawerking extra belast worden is een problematisch punt. Dit komt, omdat men dan die versterkte binnenmuren niet makkelijk kan verwijderen wanneer men de indeling van de woning wil veranderen. Bij woningen met kleine woonvertrekken is het daarom niet verstandig om de binnenmuren dragend te maken en die te versterken. Bij kleine woningen is daarom het doortrekken van het diafragma naar de buitenmuren een betere maatregel dan de binnenmuren versterken.

In de tweede plaats moet er gekeken worden naar de veranderende wooneisen en de ruimte die de technische installaties gaan innemen in de toekomst.

- Hebben de keuken, woonkamer en circulatie ruimtes wel een goede indeling voor levensloopbestendige bewoning?
- Zijn de badkamer en toilet nog wel toekomstbestendig en met voldoende ruimte?
- Is de douche en de luchtventilatie met een warmtewisselaar (WTW)?
- Zijn de trappen recht, breed en veilig?
- Is een gescheiden (drink)water en rioleringssysteem toe te passen?
- Is er ruimte voor de technische installaties, of moet er bijgebouwd of opgebouwd worden?
- Is de lage netto kamerhoogte (na 1950 was dit 240 cm) wel houdbaar?
- Heeft de woning goede thermische isolatie en geluidsisolatie?

De Nederlandse woningbouw is verregaand geïndividualiseerd. Dat betekent dat iedereen een eigen huisje, tuintje, wasmachine, TV, auto, BBQ, poesje, opslag, fietsenschuur en nog meer wil hebben[381]. Dat consumptiepatroon is in termen van duurzaamheid, milieu of beschikbare ruimte onhoudbaar. Ook in termen van financiering en sociaal management of gezondheidszorg is dit individualisme onhoudbaar. Om deze aan problematiek het hoofd te bieden zouden er dus veel meer duurzame woongroepen of clusters en verenigingen van eigenaren (VvE) ontwikkeld moeten worden, waarin verschillende leeftijdsgroepen samen het management verzorgen van de gemeenschappelijke middelen en diensten. Dit zou kunnen beginnen met gemengde woonclusters waarin senioren terecht kunnen die momenteel veel beslag op individuele woonruimte leggen, vereenzamen en steeds hogere sociale zorgkosten krijgen vanwege de commercialisering van de zorg.

Bij het technisch beoordelen van oude of verouderde gebouwen moet dus gekeken worden naar de zin van het verduurzamen in sterkte (seismisch of scheurpreventie), of dat wel voldoende samengaat met het verduurzamen in milieutechnische en sociale/economische aspecten.

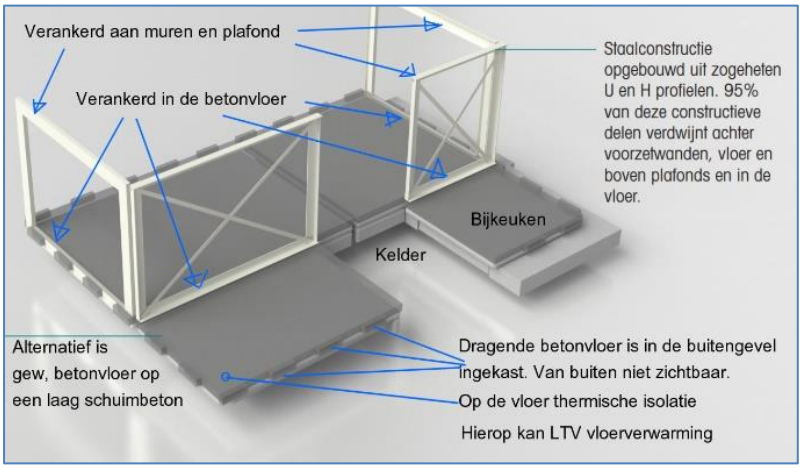
---

[380] Om een gebouw eerst seismisch of op andere manier te versterken en het daarna gedeeltelijk te moeten slopen of grotendeels om te bouwen, omdat het niet geschikt is voor het beoogde gebruik, is economisch en milieutechnisch een slechte maatregel.

[381] Voor de welgestelden ook nog een aparte logeerkamer, vaatwasser, droogmachine, oprit, 2de auto, 2de TV, bladblazer, grasmaaier, hondje, knutselhok, etc. Voor de rijkere dan ook nog de 3de auto, 3de TV, muziekkamer, mancave, zwembad, sportkamer, kortom een overdaad aan spullen die zelden gebruikt worden.

12.1. De kleine woning verduurzamen

In het voorgaande hoofdstuk 11 werd de 2014 praktijk van het versterken van een kleine woning behandeld, die nauwelijks seismische schade had. In deze woning werden frames tegen de binnenmuren geplaatst. Deze frames zullen elke toekomstige verandering van de indeling van de woning belemmeren. De bijkeuken kan bijvoorbeeld niet bij de keuken worden getrokken.



Figuur 12-1. Kleine woning uit hoofdstuk 11.
Voorbeeld van de kleine woning met zware versterking. Het plaatsen van stalen portalen tegen die binnenmuur beperkt elke toekomstige aanpassing van die woning.

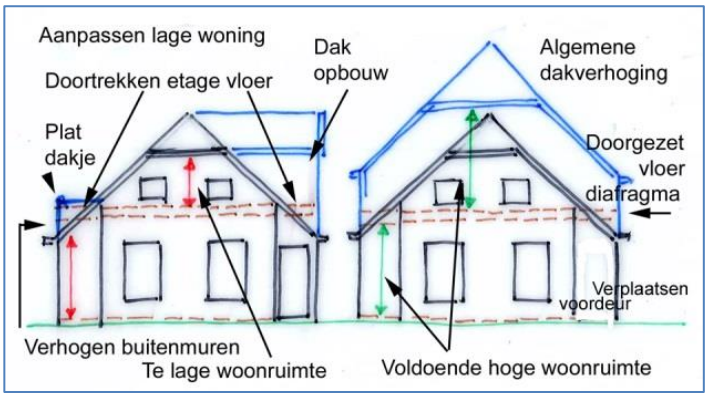
Deze woning is een discutabel geval omdat de 10 cm dunne betonvloer niet zonder de dragende binnenmuren kan. Die betonvloer kan echter wel als doorlopend diafragma tussen de buitenmuren verbonden zijn, terwijl de buitenuren voldoende versterkt werden om de gebouwbelasting op te vangen. Dit soort van overwegingen waren destijds niet van toepassing.

12.2. Krimpje verduurzamen?

Een ander voorbeeld van een mogelijk dilemma over de te nemen actie is de kleine arbeiderswoning met lage zolder, (hoofdstuk 2 paragraaf 2-17) een van de veel voorkomende woningtypes in de provincie, daar 'krimpje' genoemd als mini schaalmodel van de heren-boerderijwoning.

In woningen uit de naoorlogse periode van 1950 tot 1970 komen veel kamerhoogtes voor van slechts 240 cm (soms 220 cm), dit is met de nieuwe Bouwrichtlijn 260 cm geworden. Bij gedeelten van woonruimten die lager zijn dan 150 cm geldt het lagere gedeelte niet als woonoppervlakte, maar wel als gebruiksoppervlak (berging). Door de woning binnenzijdig te isoleren (plus ≈ 15cm) wordt de beperkte woonruimte nog verder verkleind.

Bij kleine woningen met een dergelijke lage dak-gedeeltes kan het een optie zijn een sterk vloerdiafragma aan te leggen en om de buitenmuren in lichte houtbouw constructie hoger op te trekken. Hierdoor wordt de zolderruimte tegelijkertijd hoger gemaakt (eventueel met dakkapellen) zodat dit type woning twee volwaardige etages krijgt.



Figuren 12-2. Mogelijke aanpassing van Krimpje.
Deze kleine woning heeft lage zijkanten en een erg lage zolder.
Twee opties voor uitbreiding.
Links. Doortrekken plafond resulteert in weinig extra woonoppervlak.
Rechts. Verhogen hele gebouw en veel extra woonruimte en ook veel kosten.

De eenvoudigste methode van seismisch versterken is om de zijmuren op te trekken en de etagevloer door te laten lopen tot op de zijmuren (*Figuur 12-2* linker schets). Hierbij wordt er aan beide zijden een plat dakje gerealiseerd, maar dat levert geen extra woonruimte op de etage op. Deze ruimtewinst zal worden gereduceerd door de noodzakelijke thermische isolatie tegen de binnenkant van de buitenmuren. Deze woning heeft steens buitenmuren, dus een halve spouwmuur verwijderen en buitenzijdig isoleren is geen optie.

Figuren 12-3. Schuin plafond in de keuken. Gedeelte bij de voordeur en in oude keuken. Rechts. Versterkte zoldervloer maar geen extra woonruimte gecreëerd.

De seismische versterkingen zijn ingrijpende maatregelen, zonder dat er extra woonruimte wordt gecreëerd, en zullen op basis van de kosten en duurzaamheidsoverwegingen geen voorkeur hebben. Smalle entree, smalle gang en toilet, minikeuken, smalle trap naar zolder (die overal te laag is) zijn andere aspecten die moeten worden aangepakt om van deze woning een duurzaam gebouw te maken. Omdat de woning klein is had de vorige eigenaar er al een stuk aan de achterkant aangebouwd.

Figuren 12-4. Uitbreiding achter aan gebouw. Deze woning was al door de eigenaar van achteren uitgebreid. Rechts. Van binnen was de open trap naar zolder slechts 60 cm breed, en de doorgang ernaast ook.

De breedte van de voordeur is bij deze oude woning te smal voor een rolstoel toegang en kan op deze locatie niet verbreed worden. Bij het toevoegen van 15 cm thermische isolatie tegen de binnenkant van de steens buitenmuur kan deze isolatie niet doorlopen tot aan het deurkozijn.

Deze woning werd aangekocht en gebruikt om versterkingstechnieken op te testen, maar is ook een aardig voorbeeld van maatregelen waarbij de waarde van de woning na de zeer kostbare versterking nauwelijks toeneemt, onder andere omdat de woning te klein blijft en een slechte indeling heeft en niet op andere wijze goed verduurzaamd kan worden. De redenen zijn: lage plafonds, minikeuken en toilet, te smalle gang en trap, kleine kamers, ruimteverlies door isolatie. Met een bouwvergunning voor de locatie en een vrij groot terrein staan hier veel andere opties open.

Het behoud van deze woning omdat het een typisch ‘krimpje’ is dat in het dorpslandschap past kan geen dwingende reden zijn om dit te behouden.

12.3. Twee-onder-een-kap verduurzamen, woongroep, rijtjeswoningen

In een situatie waar een twee-onder-een-kap woning met spouw seismische versterking nodig zou hebben en er wordt een nieuwe buitengevel omheen geplaatst met sterke portalen die tegelijkertijd een uitbouw zijn, kan er ook een drie-appartementengebouw van gemaakt worden. Die optie bestaat als de kinderen het huis uit zijn en elke woning eigenlijk te ruim is voor de achterblijvende senioren. De bewoners blijven op dezelfde plek wonen, maar hebben dan een duurzame woning.

Figuur 12-5. Duurzame appartementen maken.
Het grondoppervlak van dit gebouw is hetzelfde als van een twee-onder-een-kap woning maar kan met de versterking en verbouwing nu drie families huisvesten in plaats van twee.

Zoals aangegeven in het hoofdstuk 10 kunnen de oude gebinten schuren duurzaam worden versterkt en ingericht wanneer er een duurzame bestemming voor deze gebouwen is. De ontwikkeling van woonclusters of woongroepen is een relevante optie.

Figuren 12-6. Bestaande woongroepen. Rechts is gebruik gemaakt van een bestaande boerderij. De Kamp woongroep.

Voor woningen en andere bestaande gebouwen zijn zes verduurzamingsaspecten te onderkennen:

A. De tijd dat het gebouw nog kan blijven bestaan met nuttig gebruikt; hoe langer hoe beter.
B. Het energieverbruik dat het gevolg is van het gebruik van het gebouw; hoe minder hoe beter.
C. Het energieverbruik dat noodzakelijk is voor de aanpassingen of gedeeltelijke sloop van het gebouw; hoe minder hoe beter.
D. De hoeveelheid materiaal dat uit een te slopen gebouw vrijkomt voor hergebruik of recycling. Daarbij heeft hergebruik de voorkeur boven recycling.
E. De hoeveelheid energie die door de aanwezigheid van het gebouw kan worden opgewekt, in de eerste plaats voor eigen gebruik.
F. De dichtheid en kwaliteit van de al aanwezige infrastructuur en de aanpassingskosten.
G. De historische waarde van de oude gebouwen in het Groningse landschap.

De tijd dat een gebouw kan blijven bestaan en goed functioneren is in hoge mate afhankelijk van de kwaliteit van de fundering. Daarnaast zal de inwendige nuttige etagehoogte[382] een rol spelen en de mogelijkheid om het gebouw op een andere manier in te delen. Wanneer hele blokken rijtjeswoningen op de nominatie staan voor sloop en nieuwbouw omdat de constructie niet meer aan de eisen van de tijd voldoet, zal de eigenaar (meestal wooncorporatie) kunnen overwegen om ook woongroepen of woonclusters te realiseren. Niet iedereen heeft dan een eigen auto en parkeerplek, maar zijn er voldoende deelauto's en (elektrische) deelfietsen (onderdeel van de infrastructuur).

[382] De nogal beperkte netto etage hoogte van 240 cm die in de oudere bouwverordening stond werd in 2015 herzien naar 260 cm. Een netto etagehoogte voor de begane grond van een jaren '30 woningen is 280 cm. Hierdoor zijn er veel meer en betere gebruiksmogelijkheden dan de jaren '70 woningen.

Niet iedereen een wasmachine etc. maar een gemeenschappelijke voorziening met een wasserette dat ook meteen een contactruimte is, of kinderoppas. De ontwikkeling van een dergelijk concept met een groep aanstaande bewoners kan soms jaren in beslag nemen, maar als het aantrekkelijk genoeg is, financieel en sociaal, kan er snel duurzame woonruimte gecreëerd worden met minder m^2 per bewoner en met meer comfort.

Figuur 12-7. Woongroep met lage woningen.
Woongroep de Kamp 50plus. Volgens dit model kunnen er ook gelijkvloerse benedenwoningen zijn en galerijwoningen.

Vooral bewoners die allemaal uit dezelfde wijk of straat komen kunnen eerder geneigd zijn om als groep in een duurzame nieuwbouwcluster te gaan wonen. Aansluitend op een dergelijke cluster kunnen een aantal individuele woningen blijven bestaan. Het geheel kan een gemeenschappelijke warmtevoorziening hebben die veel economischer is dan ieder een individuele voorziening.

12.4. Wat is verduurzamen?

In de vorige paragraaf werden al een zestal punten (A tot G) genoemd die belangrijk zijn voor de besluitvorming. Die punten gaan over de bouw-gerelateerd aspecten. Daarnaast zijn er belangrijke sociale aspecten om over te stappen van de individualistische maatschappij naar een vorm van groepswonen. Hiervoor moet de toekomstige woon- of leefwijze de bewoners aanspreken.

Er moeten een aantal verbeterde voorwaarden geschapen worden zoals:

- ✓ Modernere woning met meer wooncomfort in verwarming, ventilatie, sanitair, trappen.
- ✓ Minder woonkosten door betere isolatie, energievoorziening, duurzame materialen, lage onderhoudskosten en eenvoudig onderhoud.
- ✓ Lagere individuele kosten door gemeenschappelijk gebruik van faciliteiten.
- ✓ Betere sociale contacten door de organisatievorm van gebouwen en activiteiten.
- ✓ Lagere gezondheidskosten door ondersteuning uit de gemeenschap (zelfredzaamheid van gepensioneerden, jongeren, efficiëntere begeleiding).
- ✓ Prettiger woonomgeving door groenvoorziening, tuinen, ontmoetingsplekken, vogels.
- ✓ Grotere welvaart door de voorafgaande aspecten.

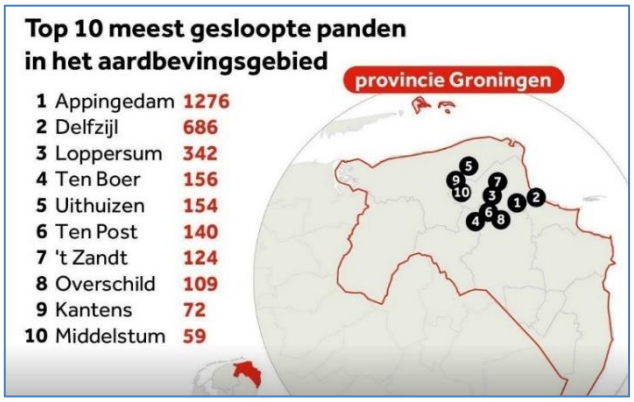
Het triggermoment in de besluitvorming om van levensstijl te veranderen is in de provincie Groningen ontstaan door de aardbevingsschade, waardoor er werd besloten om een groot aantal rijtjeswoningen van matige kwaliteit te vervangen door nieuwbouw.

Figuren 12-8. De netto minimum-etagehoogte. Deze is medebepalend voor de mogelijke verduurzaming van de woningen.
<u>Links</u>: Veel rijtjeswoningen hebben een kamerhoogte van 240 cm en kleine ruimtes waardoor de lange termijn verduurzaming minder gunstig uit zal vallen.
<u>Rechts</u>. Oude woningen hebben vaak een hoge netto begane grond etage, maar beperkte mogelijkheden op de eerste etage.

Wanneer een woning voldoende ruimte heeft, zijn de volgende aspecten ook van belang:

Ten eerste: Een goede fundering is een belangrijke voorwaarde voor het verder verduurzamen van het gebouw. Dit voorkomt nieuwe verzakkingen of nieuwe scheuren in het metselwerk. Daarna is het verstevigen en repareren van **beschadigde muren** het volgende aspect. De vorige 11 hoofdstukken legden uit wat er technisch gedaan kan worden. De uiteindelijke keuze hangt af van de algehele staat van het gebouw, de wensen van de eigenaar, de beschikbare financiën en in hoeverre het goed gecombineerd kan worden met het thermisch isoleren.

Figuur 12-9. Plan voor versterken 1450 panden. Eind 2016 was de berekening dat er 1450 panden versterkt moesten worden. Die aantallen [383] sloegen op gebouwen die 'net niet zouden instorten' bij meer en grotere bevingen. Er wed niet voorzien in verduurzaming.



Figuur 12-10. Dorpen met te slopen panden. Tot eind 2022 werden er 880 panden gesloopt.[384] Volgens een realistisch seismische belasting was dit niet nodig, maar vanuit duurzaamheidsoogpunt misschien nuttig als al die duurzaamheid aspecten voldoende worden meegenomen.

De nuttigheid van verduurzaming hangt sterk af van wat ervoor in de plaats komt. Wanneer dezelfde, maar modernere rijtjeswoningen worden teruggeplaatst, worden er ook maar slechts twee of drie aspecten van het verduurzamingsproces bediend. (1) Sterkere woningen en (2) beter geïsoleerde woningen (3) energieproductie. Samen slechts een gedeelte van echte verduurzaming.

Ten tweede. Wanneer de gebouweigenaar niet uitgebreid wil versterken, omdat er geen grotere bevingen dan type Huizinge 2012 meer komen, kan dat achterwege blijven. De woningeigenaar kan nu besluiten alleen de zichtbare scheuren weg te werken, in de hoop dat nieuwe kleine trillingen die niet weer open doen staan. Isoleren moet echter dan wel alsnog gebeuren. Met de afkoopgarantie via de NCG[385] is het dan mogelijk om visueel nieuwe schade te herstellen. Misschien is het mogelijk om wat te isoleren om op de langere termijn lagere woonlasten te hebben. Dit is niet echt verduurzamen.

Ten derde de thermische isolatiemaatregelen, die ervoor moeten zorgen dat de eenmaal verwarmde woning zo min mogelijk warmte verliest. De isolatienormen uit 2015 zijn al een goede richtlijn, maar de 2021 richtlijn van BENG (Bijna Energie Neutraal Gebouw)[386] zijn nog wat beter en ook duidelijker over het energieverbruik en opwekking. Het principe van Trias Energetica[387] kan gevolgd worden. Verduurzamen is niet alleen isoleren en hernieuwbare energie produceren. Het gebruik van de woning en de materialen en energie voor de infrastructuur zijn belangrijke elementen die grote invloed hebben op het hele verduurzamingsproces.

---

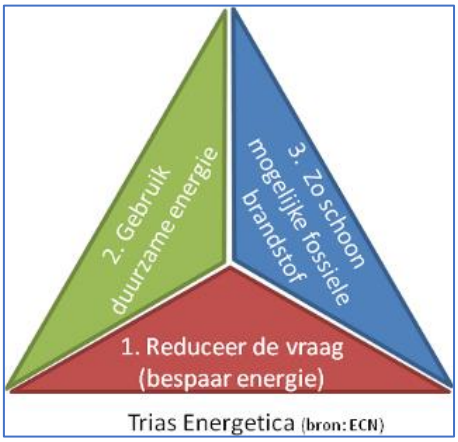
[383] Uit: https://www.fluxenergie.nl/gas-alle-onderzochte-woningen-in-aardbevingsgebied-groningen-moeten-worden-versterkt/

[384] https://nos.nl/artikel/2446109-groningen-tot-nu-toe-880-panden-gesloopt-door-gaswinning

[385] De bestuurlijke regelingen inzake schade vergoedingen zijn in november 2020 bekend gemaakt. https://www.nationaalcoordinatorgroningen.nl/onderwerpen/bestuurlijke-afspraken-versterking-groningen

[386] Zie: https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/wetten-en-regels/nieuwbouw/energieprestatie-beng

[387] Zie: https://www.rvo.nl/sites/default/files/Infoblad%20Trias%20Energetica%20en%20energieneutraal%20bouwen-juni%202013.pdf



Figuur 12-11. Het Trias Energetica model.
Het driehoek model van energiebesparing.
Dit is evenredig aan de besparing van de CO_2 uitstoot (CO_2-equivalent). Deze uitstoot is verantwoordelijk voor de opwarming van de aarde en grote klimaat veranderingen:

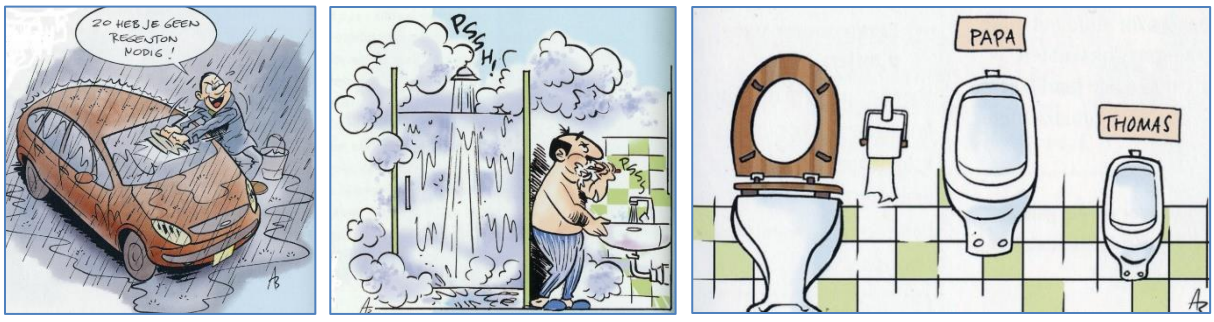
Te realiseren in de volgende volgorde:
1) Zo min mogelijk energie gebruiken.
2) Zo veel mogelijk energie uit hernieuwbare bronnen opwekken.
3) Gebruik de energie uit fossiele bronnen zo efficiënt mogelijk.

Naast brede informatie op www.MilieuCentraal.nl zijn er sinds 2020 vele websites beschikbaar waar je algemene informatie kan vinden over thermisch isoleren van de woning onder de naam verduurzamen. Het echte constructieve, gebruik-technisch, thermisch en energetisch verduurzamen en energie opwekken gaat echter verder dan alleen thermisch verduurzamen.

Figuur 12-12. De Groene Grachten zelfscan. Deze hebben met het Nationaal Restauratiefonds een eenvoudige zelfscan geïntroduceerd. Deze geeft ook een indruk voor gewone woningen[388].

Voor bijna alles wat we doen is energie nodig, en die energie vereist productie die afhankelijk van de methode meer of nóg meer CO_2 en CH_4 (methaan) uitstoot oplevert.[389] Bij nieuwbouwwoningen is het dan ook relevant om de daken zo in te richten dat er optimaal profijt kan worden getrokken van de zon met zonneboilers, PV en PVT, schaduwtechnologie, slimme ramen en raambekleding.

De Trias Energetica geldt dus ook voor bijvoorbeeld water. (1) Minder waterverbruik staat dan voorop (e.g. niet/minder/korter/kouder douchen, niet in bad, minder tuin sproeien of autowassen). (2) Zoveel mogelijk bestaand water gebruiken. Regenwater voor de tuin is een voorbeeld in ieder geval niet in de riolering. (3) Het beschikbare water zo zuinig mogelijk gebruiken (toilet spoelen). Het inrichten van woningen met een dubbel rioleringssysteem is alleen goed haalbaar bij nieuwbouw.



Figuren 12-13. Cartoons over watergebruik. Van het A3 Tekenteam. Uit de publicatie: 'Hart voor uw Huis'. Van www.woonwijzermedia.nl die op een leuke manier sommige aspecten van het waterverbruik aankaarten. Geestige afbeeldingen brengen vaak een moeilijke boodschap duidelijker over.

[388] Zie: *https://www.monumenten.nl/monumenten-verduurzamen/zelfscan-duurzaam-monument*
[389] Omdat verschillende broeikasgassen verantwoordelijk zijn voor de klimaatopwarming spreekt men van CO_2-equivalent. Methaan (CH_4) of aardgas is een 21x sterker broeikasgas dan CO_2. Eén $CH_{4\text{-equ}}$ = 21 CO_2.

Ten vierde dat de energie die voor de woning en het wooncomfort nodig is, op een zo klimaat-vriendelijke manier wordt geproduceerd. Grote CO_2-productie zoals het verbranden van steenkool, bruinkool, olie of biomassa moet uit-gefaseerd worden. Schoorstenen die nodig zijn voor de verbranding van biomassa (hout) worden dan ook verleden tijd[390].

Opslag van elektriciteit van eigen PV, elektriciteit of warmte wordt steeds belangrijker (in de grotere kelder?). Het gasnet (goede infrastructuur) kan wel blijven bestaan als er via dat netwerk waterstof (productie overschot van windmolens en PV in piekuren) en biogas (veeteelt, voedselindustrie en riool) gedistribueerd wordt. Elke woning WTW voor ventilatielucht en douchewater[391]. Om te voldoen aan de energie-eisen is het mogelijk dat in verschillende woonwijken een wijk-warmtenet moet worden aangelegd. In dat geval zal er veel overleg in de wijk gepleegd moeten worden omdat dan individuele warmtebronnen overbodig worden.

Ten vijfde de levensloopbestendigheid. Gebouwen moeten na verduurzaming nog minstens enkele bewonersgeneraties (>> 100 jaar) een nuttige gebruiksfunctie hebben. Afgezien van het investeringsrendement[392] betekent het dat de woningen goed bewoonbaar moeten zijn en blijven. Voor woningen met smalle, nauwe, gevaarlijke trappenhuizen zouden met een interne verbouwing veiliger gemaakt moeten worden[393].

Smalle trappen met kwarten zijn minder geschikt voor oude senioren; dus woningen moeten worden aangepast, of die oudere bewoners moeten verhuizen naar gelijkvloerse woonruimte. Moderne wooneisen vragen om betere en soms ruimere sanitaire voorzieningen (met WTW). Ongelijke funderingen door plaatselijke mini-kelders kunnen doorgetrokken worden en de kelders vergroot.

Rijtjeswoningen en Vinex locaties[394] voldoen aan de wooneisen van de individuele bewoner waarbij de huidige maatschappij (in west Europa) erg individualistisch is opgegroeid. Dit heeft geleid tot dit type woningen door heel Nederland. Veel Vinexwijken hebben echter te weinig gemeenschappelijke voorzieningen. Voor een meer duurzame maatschappij is gemeenschappelijk gebruik van ruimtes en voorzieningen een steeds belangrijker thema. Rijtjeswoningen en wijken kunnen of moeten daarop aangepast worden[395]. Een probleem bij deze stelling is dat deze maatregel de individuele situatie van de woningeigenaar overstijgt en er een wijk-gebonden organisatie en uitvoering voor noodzakelijk is.

12.5. Is het gebouw nog langdurig en duurzaam te bewonen?

Wanneer het vijfde aspect (levensloopbestendigheid) negatief uitvalt, is het minder relevant om grote financiële of bouwkundige investeringen te doen aan funderingen, plafondhoogte, versterking en isolatie. Na de dure ingrepen moet de woning geschikt zijn voor enkele generaties (>>100 jaar). Wanneer dat niet het geval is, zijn er weer twee opties. Niet versterken maar alleen isoleren, of slopen met nieuwbouw. Immers, met de verder afnemende bevingssterkte worden de scheuren niet of nauwelijks groter en stort er sowieso niets meer in.

---

[390] Het verbranden van hout voor de sfeer levert ook nog veel fijnstof en daarmee veel luchtvervuiling op. Een uitzondering is een goed afgestelde pellet-kachel die gestookt wordt met pellets van restafval uit de bouw.

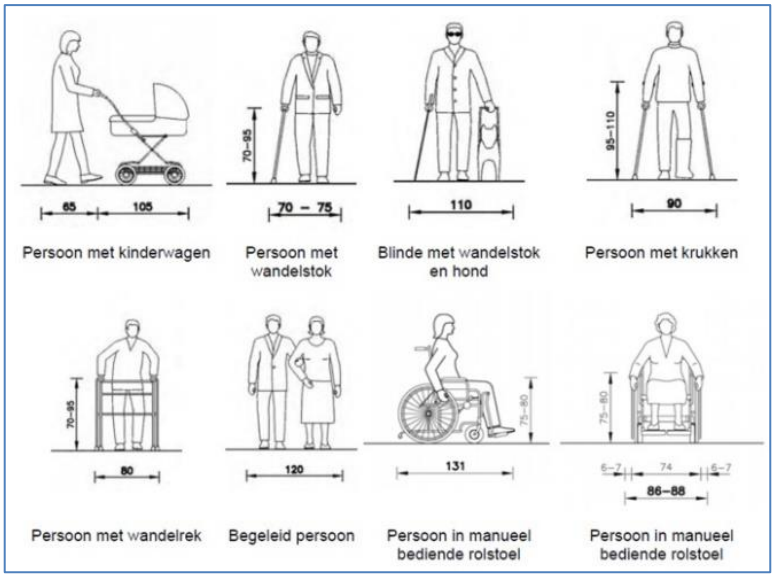
[391] Wanneer er anno 2023 een nieuwe badkamer geïnstalleerd (nodig of niet nodig) wordt bieden aannemers of sanitairbedrijven /leveranciers zelden een douche-WTW aan.

[392] De huidige richtlijn is dat het weinig zinvol is om meer in een woning te investeren dan dat die woning na de verduurzaming (sterkte en isolatie), met de oorspronkelijke eigen waarde (zonder de grondwaarde te rekenen), meer heeft gekost dan 150% van de dan geldende markwaarde. Deze marge is aangenomen omdat met de huidige bouwmethoden niet alle milieukosten zijn meegeteld.

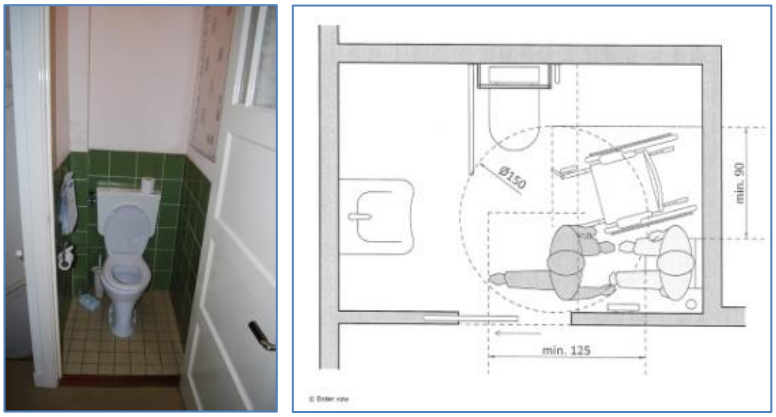
[393] De typische Nederlandse trappen met een of 2x een kwart draaien zijn gevaarlijk constructies. De meeste ernstige ongelukken in huis gebeuren vanwege deze trappen.

[394] Vinex wijken blijken populair: De afkorting staat voor: “Vierde Nota Ruimtelijke Ordening Extra, een nota ruimtelijke ordening van het Nederlandse ministerie van VROM uit 1991”

[395] Niet elk gezin heeft een auto, wasmachine, bladblazer, boortol en oversized BBQ nodig.



Figuur 12-14. Deurbreedten volgens de BRL.
Met de laatste Building Richtlijn zijn de deurbreedten en hoogten vergroot. Het is wenselijk dat bij een ingrijpende verbouwing de deuren ook aangepast worden.[396] Voor woningen die voor duurzame bewoning door senioren worden aangepast is het verbreden van de deuren ten behoeve van rolstoelen vaak een vereiste.



Figuren 12-15. Huidige toilet is vaak te klein.
Een gewoon toilet is vaak te klein om hulp te bieden. Aanpassing van een toilet voor toekomstige seniorenwoning of trap betekent veelal een flinke wijziging in de plattegrond van de woning.
Tekening: Enter vwz, België.

In oudere woningen zijn toiletruimtes vaak onder de trap weggewerkt en niet veel breder dan de deur. Voor duurzame bewoning door senioren[397] is een toiletruimte nodig waar een rolstoel in en uit kan, of waar hulp geboden kan worden. Bij het vergroten van de deur en het vloeroppervlak voor het toilet moet meestal de indeling van de hele woningplattegrond aangepast worden. Wanneer het toilet tegen de buitenmuur is aangebouwd (bij de voordeur) en er thermische isolatie aan de binnenkant van de buitenmuur moet komen, zal de resterende toiletruimte te klein zijn.

Alvorens een woning te gaan versterken[398] en daar veel op te investeren, moet daarom overwogen worden wat de andere maatregelen zijn om het gebouw levensloopbestendig te maken of te verduurzamen. Er is een financiële limiet gesteld dat als de gezamenlijke kosten van de gerenoveerde woning (zonder de grondwaarde) meer zijn dan 150% van wat de woning in de vrije markt waard zou zijn, dan betekent het een kapitaalverlies en is slopen en nieuwbouw vaak de aangewezen optie[399]. Voor monumenten ligt dit anders, afhankelijk van de waarde die aan het monument wordt toegekend.

[396] Zie https://nl.wikipedia.org/wiki/Verblijfsruimte Deurbreedte: 830 tot 880 mm (renovatie van woningen), en 930 mm (BRL). Deurhoogte: 2015 tot 2115 mm (bij renovatie van woningen), en 2315 tot 2340 mm.
[397] Een steeds groter gedeelte van de bevolking bestaat uit senioren, die om sociaaleconomische en medische redenen langer thuis blijven wonen, met de mogelijkheid om thuis verzorgd te worden. Bij woningen die niet de ruimte bieden voor thuiszorg, zullen de bewoners naar verzorgingshuizen moeten verhuizen.
[398] Voor het versterken kan me anno 2020 uitgaan van een lichte versie of alleen het wegwerken van de scheuren, omdat er geen grotere bevingen worden verwacht dan ¾ van de 16 augustus 2012 Huizinge beving.
[399] Dat was anno 2020, maar als alle aspecten van materiaal vernietiging en de CO_2-uitstoot van de nieuwe bouwmaterialen en bouwwerkzaamheden worden meegeteld ligt dat percentage waarschijnlijk hoger.

12.6. De kosten van verduurzamen.

De 150% zijn een globale schatting. Voor elk woningtype kan een begroting gemaakt worden van de verduurzamingskosten die als eerste basis kan dienen voor de besluitvorming.

Figuren 12-16. Details van testwoning Type 4.
De vele technische/seismische aspecten van deze oude woning kunnen duidelijk maken dat het financieel niet relevant is om dit te verduurzamen.

Van elk woningtype kan een lijst van minstens 50 punten gemaakt worden met de belangrijkste renovatiepunten en daaraan gekoppeld een kostenbegroting. Naast de **verkorte onderstaande lijst** kunnen dan drie kolommen worden toegevoegd; één kolom voor de afmetingen, één voor de eenheidsprijs en één voor het totaalbedrag. Op basis van een dergelijke lijst kan dan voor alle varianten binnen dat woningtype snel een eigen begroting worden gemaakt.

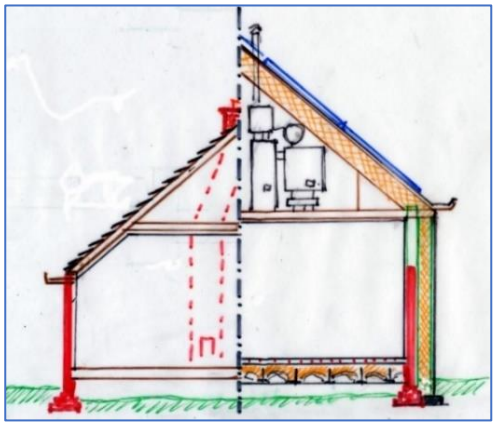
#	Aspecten van huidige woning Steens buitenmuren	Aspecten van de verbeterde woning.
1	Lichte fundering "op staal", verbreed metselwerk op klei, ongeveer 80 cm diep.	Bredere gewapend betonnen plaatfundering onder alle dragende muren, inclusief binnenmuren. Indien draagkracht onvoldoende is.[400]
2	Geen (gewapende) lateien over de ramen.	Over alle ramen een doorlopende lintvoegwapening.
3a	Plafonds binnenin 240 cm hoog; de 1 m brede zijkanten lopen schuin naar beneden.	Dak aanzet minimaal 1 meter omhoog zodat over de hele begane grond de kamerhoogte 260 cm is zonder borstwering op zolder.
3b		Dak met minimaal 1,5 m borstwering boven de zoldervloer
4	Balklaag van plafond of zoldervloer is niet een stijf diafragma en geen verankering aan zijmuren.	De nu doorgetrokken balklaag verbindt alle muren. Vloer wordt stijver gemaakt door opbrengen van een multiplex plaat.
5	Netto woonruimte in de zolder die hoger is dan 150 cm vanaf de vloer is erg smal.	Verhogen van de draagmuren geeft veel meer hoofdruimte en netto woonbreedte op de zolder die hoger is dan 1,5 m. (punt 3)
6	Twee kleine, lage raampjes in de zolderruimte.	Vergroten van de ramen in de kop- en achtergevel. Maken van grote dakkapellen aan de zijkant voor meer leefruimte.
7	Voor en achter topgevel metselwerk	Topgevels verwijderen en geïsoleerde Keralit bekleding aanbrengen.
8	Verouderde elektra leidingen en meterkast	Nieuwe en meer elektra leidingen en nieuwe meterkast
9a	Huidige R_c waarde steens buitenmuur met 4 cm glaswol en regelwerk ≈ 1,2 m^2.K/W	Verwijderen alle binnen-isolatie, aanbrengen van 15 cm PIR op buitenmuren en afwerken. Nieuwe isolatiewaarde muur Rc ≈ 5,0 m^2.K/W. Binnenmuur na elektra bekabeling stukadoren.
9b		Verwijderen alle binnen-isolatie en na aanbrengen van nieuwe elektra afwerken. Buitenzijdig aanbrengen 15 cm isolatie en weervaste afwerking. Nieuwe isolatiewaarde muur Rc ≈ 5,0 m^2.K/W.

[400] Wanneer de woning geen scheuren heeft, en de opbouw lichtgewicht, is geen fundering verbreding nodig.

9a	Houten balken begane grondvloer. Geen isolatie	Geheel vervangen door balkjes en geïsoleerde broodjes + LTV
9b		Aan onderzijde goed isoleren en bovenzijde met LTV
		Uitbreiden van kelderruimte (batterijen)
10a	Losstaande gaskachel of oude Cv-ketel oude Cv-leidingen, radiatoren, waterleidingen, gas. Haard	All-electric warmtepomp grondwater en LTV. Nieuwe geïsoleerde leidingen aanleggen en nieuwe ventilatie kanalen, aan- en afvoeren-
10b		Andere warmtepomp opties zoals water-water en lucht-water.
10c		PV of PVT of combinatie met zonneboiler.
10d		Wijkverwarming en warmteopslag in de wijk.
11a	Huidige dakspanten zijn doorgebogen.	Spanten versterken bij het liften en het gehele dak binnenzijdig isoleren met 20 cm isolatiemateriaal Rc ≈ 7,0 m^2.K/W.
11b		Spanten versterken bij het liften en het gehele dak buitenzijdig isoleren met 20 cm isolatiemateriaal Rc ≈ 7,0 m^2.K/W.
11c		Verwijderen van gemetselde schoorstenen op het dak.
12	Huidige trap van de gang beneden naar de zolder is te smal en te steil.	Er moet een nieuwe beneden indeling van gang en brede, rechte trap naar boven. Op zolder een logeerkamer/berging maken.
13	Voordeur/achterdeur is te smal voor een rolstoel en heeft een stoeptrede.	Deze voordeur moet verplaatst worden, breder gemaakt worden, geen stoeptreden,
13a		Isolerende buitendeur en een tochtportaal.
14	Keuken indeling en aansluitend badkamer en toilet onder laag zijgedeelte. Geen ramen.	Herziening plattegrond met bredere gang, nieuwe grotere keuken en de grootte en locatie van de badkamer en toilet herzien.
15	Minimale keuken met op gas koken en gootsteen	Nieuwe, grotere keuken, inductie, magnetron, inbouwboiler, etc.
16	Een toilet en erg matige doucheruimte/badkamer	Nieuwe badkamer op etage met WTW op de douche. Nieuwe riolering
17	Huidig plafond zachtboard en kapot.	Nieuw en hoger plafond, geluidsbeperking.
17a		Nieuw elektra aanbrengen. Met zuinige verlichting
18	Isolatie glas type HR mogelijk 20 jaar oud. Isolatie waarde mogelijk Rc = 0,25 m^2.K/W. Kozijnen zijn mogelijk te gebruiken. Geen ventilatie.	Nieuwe kozijnen plaatsen in de nieuwe buitenschil. Triple glas Rc = 2,0 m^2.K/W. Nieuwe ramen kunnen ingebouwde ventilatieroosters hebben.
19	Alleen natuurlijke ventilatie.	Mogelijk balansventilatie met WTW en CO_2 regeling.
20	Schuur of berging aanbouw is verwijderd.	Een nieuwe aanbouw. Bijkeuken of fietsenschuur, afval containers.
21	Geen tuinaanleg aanwezig	Een nieuwe bewoner zal een investering moeten doen voor een tuin.
22	Woning is bewoond	Tijdelijke opslag meubels en tijdelijke huisvesting

Op basis van een dergelijke lijst kan een aannemer de kosten per woning globaal berekenen en overleggen met de eigenaar of er Doe-Het-Zelf activiteiten van toepassing zijn. In het bovenstaande geval van de kleine arbeiderswoning is een algehele renovatie vaak niet rendabel, maar een betere thermische isolatie kan in een aantal jaren zijn terugverdiendop de energierekening, zeker met DHZ.[401]

Voor veel woningeigenaren zal het probleem van de financiering ontstaan, wanneer en geen grote schadevergoedingen of subsidieregelingen beschikbaar zijn. Wanneer het op de langere duur (≈ 30 jaar) wel financieel rendabel is om de woning te verduurzamen, dan zouden speciale lange termijn financieringsregelingen ontworpen kunnen worden, aanvullend op reguliere hypotheekoplossingen.



Figuur 12-17. Planning van verduurzaming.
Van een sterk verouderde woning geeft een planning een inzicht in de kosten. Niet alleen isolatie, maar ook woonruimte/hoogte, keukens en sanitair met alle leidingwerk zijn vaak aan renovatie toe, hetgeen inhoudt dat het hele pand gestript moet worden. Technische installaties zijn nodig (ruimte) om de noodzakelijke warmte zo zuinig mogelijk op te wekken en te behouden.
Links. Oude woning. Rechts. Gerenoveerd.

[401] Veel woningeigenaren bouwen een nieuwe keuken of badkamer in hun woning zonder ooit naar de terugverdientijd te vragen, maar beginnen te kreunen wanneer de terugverdientijd van een isolatiemaatregel op de energierekening meer dan 10 jaar is. Een probleem is dat de CO_2-uitstoot zelden wordt meegerekend.

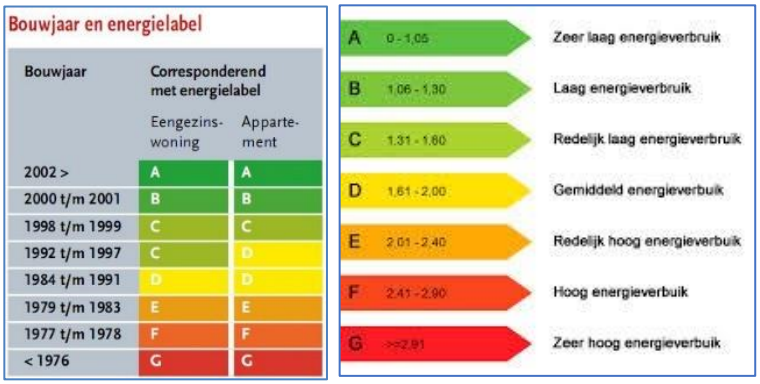
12.7. Isoleren en de BENG

Bij de 2021 BENG-norm wordt uitgegaan van het maximum aantal kWh dat per m^2 gebruiksoppervlak van de woning gebruikt mag worden voor verwarming van de ruimten, tapwater en koken. Het oppervlakte van de hele buitenschil (A_{ls}) wordt gerelateerd aan het gebruiksoppervlak (A_g). Bij vrijstaande woningen is die verhouding groter dan bij tussenwoningen of flats.

Gebouwfunctie	Energiebehoefte kWh/m^2.jr	Primair fossiel energiegebruik kWh/m^2.jr	Aandeel hernieuwbare energie[402]
Woningen, tussenwoning	25	25	50
Utiliteitsgebouwen	50	25	50
Onderwijsgebouwen	50	60	50
Gezondheidszorg	65	120	50

In vergelijking met de vroegere rekenmethoden komt dit ongeveer overeen met een EPC = 0,2. Volgens de energie labels komt dit overeen met A^{+++}, dus aanzienlijk beter dan energielabel A. Voor woningen en appartementen mag de $T_{emperatuur}O_{verschrijding\ in\ juli}$ niet groter zijn dan 1,0 als er geen actieve koelingsinstallaties aanwezig zijn. Koelen kan ook met sommige warmtepompen.

Figuur 12-18. Verbeteringsperioden.
Energie label A^{+} = 0,6 < EPC ≤0,8
Energie label A^{++} = 0,4 < EPC ≤0,6
Energie label A^{+++} = 0,2 < EPC ≤0,4
Energie label A^{++++} = EPC 0,1 (passief huis)



Omdat er rekening gehouden wordt met de verhouding buitenoppervlakte (A_{ls}) van het gebouw en het gebruiksoppervlak (A_g) wordt de volgende tabel aangegeven:

Tabel 1: Definitieve BENG-eisen woningbouw per 1 januari 2021

	A_{ls}/A_g verhouding	BENG 1 [1)] (kWh/m^2·jr)	BENG 2 (kWh/m^2·jr)	BENG 3 (%)	TO_{juli} (-)
Woongebouw	A_{ls}/A_g ≤ 1,83 1,83 < A_{ls}/A_g ≤ 3,0 A_{ls}/A_g > 3,0	≤ 65 ≤ 55 + 30* (A_{ls}/A_g - 1,5) ≤ 100 + 50* (A_{ls}/A_g - 3,0)	≤ 50	≥ 40	≤ 1,0 of GTO < 450 uur of actieve koeling
Andere woonfunctie	A_{ls}/A_g ≤ 1,5 1,5 < A_{ls}/A_g ≤ 3,0 A_{ls}/A_g > 3,0	≤ 55 ≤ 55 + 30* (A_{ls}/A_g - 1,5) ≤ 100 + 50* (A_{ls}/A_g - 3,0)	≤ 30	≥ 50	≤ 1,0 of GTO < 450 uur of actieve koeling

1) Grondgebonden woningen en woongebouwen met een lichte bouwconstructie krijgen een toeslag van 5 kWh/m2.jr voor BENG-1

Voor de uitvoering van de thermische isolatie zijn de volgende minimumwaarden aangegeven:

- Vloerisolatie moet een BENG-norm waarde hebben van Rc ≥ 3,7 m².K/W.
- Dakisolatie moet een BENG-norm waarde hebben van Rc ≥ 7,0 m².K/W.
- Gevelisolatie moet een BENG-norm waarde hebben van Rc ≥ 4,7 m².K/W.
- Ruiten bij voorkeur triple glas[403], maar altijd < Ug ≤ 1,2 W/m^2.K of Rg ≥ 0,83 m^2.K/W.

[402] 1 kWh is evenveel als 3,6 MJ. • 1 m^3 aardgas heeft een primaire energie-inhoud van circa 9,8 kWh. • 1 m^3 aardgas levert na omzetting in een elektriciteitscentrale 3,8 kWh elektriciteit, rendement centrale = 39%.
[403] In het document: "101 soorten Glas" op website www.nienhuys.info gaat verder in op de glassoorten.

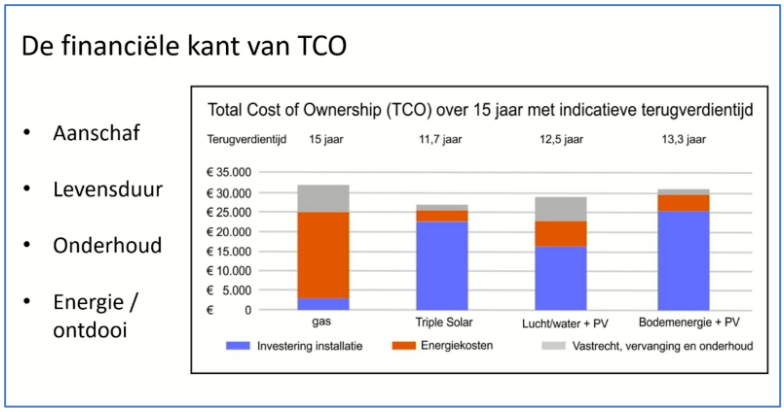
De meeste energiebeperkingsmaatregelen zijn gefocust op een CO_2-uitstootreductie. Eenmaal toegepast werken die maatregelen voor de duur van hun aanwezigheid. Hoe hoger de isolerende werking (Rc-waarde) van de gebouwschil, hoe meer CO_2-uitstootreductie, omdat er dan minder verwarming of koeling nodig is.

Bij glas geldt: Hoe lager de warmtegeleidingswaarde (Ug-waarde W/m^2.K) hoe beter het isoleert. Een hogere Rc in m^2.K/W of lagere Ug (1/Rc) zijn dus milieutechnisch duurzaam en voordelig.[404] Het is belangrijk dat steeds de hoogste Rc of de laagste Ug voor een bepaalde constructie wordt gekozen.

In de meeste gevallen zijn de energiemaatregelen al kosteneffectief binnen een periode van 10 jaar (rente op kapitaalinvestering > 8%), maar sommige maatregelen zijn pas kosteneffectief in 25 jaar (rente op kapitaal > 4%)[405]. Bijna alle investeringen verhogen het comfort, terwijl de bouwkundige maatregelen die deskundig zijn uitgevoerd de waarde van het onroerend goed verhogen[406].

De terugverdientijd is niet de enige factor. Er is bij de keuze tussen isoleren en installaties soms een vergelijking van kosten mogelijk. Een 50% grotere warmtepomp (geen 4 kW, maar 6 kW) voor een minder geïsoleerde tussenwoning kost wellicht 10% extra (b.v. € 500), maar betere isolatie-maatregelen om die kleinere warmtepomp te rechtvaardigen kosten dan bijvoorbeeld € 1500. Die grotere warmtepomp is eerst wel goedkoper, maar verbruikt wel straks 20 jaar lang meer energie.[407]

Het mechanische gedeelte van die warmtepomp gaat wellicht tot 20 jaar mee voordat deze vervangen moet worden. Daarna is het opnieuw de vraag of die woning tussentijds een stap verder geïsoleerd moet worden. Dat kost dan wel twee keer zoveel als dat die betere isolatie meteen in een vroeg stadium werd aangebracht.[408] Elke laag extra isolatie aanbrengen levert bovendien een steeds lager economisch en energetisch rendement op, dus het is belangrijk dat in één keer direct de meeste isolatie wordt aangebracht en de binnenmuren en dak netjes worden afgewerkt. Een ander aspect dat meegenomen moet worden is de TCO (Total Cost of Ownership) van een bepaalde installatie. Het volgende schema van NIBE verduidelijkt dit[409]



Figuur 12-19. Total Cost of Ownership.
Een HR-CV ketel is erg goedkoop in aanschaf maar heeft hoge energiekosten.
Warmtepompen zijn duur in aanschaf, maar hebben lage energiekosten. Daarbij komen ook nog de onderhoudskosten.
Hoe hoger de aanschafkosten, hoe langer de terugverdientijd, maar hoe goedkoper het op de langere termijn kan zijn.

[404] Voor meer informatie over glas, de isolatiewaarden en toepassingen zie www.nienhuys.info met verschillende documenten zoals 101-Soorten-Glas, voorzetramen, kozijnen en daklichten.
[405] Voorbeelden zijn de extra isolerende ramen, vooral wanneer ook de kozijnen vervangen moeten worden. De ramen en deuren veroorzaken in een woning het grootste warmteverlies/m^2 oppervlak en daardoor ook de hoogste CO_2 uitstoot, terwijl goede ramen wel 100 jaar kunnen blijven zitten.
[406] Naarmate de energieprijzen stijgen (verrekening van de milieukosten) zal dit een grotere invloed krijgen. Omdat de investering van een goede isolatie maatregel in feite al meteen is terugverdiend in de meerwaarde van de woning is de aanvullende terugverdientijd op de energierekening een extra bonus.
[407] Meer informatie over warmtepompen op de website www.nienhuys.info documentje 'warmtepompen'.
[408] Dit is bekend dilemma tussen investeringen voor de toekomst doen of alleen korte-termijn-denken. Een gerelateerd probleem is dat de 'snelle jongens' makelaarswereld nauwelijks naar de isolatiewaarde van de woningen keken, reden waarom er vanuit die sector altijd zoveel bezwaar tegen de energie-labels was.
[409] Webinar over PV-thermische installaties. https://channel.royalcast.com/webcast/nibe/20201112_1/

12.8. Isolatie van de gebouwschil

Voor het isoleren van vloeren, muren en daken is uitgebreide informatie op het internet te vinden, zoals op www.milieicentraal.nl . Op www.verbeterjehuis.nl van MilieuCentraal kan men een indicatie krijgen wat de energiemaatregelen kosten en hoeveel dat financieel oplevert aan energiebesparing. Dit laatste hang af van de werkelijke energiekosten inclusief aansluiting en belastingen.
Op https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/energiezuinig-huis/wonen-zonder-aardgas/ is uitgebreide informatie aanwezig over verschillende **methoden van isoleren,** over elk gebouw onderdeel, met voor- en nadelen, en waar men op moet letten bij het beoordelen van offertes.

Op het internet is veel gesponsorde informatie aanwezig van bedrijven die hun eigen producten aanbevelen, waarbij hoofdzakelijk de voordelen worden verteld of uitvergroot. Aannemers en bedrijven hebben veelal overeenkomsten met bepaalde fabrikanten of leveranciers en zullen daarom die producten aanbevelen waar ze de meeste ervaring mee hebben. Dat betekent niet dat die producten inferieur zijn, maar wel dat die aannemer met dat product meer ervaring heeft.

Buitenmuren. Bij het versterken van de raampenanten zijn drie methoden het meeste relevant:

1) Het langs de zijkanten verticaal in-frezen en verlijmen van rvs-wokkels tot ruim onder en boven de openingen en daar ook horizontale verbindingen aanbrengen;
2) Het goed strippen en uitvlakken van de muur en stevig opplakken van GVTW of dit aanbrengen over de rvs-wokkel versterkingen van 1) hierboven;
3) Het aanbrengen van houten/ijzeren profielen op de penanten en die met chemische ankers aan de muur verbinden, en als portalen versterken tegen zijwaarts kantelen.
4) Het verbreden van de raampenanten door de constructie van sterke glaspanelen.

Woningen hebben vaak meer buitenmuur oppervlakte dan men denkt. Een groot raam in de woonkamer heeft vaak rond het raam meer oppervlak dan de ruiten met het kozijn samen. Het kapitaalrendement van 5 cm spouwmuurisolatie (Rc = 1,7 m^2.K/W) na géén spouwmuurisolatie (Rc = 0,5 m^2.K/W) is ongeveer 12% en daarmee een van de beste investeringen, ook als de bovenetage (slaapkamer) matig verwarmd is. De huidige 2021 **BENG-norm Rc = 4,7 m^2.K/W** is dus bijna 3x zoveel als een spouwmuur die is na-geïsoleerd. Het toepassen van binnenzijdige of buitenzijdige muurisolatie is per m^2 oppervlak twee tot driemaal duurder dan spouwmuurisolatie, maar binnenzijdige muurisolatie en versterking kan met kleine aannemers en Doe-Het-Zelf (DHZ) gedaan worden[410].

Woningeigenaren die voor een gedeeltelijke DHZ-optie willen gaan kunnen begrotingen (tekeningen) laten maken door aannemers en ook de materialen door hen laten aanleveren, terwijl er vele opties bestaan voor gereedschap en steigerverhuur. **Specialistische taken (elektra, CV, stucwerk) moeten door die aannemer of het installatiebedrijf worden uitgevoerd**. Buren kunnen elkaar helpen met de uitvoering. Bij rijtjeswoningen is het verstandig om activiteiten samen met de buren te ondernemen omdat dan de kosten per m^2 lager kunnen worden. Ook kunnen buren elkaar helpen met het uitvoeren van bepaalde taken.[411]

Ook zijn er steeds nieuwe ontwikkelingen op de markt die met een nieuwe technologie een beter product leveren dat zuiniger of duurzamer werkt. Nieuwe ontwikkelingen zijn te verwachten op het gebied van hergebruik bouwmateriaal, luchtbehandeling, thuisbatterijen en afvalwaterrecycling.

Het bovenstaande betekent dat het voor een leek soms moeilijk is om een juiste of duurzame keuze te maken, wanneer deze keuze beperkt is door de plaatselijke leveranciers. Goede informatie van de overheid en onafhankelijke organisaties kunnen de woningeigenaar begeleiden in deze keuzes.

[410] De voor-en nadelen worden toegelicht in het document binnenzijdige of buitenzijdige muurisolatie op de eerste pagina van www.nienhuys.info. De mogelijkheid om lange warmtelekken ter plaatse van de versterkingsprofielen te voorkomen worden besproken in een ander document op dezelfde pagina.
[411] Zie document 'Tegelijk gebouwd, Samen isoleren' op mijn website www.nienhuys.info

Door het vragen van offertes van aannemers of installateurs zal de woningeigenaar meer informatie krijgen, maar gedetailleerde offertes van complexe producten zoals een warmtepomp of balansventilatie, vereisen vaak een betaling. Deze betaling zal dan als korting wordt berekend wanneer voor de uitvoering door die aannemer of installateur wordt gekozen.

12.9. Duurzaam door recycling en hergebruik

Duurzaamheid (‘*Cradle to Cradle’*, van Wieg tot Wieg) van de bouw is in Groningen gerelateerd aan seismisch versterken. De woningen moeten langdurig goed blijven functioneren als veilige verblijfplaats voor de bewoners in hun (dorps)gemeenschappen[412].

De mate van duurzaamheid van bouwmaterialen wordt bepaald door verschillende factoren zoals de milieukosten van de productie (hout, CO_2), transport (fossiele brandstof, CO_2), het gebruik van het gebouw (intensiteit), de technische eisen, de gebruiks- of levensduur van het product en de constructie, de milieueffecten die het door het gebruik ontstaan (b.v. de mate van energieverbruik).

De (woning)bouw is zeer energie-intensief ten gevolge van het hoge energiegebruik in de ontginning, transport en productie van grondstoffen en bouwmaterialen, maar ook ten gevolge van het transport naar en op de bouwplaats, de verwerking in de constructie, en uiteindelijk het verwijderen en verwerken van bouwafval. De bouw is verantwoordelijk voor meer dan 1/3 dan de totale landelijke CO_2-uitstoot. De duurzaamheid van de materialen wordt verder gerelateerd aan de praktische levensduur van het materiaal en de onderhoudskosten tijdens die levensduur.

Baksteen vereist heel veel (fossiele) energie, nodig om de klei te bakken (CO_2-emissies), en voor transport om ze naar de bouwplaats te brengen. Voor cementmortel, eist de cementproductie ook erg veel energie. Aan de andere kant kan baksteen metselwerk voor honderden jaren in een gebouw dienstdoen zonder onderhoud, hetgeen een positief element is. Dit element vervalt echter wanneer de baksteen muur wordt gesloopt en de bakstenen worden verpulverd of weggegooid.

Baksteen kan echter wel recyclet worden waardoor het een tweede levenscyclus krijgt en waarmee de duurzaamheid van het bronmateriaal verbetert. Oude handvorm bakstenen kunnen worden schoongemaakt van kalk- en cementresten (eventueel steen-strips gezaagd), waarbij ze hergebruikt kunnen worden in monumentale panden of rustieke/decoratieve constructies.

Figuren 12-20. Baksteen recycling.
Het plakken van steen-strips op gevelisolatie.
Bij een voldoende aanbod van materiaal wordt recycling interessant.[413]

Bij het slopen van gebouwen komen heel veel materialen vrij. Het hergebruik en recycling en opwaarderen van sloopmateriaal is belangrijk in het verduurzamen van de bouw.

Sommige materialen kunnen na het binnenzijdig gevel versterken of muurisolatie weer worden teruggeplaatst naar waar ze vandaan kwamen. Denk aan sanitair, keukens, radiatoren of jaloezieën.

[412] Zie Youtube film: https://www.omroepzeeland.nl/media/52927/Waar-kun-je-een-tweedehands-cv-ketel-vinden-voor-je-bouwproject-in-de-materialenbank en *www.recyclingnederland.nl*
[413] Zie ook: https://www.duurzaamgebouwd.nl/artikel/20100205-baksteen-uit-puinafval

Figuren 12-21. Hergebruik van gaaf sanitair. Links: Archipunt circulair verbouwen. Rechts: Goede materialen worden gecontroleerd en weer op de markt aangeboden.

12.10. Maak een planning voor hergebruik

A. Dun plaatmateriaal moet vaak recyclet worden omdat het niet in haar geheel verwijderd kan worden; gipsboord zal makkelijk breken, maar planken of spaanplaat kan vaak in kleinere afmetingen nog goed hergebruikt worden. Isolatiemateriaal kan bijna altijd goed hergebruikt worden (vooral Rockwool®)[414], eventueel in combinatie met een extra laag nieuw materiaal. Radiatoren zijn voor een beter geïsoleerd huis vaak iets te groot, maar de beste kunnen gewoon teruggeplaatst worden, eventueel met thermostaatkraan en nieuwe geïsoleerde leidingen.

Figuren 12-22. Oude radiatoren voor LTV. Deze krijgen nieuwe kleuren en kunnen gebruikt worden voor LTV-systemen. Als de woning goed geïsoleerd is. Links: www.gimmij.nl Rechts: www.marenco.nl.

B. De juiste instructie naar de bouwvakkers is nodig over welke materialen hergebruikt moeten worden en apart schadevrij moeten worden verwijderd en veilig opgeslagen, en welke materialen recyclet moeten worden. Deze recyclebare materialen moeten apart gehouden en apart gestort worden. Hout bij hout, gips apart, beton resten voor granulaat ook apart, enz.

C. Organisatie van de juiste opslag/afval containers. Bij hergebruik of recycling is het uiterst belangrijk dat niet eerst vermenging van afval ontstaat, dat later weer gescheiden moet worden. Scheiding aan de bron is zeer belangrijk. Dit betekent dat op de bouwplaats verschillende schuren, containers of bouwzakken en pallets ter beschikking moeten staan om de verschillende materialen te verzamelen.

Figuren 12-23. Sorteren zonder vermengen. Links: Foto van Peter op Blogspot. Rechts: Cobouw.

In sommige gevallen zoals bij het verwijderen van schoorstenen en muren van de zolders[415], is het gebruik van stortkokers die direct in een puincontainer eindigen een economische oplossing, tenzij er fraaie handvorm stenen in de buitenschoorsteen zitten. Wanneer de schoorsteenmantel op de begane grond wordt verwijderd is het belangrijk dat het hele gemetselde schoorsteenkanaal ook wordt verwijderd, anders ontstaat er een eenzijdige belasting langs die muur.

[414] Rockwool heeft een speciale recycling service die in samenwerking met Renewi opereert. *Upcycling.*
[415] Vermindering van gebouwmassa en verwijderen van schoorstenen is relatief versterken.

D. Om regenschade te voorkomen moet volumineus bouwmateriaal zoals glaswol of steenwol overdekt opgeslagen worden. Ook als raam- en deurkozijnen tijdelijk verwijderd moeten worden voor een muurversterking zullen deze droog moeten worden opgeslagen. Bij kop-romp-boerderijen kan een gedeelte van de grote schuur voor opslag worden gebruikt.

E. Keukens en badkamers. Voor het aanbrengen van een versterking aan de binnenzijde van het binnen-spouwblad van de buitenschil, moeten keukenelementen of sanitaire installaties eerst zorgvuldig verwijderd worden, zodat ze weer teruggeplaatst kunnen worden, of voor aflevering aan een kringloopcentrum. Beschadigd sanitair is niet economisch te repareren.

Bij het uitslopen van keukens en badkamers komen ook tegels vrij, waarvan de meeste zullen sneuvelen en bij het bouwpuin moeten. Hele tegels kunnen echter ook apart gesorteerd worden en aangeboden aan de bouwmaterialenhandel, eventueel met resten cementmortel aan de achterkant. Tegels en plavuizen zijn bij hergebruik zeer duurzame materialen.[416]

Figuur 12-24. Wastafel opslag voor hergebruik. Nieuw sanitair is een grote kostenpost. Met nieuwe kranen kan oud sanitair uitstekend dienstdoen.[417]

F. Ramen- en raamkozijnen. Bij versterken zijn de raamopeningen kritieke zones die verzwakking van de muren veroorzaken. Voor het versterken van woningen kunnen soms kleinere kozijnen worden toegepast waardoor de raampenanten breder worden. Ook kunnen in de bestaande kozijnen sterke glaspanelen geplaatst worden, hetgeen echter niet in kunststof kozijnen kan. Kozijnen fabrikanten hebben vaak overschotkozijnen. Bij het verduurzamen van de woningen zal de thermische isolatie van de ramen bij voorkeur triple glas in een bredere sponning moeten worden.

Figuur 12-25. Buitendeuren kunnen hergebruikt. Deze kunnen meestal aanzienlijk thermisch verbeterd worden. Dit kan een onderdeel zijn van het duurzaamheid en isolatieplan voor de woning. Het thermisch aanpassen van de deur houdt meestal ook meer scharnieren in. Plak sleutels aan het handvat[418]*.*

Bij het versterken van smalle raampenanten moeten vaak de raamkozijnen verwijderd worden en soms aangepast of kleiner gemaakt. Dit kan goed bij de meeste houten kozijnen, maar zal in een aparte werkplaats gedaan moeten worden met de juiste gereedschappen.

---

[416] In de Groningse provincie zijn nog weinig kringloopcentra. Nieuwe centra kunnen werkgelegenheid opleveren. Voor meer informatie: Stichting milieunet: http://www.stichtingmilieunet.nl/tip_hergebruik.html

[417] Foto: http://www.beijer-rhenen.nl/wp-content/uploads/2013/09/SAM_0249.jpg

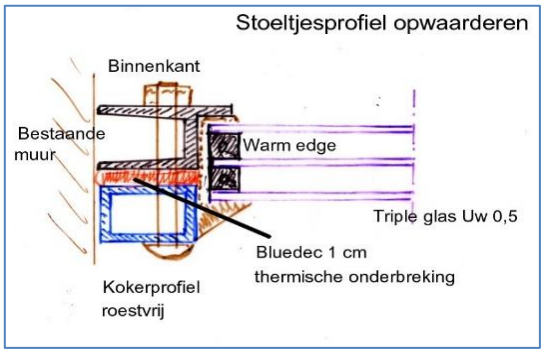
[418] Foto: http://www.verbouwkosten.com/hergebruik-van-bouwmaterialen

Ook hier geldt dat bij het aanpassen van veel woningen deze werkplaatsen opslagcapaciteit moeten hebben voor ramen onder renovatie en voor hergebruik[419].

Figuur 12-26. Kozijnen van hout aanpassen.
Door zorgvuldig te slopen kunnen houten kozijnen opnieuw gebruikt worden, bijvoorbeeld door ze aan de buitenzijde te verdikken voor de toepassing van dikker isolatieglas. Grenenhouten kozijnen zijn vaak van goede kwaliteit.[420]
Het extra hout aan de buitenkant kan het duurzame Acoya zijn.

Figuur 12-27. Gemengde afvalcontainer.
Deze is met complete ramen met glas en deuren, hout en plaatmateriaal. Het opwaarderen van de goede grenen ramen en kozijnen voor de toepassing van triple glas was even duur, maar wel 2X zo isolerend. De aannemer wilde hier slechts mahonie ramen (niet FSC-hout) leveren voor slechts matig isolerend HR++ glas.
De gestorte materialen worden niet recyclet door het containerbedrijf (te veel werk).

Figuur 12-28. Metalen stoeltjesprofiel kozijnen.
Deze zijn thermisch zeer slecht. Het inzetten van isolatieglas of vacuümglas wordt vaak niet gegarandeerd. Aan de binnenkant van het originele buiten raam kan wel een HR++ binnen een compleet achterzetraam geplaatst worden. Ook kan het kozijn dikker gemaakt worden.



Figuur12-29. Stoeltjesprofiel opwaarderen.
Geschikt maken voor nieuwe toepassing triple glas[421]. Het metalen stoeltjes profiel blijft hier het koudste oppervlak, maar de Bluedec vermindert het warmteverlies. Dit is een optie wanneer de stalen ramen vanwege de architectuur niet vervangen mogen worden. De ruiten worden er van de buitenkant in gezet. Aan de binnenkant kan nog een isolerende Bluedec met afwerking worden bevestigd.

[419] Veel aannemers kunnen houten kozijnen zelf aanpassen, maar bij grotere aantallen kan het wenselijk zijn dat er gespecialiseerde timmerbedrijven zich ook gaan toeleggen op kozijn aanpassingen.
[420] Foto: www.slopenweb.nl Zie ook voor recycling kozijnen: https://www.gpgroot.nl/
[421] Het stoeltjesprofiel uit de jaren 60 kan ook verdikt worden door er een koker op te monteren met thermische onderbreking. In de veel bredere sponning kan da triple glas geplaatst worden. Op deze manier blijft het buitenaanzicht hetzelfde en is het uit-monteren van het stoeltjesprofielraam niet nodig.

Figuur 12-30. Dakpannen hergebruiken.
Dakpannen blijven honderden jaren goed en zijn steeds opnieuw te gebruiken. Vaak worden ze verhandeld via de bouwmaterialenhandel. Gebroken dakpannen apart opslaan of bij het baksteen afval voegen om te vermalen.[422] Bij een dampopen, regendoorslag-werende dakfolie op het dakbeschot kunnen oude dakpannen uitstekend nog 100 jaar dienstdoen.
Op www.Marktplaats.nl worden zeer regelmatig partijen dakpannen aangeboden (gratis afhalen) en ver-/gekocht.

G. Oud Rockwool en EPS hebben al een goede recycling. Als het schoon wordt aangeboden wordt het volledig door de bedrijven opnieuw gebruikt.

Figuur 12-31. Restanten PIR en Recticel platen.
In de markt is een ruim aanbod van die restanten die een goede drukvastheid hebben. De isolatiewaarde is niet minder dan van nieuwe platen, maar ze kosten wel de helft. De meeste van deze platen zijn dampdicht gecacheerd met een aluminiumfolie.[423] Kingspan heeft nu een volledige recycling van restmateriaal.
Wit EPS wordt volledig recyclet, in het gemeentelijke scheidingsstation zijn er aparte containers.

H. Radiatoren. Bij binnenzijdige muurversterking met muurisolatie moeten de radiatoren (tijdelijk) verwijderd worden. Bij de goed geïsoleerde woning kan met (1) kleinere radiatoren worden volstaan, of (2) met een kleiner aantal radiatoren, of (3) met een LTV gestookt worden, of (4) radiatorventilatoren toegepast. De LTV is het meest voordelig maar dan is technisch gesproken een groter afgifteoppervlak nodig dan bij hoge temperatuur verwarming. Inwendig schoonspoelen is nodig als ze een poosje zonder water hebben gestaan. Bij een nieuwe Cv-ketel of warmtepomp die een andere doorstroomsnelheid heeft, kan er vóór de Cv-installatie een Spirotech® roest/ijzer filter geplaatst worden ter bescherming van de warmtewisselaar en circulatiepomp.

Figuur 12-32. Een Spirotech vóór de Cv-ketel. Deze verwijderd metaal- en roestdeeltjes uit de leidingen zodat deze niet in de pomp terecht komen.
http://www.spirotech.com/nl/theorie/pompbescherming/

I. Vloertegels en Wandtegels. Uit de sloop van vloeren komen zelden hele keramische tegels vrij, maar bij wanden is dit wel mogelijk. Het hergebruik wordt bemoeilijkt als de mortellaag sterk aan de tegel zit verbonden. De meerdere kosten van het verwerken wegen dan zelden op tegen de besparing van het materiaal, tenzij het antieke tegels zijn.

[422] Foto: http://www.beijer-rhenen.nl/wp-content/uploads/2013/09/diverse-dakpannen.jpg
[423] Foto: http://www.gebruiktebouwmaterialen.com/Materialen.aspx?Artikelgroep=23&ArtikelSubgroep=52&Artikel=119

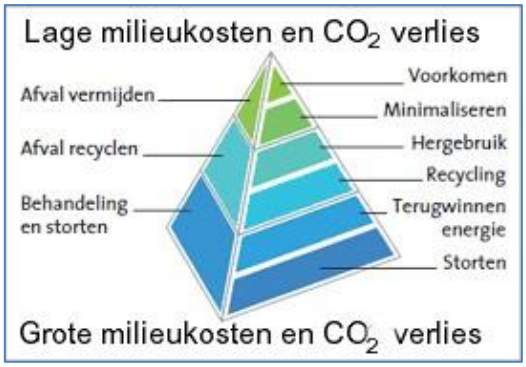
Figuur 12-33. Gebroken sanitaire en vloertegels. Deze kunnen hergebruikt worden in vloeren en ornamentaal tuinmeubilair.

Links. Bank in dorp. Rechts. Een voorbeeld zijn de banken in het Park Guell van Gaudi in Barcelona. Het Circulair Warenhuis (Leiden) maakt van beschadigd keramiek nieuw terrazzo. Door Max Lipsey.

J. Plastic afval. Veel bouwmaterialen zijn in plastic verpakt voor transport. Verschillende soorten plastic kunnen verwerkt worden in straatmeubilair en bermpaaltjes.

K. Papier en karton. Apart opslaan en aanbieden voorkomt vermenging en degradatie. Voor de meeste aannemers en kleien bouwwerken blijkt dat toch te veel werk/kosten.

Bovenstaande lijst is slechts een greep uit de vele aspecten die bij hergebruikt spelen. Hoe groter de hoeveelheden materiaal, hoe beter het loont het om het afval gescheiden in te leveren voor hergebruik of recycling. Het is aanbevolen om per dorp locaties aan te wijzen voor tijdelijk opslag en verwerking van deze materialen (in een grote gebinten schuur). Dat wil zeggen dat er voor elk dorp in de provincie een bouwmaterialen kringloop opgezet kan worden.



Figuur 12-34. Milieukosten en CO_2-verlies. Voor meer informatie over duurzaam bouwen in het algemeen zie: http://gidsduurzamegebouwen.leefmilieubrussel.be/nl/g-mat07-duurzame-keuze-van-raamkaders.html?IDC=89&IDD=6730

Aan de hand van de verbouwbegroting kan een lijst gemaakt worden van de diverse gebouw onderdelen die recyclet of hergebruikt kunnen worden en hun bestemming. Op basis van de lijst kan een schatting gemaakt worden van de benodigde opslagruimtes. De lijst is ook een ondersteuning voor het maken van een goede begroting van de werkzaamheden en de volgorde van uitvoering.

Ruimte	Onderdeel	Oppervlakte	Behandeling	Naar	Opslag	Opmerkingen
Badkamer	wastafel	1 buitenmuur	Afkoppel	Schuur 1	3 maanden	Met kranen
	spiegel	1 buitenmuur	demontage	Schuur 1	3 maanden	staand
	Bad- douche	tussenmuur	Afkoppelen	Schuur 1	3 maanden	Met kranen
	Tegels	Rondom 1,5 m	slopen	Zak tegels	Naar TC	buiten
	Waterleiding	10 m koper	Vervangen PCVC	Container 1	4 maanden	verkoop
	Plafond lamp	Met spotjes	demontage	Loods	3 maanden	Vervangen LED
	Radiatoren	60x 120 cm	Afkoppelen, later terugplaatsen	Schuur 1	3 maanden	Spoelen + nieuwe Thermostaatkraan
	Kozijn noord	100 x 150 cm	Demontage kozijn en sponning breder maken.	Timmerbedrijf inclusief triple glas.	< 3 maanden, vóór nieuw tegelwerk	Timmerbedrijf bestelt Triple glas
	Deur naar slaapkamer	80 x 190 cm	Kozijn blijft zitten. Deur inkorten na vloeraanpassing	Deur naar werkplaats. Plak sleutels vast	3 maanden	Voor installatie schilderen.

Groningse bedrijven die sloopafval ontvangen en verwerken zijn op het internet te vinden:
Zie: www.kringloopbouwmaterialen.nl en http://www.kringloopnet.nl/kringloopbouwmaterialen.swf

12.11. Circulair Design Collectief

De Nederlandse overheid heeft een stappenplan ontwikkeld zodat materialen van nieuwe en oude gebouwen zoveel mogelijk hergebruikt en recyclet gaan worden. Dit betekent in de eerste plaats dat men van het begin af aan zoveel mogelijk circulair (maximaal hergebruik) moet gaan ontwerpen, zodat bij vernieuwingen in de hoofdconstructie de inbouw onderdelen goed hergebruikt en recyclet kunnen worden en er zo min mogelijk verlies van bouwmaterialen ontstaat. Om de milieudoelstellingen van een sterk verminderde CO_2-uitstoot per 2050 te realiseren (Parijs akkoord) is het volgende traject uitgezet:

2021: Standaards: er zijn nog geen Nederlandse en weinig Europese standaards en normen on circulair te ontwerpen. Om de volgende doelen te bereiken moeten er veel normen en richtlijnen komen.
2025: Vastgoed: alle overheden moeten circulair aanbesteden met vastgoedprojecten. Dit betekent dat vanaf 2024 alle architectenbureaus ook op circulaire principes moeten ontwerpen.
2030: Materiaalgebruik: ten minste 50% van alle materialen en toepassingen moet circulair zijn. Dat betekent ook dat technische installaties zo circulair ontworpen moeten zijn.
2050: Alle materialen en 100% van de toepassingen moeten circulair zijn.

Het bovenstaande is voor nieuwbouw geformuleerd, maar hetzelfde geldt voor verbouw, renovatie of sloop. Wanneer men in Groningen bouwkundige aanpassingen gaat doen dan zouden de ontwerpen ook zo gemaakt moeten worden en aangebracht dat ze op de duur goed recyclebaar zijn.

Er kunnen vijf stappen onderscheiden worden.

Stap 1. Om efficiënt te kunnen recyclen moet het aanbod van materialen uit sloop of renovatie groot zijn en centraal worden verzameld voor de volgende verwerkingsfase. De bouwmaatschappijen moeten dus een zo groot mogelijke materialenbron hebben in de vorm van veel gebouwen (donor) en in staat zijn om die materialen te verzamelen en tijdelijk op te slaan tot het verwerkingsmoment.

Figuren 12-35. Sloop Satelliettoren Bank. Hier werden bijna alle materialen hergebruikt in andere projecten (‘Urban Mining’). *De ClickBricPure is een façade waarbij bij sloop de stenen volledig hergebruikt kunnen worden.*

Stap 2. Er moet samen met de industrie onderzocht worden hoe de verschillende verzamelde materialen het beste hergebruikt of recyclet kunnen worden. Het is hier belangrijk dat de materialen niet vervuild zijn door gemend storten in afvalcontainers. Gescheiden collectie is een belangrijke voorwaarde. De recyclingfabrieken zullen materialen uit verschillende locaties van het land moeten verzamelen van de sloop- en renovatie-bouwbedrijven.

Stap 3. De gebouwen moeten getaxeerd worden op de hergebruikwaarde van de materialen, dus niet alleen op de grondwaarde (huurwaarde x oppervlak). Bij deze nieuwe taxatiemethode moet de hergebruikwaarde van de materialen worden aangegeven. Deze hergebruikwaarde zal gaan toenemen naarmate er meer bedrijven zijn die dergelijke materialen verzamelen en er meer industrieën zijn die ze verwerken.

Stap 4. De bouwwereld moet actief gaan zoeken naar de hergebruikopties van de meest gebruikte materialen en de verzamelmethode. Beton is als grote energievreter en grote massa een van de eerste aandachtspunten voor recycling. In het ontwerpen van nieuw beton moet het hergebruik van oud beton worden meegenomen, speciaal in constructies die geen grote sterkte nodig hebben.

Stap 5. Het moet vanaf de ontwerpfase duidelijk zijn wie de eigenaar is van de grondstoffen. Wanneer de gebruikersperiode is afgelopen dan kan het materiaal terugkomen naar de producent of oorspronkelijke leverancier. Een soort van leasing van de materialen, zoals ook met equipment al het geval is (systeem New Horizons).

De bovengenoemde stappen zijn mogelijk wanneer bij de productie van de materialen de werkelijk milieukosten en van de CO_2-uitstoot in rekening gebracht worden inclusief de delving, transport, fabricage en opnieuw transport, verwerking in de bouw en de sloopkosten. Materialen moeten meer belast worden dan de arbeid die nodig is voor het zorgvuldig verwijderen uit de bestaande bouw.

12.12. Duurzaam door milieuvriendelijke materialen

Nieuwe bouwmaterialen vereisen vaak grote hoeveelheden energie (equivalent met CO_2-uitstoot) voor hun productie, maar er komen steeds meer bouwmaterialen op de markt die minder milieubelasting opleveren, volledig circulair zijn en tegelijkertijd een beter binnenklimaat kunnen produceren. Vooral op het gebied van isolatiematerialen zijn verschillende opties mogelijk[424].

Voorbeelden zijn:

- ✓ Houtvezelisolatie, vergelijkbaar met goede steenwol of glaswol kwaliteit.
  Ook als stuckplaat te krijgen. Gutex termoflex bij **10 cm** dikte **Rc = 3,0 m².K/W**.
- ✓ Isohemp isolatie bouwblokken met goede vochtregulatie, geluidsabsorptie
- ✓ en warmte opslag. Ook HempFlax isolatiemateriaal bij **10 cm** dikte **Rc = 1,3 m².K/W.**
- ✓ Katoenisolatie (recyclet materiaal) vergelijkbaar met
  gewone kwaliteit steenwol of glaswol, maar prikt niet; bij **10 cm** dikte **Rc = 2,7 m².K/W**.
- ✓ IsoCor, geëxpandeerde kurkisolatie, bij **10 cm** dikte **Rc = 2,5 m².K/W.**
- ✓ Natuurverf van natuurlijke grondstoffen (lijnolie, krijt). Voor de toepassing buiten is het belangrijk of de weersbestendigheid vergelijkbaar is met andere verven.

Een van de voordelen van natuurlijke isolatiematerialen is dat ze dampopen zijn en vochtregulerend, terwijl een dikke laag binnenzijdig leem pleisterwerk goede warmteopslag heeft en daarmee een comfortabel binnenklimaat geeft. Sommige aannemers zijn echter niet bekend met deze opties.

Een van de nadelen is dat ze door een minder isolatiewaarde meer toegevoegde muurdikte vereisen dan goede synthetisch isolatiematerialen zoals: PUR-platen bij **10 cm** dikte **Rc = 4,0 m².K/W.**
PIR-platen of Recticel bij **10 cm** dikte **Rc = 4,5 m².K/W**.
Hoogwaardige thermische isolatie (Aerogel) Bluedec® bij **10 cm** dikte **Rc = 7,8 m².K/W.**

Bij dit (duurdere) materiaal is minder van de dikte nodig om hetzelfde isolatie-effect te bereiken. Hoogwaardig Bluedec is geschikt voor het verminderen van grote warmtelekken bij staalconstructies. Vacuümpanelen voor hoogbouw[425] en koelinstallaties bij **10 cm dikte Rc = 15,0 m².K/W**.

De Doe-Het-Zelver (ook de architect en aannemer) zal bij de toepassing van bouwmaterialen en betere thermische isolatie goed rekening moeten houden met de bouwfysische aspecten van die materialen en de constructiedetails. Zo mag je vacuümpanelen niet doorboren (schroeven of spijkeren).[426]

---

[424] Zie www.groenebouwmaterialen.nl en www.ecoplus-bouw.nl

[425] De toepassingsdikte is gemiddeld 2 tot 4 cm met Rc 3 tot Rc 6 m².K/W. Komt in platen van 1 cm dikte.

[426] Zie: https://www.isolatiemateriaal.nl/kenniscentrum/isolatiewaarde-de-rd-waarde-rc-waarde-en-lambdawaarde/

De volgende zijn een paar van de aandachtspunten die nodig zijn bij renovatie:

- Goed isoleren voor een langdurige verbetering heeft de prioriteit boven installaties die slechts 15 jaar meegaan omdat ze slijten of er nieuwere meer efficiënte systemen op de markt komen.
- Voor de beoordeling van de isolatiewaarde van een constructie (Rc in m^2.K/W) moet deze vergeleken worden met de 2021 BENG-waarden en niet met de λ-waarde of Rd-waarde van een los materiaal, omdat dit verschillende eenheden zijn. Bij glas, ramen en kozijnen wordt meestal de U-waarde gebruikt hetgeen 1/Rc-waarde is. Dit is uiterst verwarrend voor de leek.
- De verbetering van de thermische schil van het gebouw houdt meestal ook een verandering van de vochtdoorgang in en minder of geen zuurstofuitwisseling door gebrek aan ventilatie. Het gehele ventilatiegebeuren in een woning moet dan beoordeeld/aangepast worden.
- De thermische isolatie of verbeterde ventilatie kan in verschillende fasen worden uitgevoerd.
- De open haard is warmte-technisch niet efficiënt en milieutechnisch zeer nadelig vanwege de grote CO_2-uitstoot en fijnstof. Bij een herziening van het verwarmingssysteem kan de openhaard (mantel) en schoorsteen vervallen. Soms kan een schoorsteenkanaal als behuizing voor een door dat kanaal door te trekken ventilatiekoker dienen.
- Er bestaan verschillen tussen vochtdicht en damp-open construeren. Bij het herzien van de isolatie van de buitenschil en in combinatie met luchtverversing (keuken wasemkap) en verwarming, moet hier op de juiste manier aandacht aan gegeven worden.
- Wat zijn de consequenties van het gebruik van verschillende soorten isolatiemateriaal of afwerkingsmateriaal en installaties (inclusief PV) op de brandveiligheid van het gebouw? Moet er asbest, loden waterleiding, rieten plafonds, zachtboard of oude elektra verwijderd?
- Welke bouwmethoden vereisen het minste onderhoud op de lange termijn? Schilderwerk en arbeid is duur, dus voor de prijs van 5 x schilderen heb je al een nieuw kunststof kozijn. Kunststof kozijnen voor triple glas zijn in dat opzicht duurzaam te noemen, omdat ze niet elke 8 tot 10 jaar schilder onderhoud vergen. Zijn CV en warmwater leidingen geïsoleerd? Tropisch hardhout (mahonie) kan wel lang meegaan bij kozijnen, maar moet dan FSC geproduceerd zijn. Bovendien vereist hardhoud toch meer onderhoud dan aluminium of kunststof. Voor kuststof kozijnen is het niet bezwaarlijk dat er een percentage recyclet plastic in zit.
- Wat voor opties bestaan er in de regio om bouwmaterialen te hergebruiken of om oude bouwmaterialen in te leveren? Hoe kan voorkomen worden dat alle bouw restmaterialen allemaal in dezelfde afvalcontainer terecht komen waardoor de waarde verdwijnt.
- Wat voor opties bestaan er om samen met de aannemer of de buren en samen een groter aantal woningen aan te pakken en/of een gedeelte van de werkzaamheden zelf te verrichten, of samen een groter aantal woningen van hetzelfde type te contracteren om de verbouwkosten laag te houden?
- Welke bedrijven bestaan er voor het opwaarderen van oude kozijnen en deuren voor nieuwe toepassingen. Zo ook kringloopwinkels voor huisraad en bedrijven die meubilair opwaarderen.

**********Terug naar het begin van dit Hoofdstuk 12**********

**********Terug naar de inhoudsopgave figuren**********

Duurzaam Herstel en Versterking van Woningen in Groningen

Hoofdstuk 13 BASIS SEISMISCHE REGELS

Na de aardbevingsproblematiek en de afbouw van de aardgasproductie

Abstract:
Voor het ontwerpen of versterken van gebouwen in seismische gebieden geeft de Eurocode 8 en de Nederlandse versie, de NPR9998 een aantal richtlijnen. Deze richtlijnen zijn uit vele bronnen in de wereld beschikbaar. Voor de woningbouw in Groningen zijn de meest belangrijke uitgelicht en verbeeld met verkeersbordenplaatjes. Rode cirkel is verboden en blauw vierkant voor verplicht. Tussenvormen met ronde of vierkante borden zonder kleur zijn gebruikt. De verschillen tussen de borden worden met korte teksten toegelicht Dit hoofdstukje is een samenvatting van de voorgaande twaalf hoofdstukken waarin de maatregelen in detail worden toegelicht met praktijkvoorbeelden. Eenvoudige regels voor aardbevingsbestendig bouwen.

Kernwoorden o.a.:
Base-isolation, Beton, Bouwmethode, Eurocode 8, fout, goed, NPR9998, platformfundering, scheuren, sterkte.

Door: Sjoerd Nienhuys
Bouwkundig, seismisch ingenieur
Juli 2023

13.0. Voorwoord

Het materiaal en afbeeldingen van de voorgaande 12 hoofdstukken werd ontwikkeld op basis van praktijksituaties na de aardbevingsschade van de aardbeving van 16 augustus te Huizinge 2012. Het seismisch versterken van woningen werd noodzakelijk in overweging nemende dat er zich nog veel meer soortgelijke of zelfs sterkere bevingen zouden kunnen voordoen.

Aardbevingen zijn wereldwijd voorkomend en om de gebouwde omgeving voldoende bestand te maken tegen deze kleine en grote aardbevingen zijn een groot aantal regels opgesteld en rekenmethoden ontwikkeld. Voor lage bebouwing, zoals die in de provincie Groningen aanwezig is kunnen een aantal basisregels worden genoemd die van toepassing zijn wanneer de woningen seismisch versterkt moeten worden.

De zeven belangrijkste regels zijn:

1. Reduceer de massa van het gebouw of de onderdelen.
2. Zorg voor een compactheid en regelmatigheid van de plattegrond
3. Zorg voor een regelmatigheid in de hoogte.
4. Zorg voor continuïteit in de constructie zonder onderbrekingen.
5. Zorg voor een robuustheid in de constructie en de aanwezigheid van een tweede draagweg.
6. Gebruik ductiele[427] (niet brosse) materialen, constructies en verbindingen
7. Zorg voor een gelijkmatige verdeling van de stabiliserende elementen in de plattegrond.

Omdat duidelijk te maken wat deze regels in de praktijk betekenen zijn deze gevisualiseerd in een aantal schetsen en geprojecteerd op verkeersborden.

In 2023 blijkt dat sommige aannemers en bouwvakkers nog steeds niet weten wat er gebeuren moet en/of voeren de “seismisch bestendige” nieuwbouw niet goed uit. In het onderstaande project van nieuwbouwwoningen woningen in Appingedam werden de korte ‘shearwalls’ wel ontworpen, maar niet aan de fundering gekoppeld. (Rapportage RTV-Noord juli 2023)[428] .

Figuren 13-1.
Nieuwbouw Appingedam.
In plaats van seismisch afgekeurde woningen (gesloopt).
Juist bij deze woningen met veel gevelramen is die shearwall essentieel.

Links.
Herstelde constructie.
Rapportage RTV-Noord.

[427] Dit zijn taaie elementen die het vermogen hebben om te vervormen zonder verlies van hun sterkte-functie.
[428] https://www.rtvnoord.nl/nieuws/1047046/van-onveilig-huis-naar-nieuwbouwhuis-maar-ons-huis-voelt-niet-als-thuis

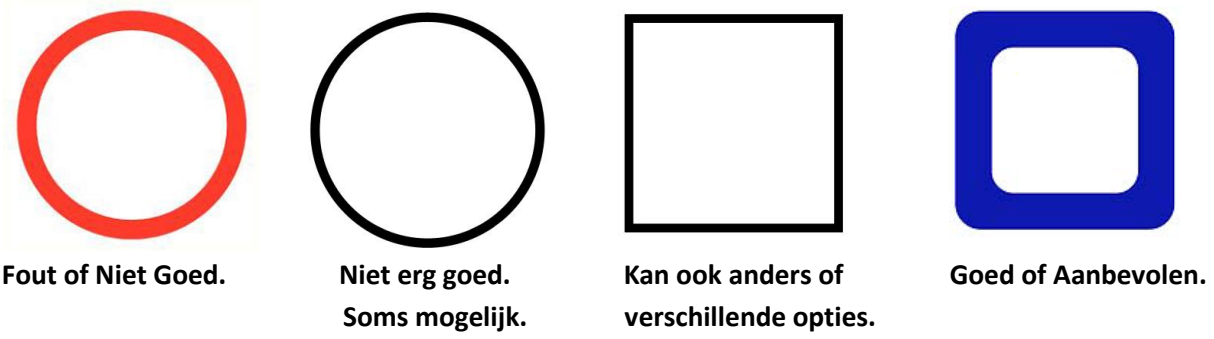
13-1. Het verkeersborden model

Er zijn vele manieren mogelijk om de kennis over aardbevingsbestendig (seismisch) bouwen of bouwkundig versterken over te dragen aan verschillende groepen van de bevolking. Aannemers, bouwvakkers, schade inspecteurs, architecten, bouwen woningtoezicht, ingenieurs, makelaars of metselaars hebben niet alleen verschillende achtergrondkennis, maar hebben ook verschillende soorten informatie nodig. Terwijl bouwkundigen en civiele ingenieurs de Eurocode 8 of de daaraan gerelateerde Nationale Praktijk Richtlijn (NPR9998) kunnen bestuderen, zullen deze documenten voor velen te ingewikkeld zijn om te gebruiken.

Een van de eenvoudigste manieren is om aan te geven wat wel goed is en wat niet goed is kan het principe van de verkeersborden worden toegepast: "**DOE DIT NIET**", en "**DOE DIT WEL**"

Dit hoofdstuk 13 geeft een voorbeeld op basis van dat verkeersborden principe van, wat wel en wat niet goed is in een aardbevingsgebied. Het verkeersborden principe of het gebruik van pictogrammen is een duidelijke manier voor het overbrengen van informatie. De aanbevelingen zijn hierdoor duidelijk, alhoewel dit niet direct begrip kweekt rondom het hoe en waarom. In dit hoofdstuk wordt daarom naast de borden een korte toelichting gegeven van de betekenis van de borden.

Het verkeersborden principe methode kent als hoofdgroepen het **rode ronde** verbodsbord is verboden (fout of niet goed), het blauwe vierkante bord is verplicht (wel goed of aanbevolen).



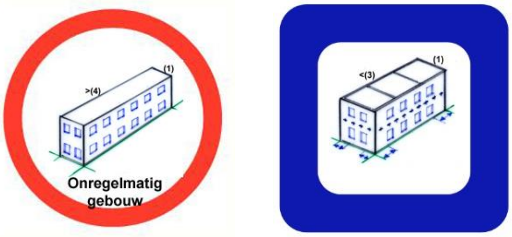
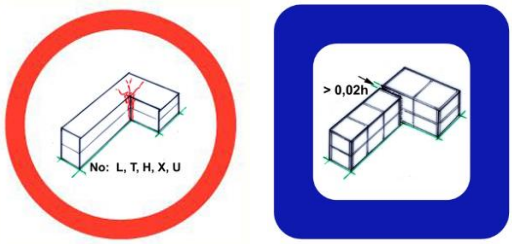
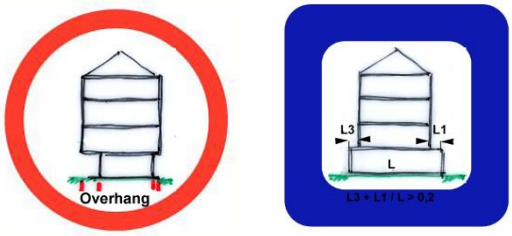
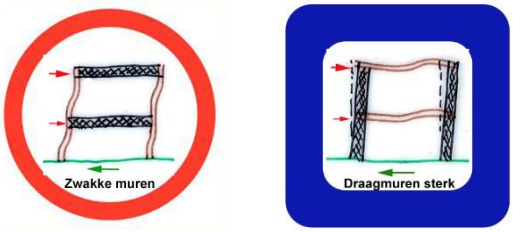
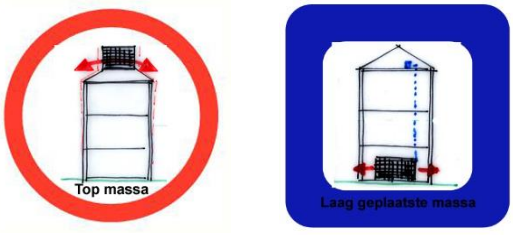
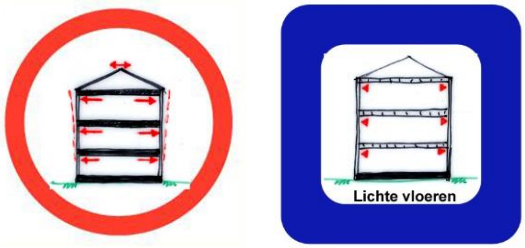
Figuur 13-2. Vier soorten borden.

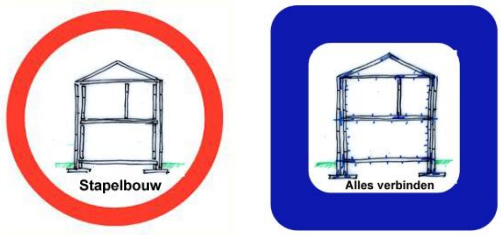
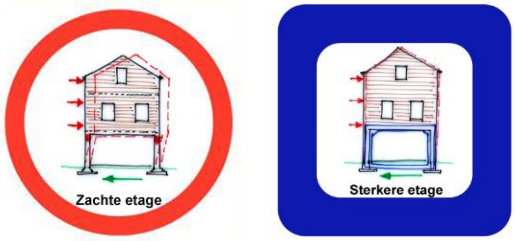
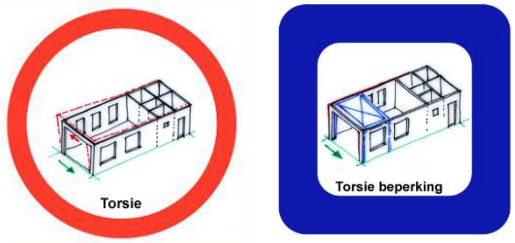
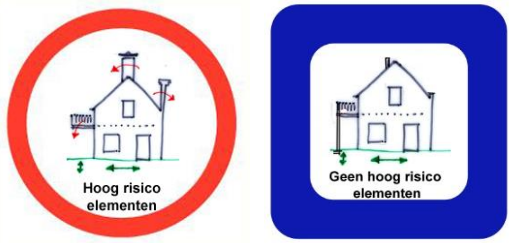
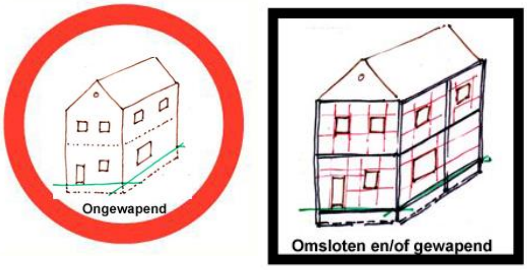
Omdat voor lage gebouwen of voor sommige situaties enkele oplossingen niet helemaal verboden zijn, is hier ook de zwarte cirkel geïntroduceerd (niet erg goed, maar soms mogelijk). Insgelijks zijn er ook andere oplossingen mogelijk, waarvoor het zwarte vierkant is geïntroduceerd (kan ook anders of verschillende opties). De meeste ontwerpen kunnen echter met **goed** of **fout** worden aangeduid, afhankelijk van de te verwachten maximale aardbevingssterkte.

Naast deze voorbeelden zijn ook een paar schetsen van alternatieve oplossingen getoond. De borden zijn ingedeeld in (1) Algemene adviezen, (2) Funderingen, (3) Muren, (4) Vloeren, (5) Daken en (6) Schoorstenen. De afbeeldingen zijn kleine kopieën uit de voorgaande 12 hoofdstukken.

13.2. Algemeen

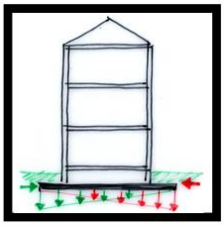
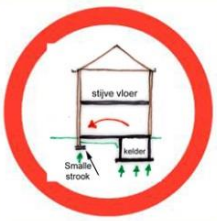
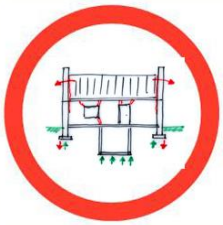
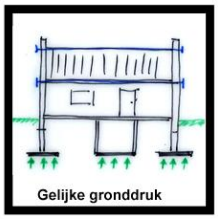
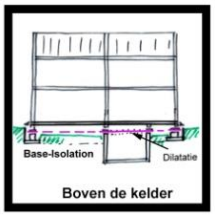
De volgende serie borden betreft algemene adviezen of maatregels die op gebouwen van toepassing zijn. De meeste borden kunnen ook zonder tekst worden toegepast.

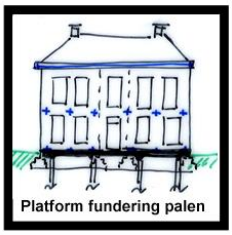
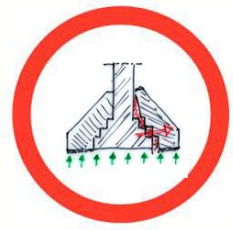
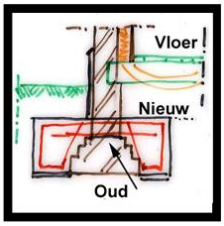
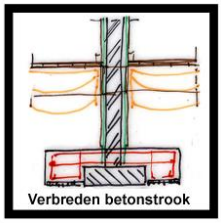
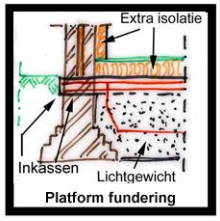
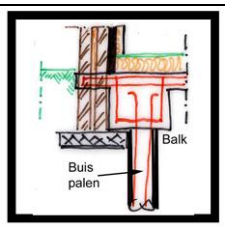
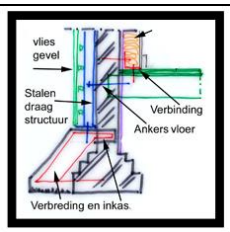
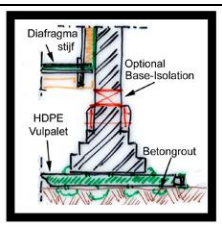
Algemene adviezen	Toelichting
	De belasting van een aardbeving op een gebouw is direct evenredig met de massa van de constructie. Hoe groter het gewicht van het gebouw is, hoe groter de krachten van aardbeving op de constructie zullen zijn. Het is daarom belangrijk om de massa zo klein mogelijk te houden.
	Onregelmatige lange gebouwen krijgen vergrote aardbevingsbelastingen. 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.
	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 beton constructies is de minimum dilatatie breedte 0,02 x de hoogte.
	De basis van een gebouw moet even breed of breder zijn dan de bovenbouw. De bovenbouw mag echter niet te snel smaller worden, want dan ontstaat er onregelmatigheid. De versmallingen (L3 + L1) / L $\geq$ 0,2.
	De dragende muren en kolommen in een gebouw moeten sterker zijn dan de vloeren. Als een dragende muur of kolom bezwijkt, dan stort het hele gebouw in. Als een vloer scheurt of ductiel (taai) vervormd blijft het gebouw nog wel staan.
	Wanneer een grote massa in een gebouw noodzakelijk is, dan moet deze zo laag mogelijk geplaatst worden. Een voorbeeld is een grote wateropslag of een zware gemetselde schoorsteen. Een lage tank met een hydrofoor is een betere oplossing, of een lichte schoorsteen.
	Zware betonnen vloerconstructies leveren een grote horizontale belasting. Lichtgewicht houten vloeren geven een kleine aardbeving belasting. 50% van de nuttige vloerbelasting moet er bij opgeteld worden voor de berekening van de sterkte.

Algemene adviezen	Toelichting
	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.
	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.
	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.
	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.
	In een gebied met matige aardbevingen (PGA $\geq$ 0,2g) is bij nieuwbouw ongewapend metselwerk van de dragende muren niet toegestaan. Gemetselde dragende muren moeten in een aardbevingsgebied (trek)wapening hebben rond alle openingen en langs alle openingen en muureinden.

13-3. 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
 Bredere fundering geeft lagere gronddruk.	*Base-Isolation* of extra palen langs de kanten. Verschillende oplossingen zijn mogelijk. De *base-isolation* geeft een gelijkmatige gronddruk vanwege de dubbele fundering.
	Bij een gedeeltelijke kelder zal de gronddruk onder de keldervloer lager zijn dan onder de stroken van de muren, en kan de smallere strokenfundering verzakken ten opzichte van de kelder. Het breder maken van de strokenfundering en dieper aanleggen, zal het gelijke gronddruk opleveren.
 	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 boven in de muren.
	Onder het gehele gebouw inclusief kelder kan een platformfundering gemaakt worden, waarbij de kelder wordt uitgebreid. Er kan ook een *Base-isolation* onder een versterkt vloerdiafragma gemaakt worden, of onder het gehele gebouw als ook de kelder wordt uitgebreid.
	Bij ongewapend metselwerk muren in oude woningen kunnen scheuren optreden ten gevolge van aardbevingen. Door het toepassen van een *Base-isolation* zullen de horizontale krachten op het gebouw sterk verminderen, waardoor minder versterking aan het gebouw nodig zal zijn.
	Bij het zijwaarts wegdrukken 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.

Fundering adviezen	Toelichting
	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.
	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 *Base-isolation* worden toegepast.
 	  Methoden om reeds bestaande smalle funderingen breder te maken.
 	 Sommige methoden kunnen worden gecombineerd met *Base-isolation* waardoor de gebouw versterking minder uitgebreid kan zijn.

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. Ook zullen de muren bij verzakkingen gaan scheuren ondanks de mogelijke bouwkundige versterkingen.

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. Dragende binnenmuren kunnen toekomstige aanpassingen in de woning in de weg zitten.

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.

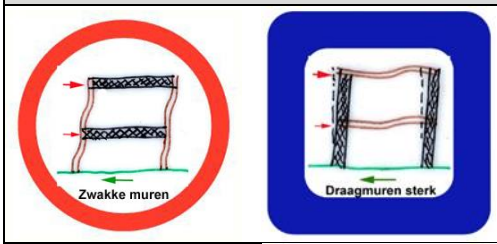
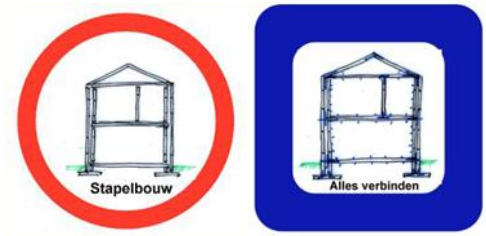
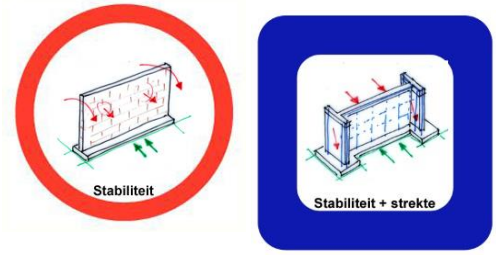
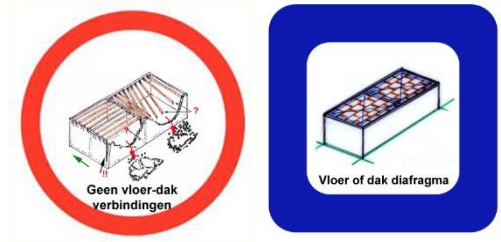
Bij kwetsbare gebouwen en monumenten kan het zijn dat een *Base-isolation* de meest economische oplossing is omdat hierdoor de mate van versterking in of aan het zelf gebouw minder zal zijn. Goedkope inbouw en licht lopende roller- of glijsystemen die slechts een kleine horizontale beweging toelaten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

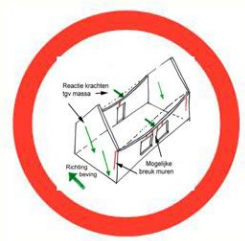
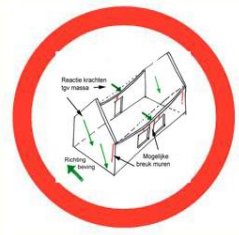
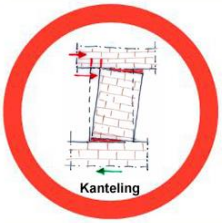
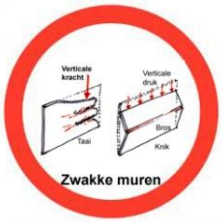
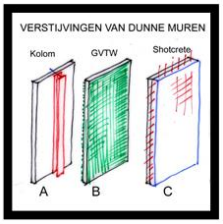
13-4. Dragende muren

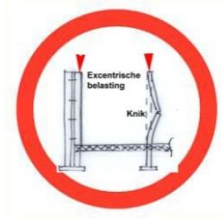
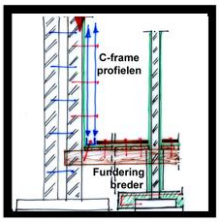
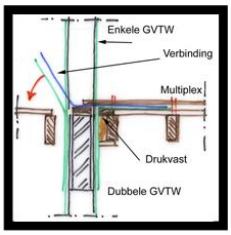
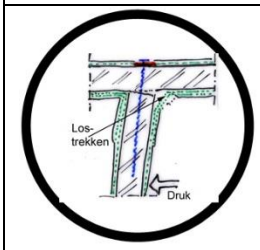
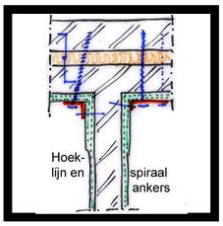
De dragende Nederlandse muren zijn relatief dun en zwak in vergelijking met muren in echte aardbevingslanden. De spouwmuren, waarbij slechts het binnenste spouwblad dragend is, komt in weinig landen voor. Het type dunne spouwankers dat de twee spouwbladen verbindt levert weinig sterkte aan de muren. Van oude gebouwen kunnen deze spouwankers verroest zijn. Dragende binnenmuren 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 aardbevingskrachten uit de fundering naar boven en krachten terug vanuit 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.

Muren adviezen	Toelichting
	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 overal 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 het vloerdiafragma 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 buitenmuren 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 trekkrachten 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 strijkbalken. 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 bovenkanten van de ramen de eerste scheuren ontstaan. Bij oudere gebouwen ontbreken de lateien vaak of zijn erg kort opgelegd. Door het inbrengen van trekwapening helemaal rondom het gebouw, worden de muren bij elkaar gehouden en versterkt.
	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 GlasVezelTextielWapening (GVTW) aan beide kanten op te brengen (lijmen).

Muren adviezen	Toelichting
 	Excentrische muurbelasting (ook horizontaal) moet voorkomen worden, want dat kan knik opleveren. Binnen de buitenmuren kan dit met C-frames. Tussenmuren hebben fundering verbreding nodig en tweezijdige GVTW die sterk aan het vloerdiafragma is verbonden.
	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.
 	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.
	In een gebied met matige aardbevingen (PGA $\geq$ 0,2*g*) is bij nieuwbouw ongewapend metselwerk of niet omsloten metselwerk van de dragende muren niet toegestaan.[429] Gemetselde dragende muren moeten in een aardbevingsgebied (trek)wapening hebben rond alle openingen en langs alle muureinden.

13.5. Vloeren en vloerdiafragma's

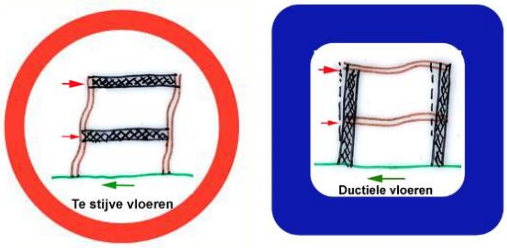
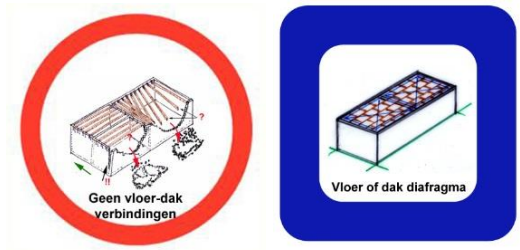
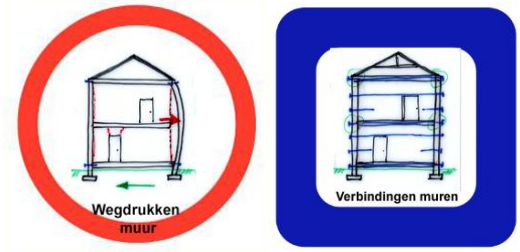
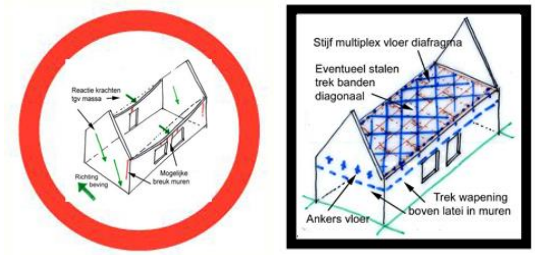
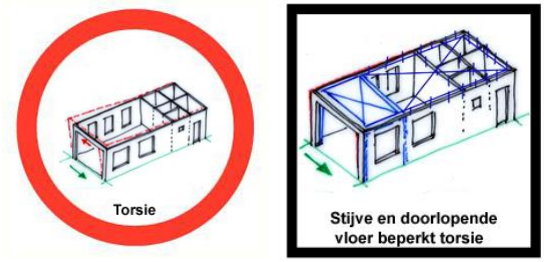
In de Nederlandse woningbouw komen vier soorten vloeren veelvuldig voor, die in een aardbevingsgebied structurele problemen kunnen hebben of veroorzaken:

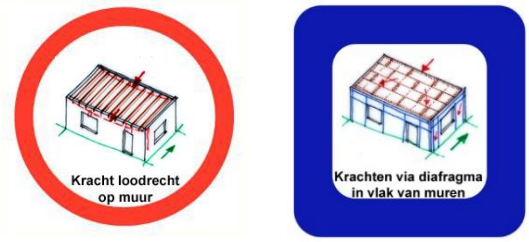
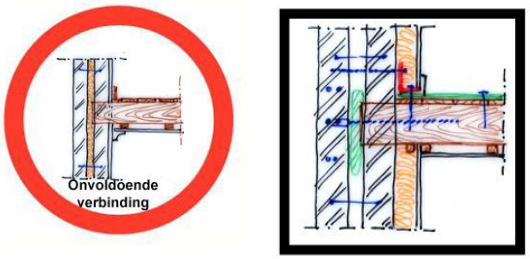
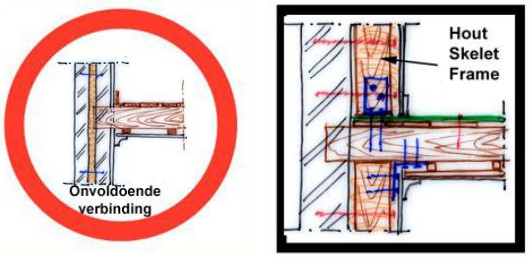
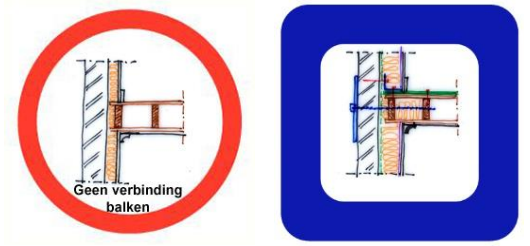
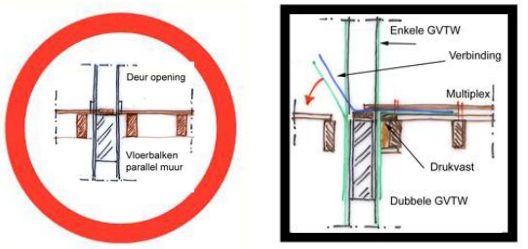
1. Houten balklagen met een gespijkerde plankenvloer. De balken zijn soms wel en soms niet aan de kopzijde in de muur verankerd. Parallel aan de muur zijn ze vaak niet verankerd.
2. Massieve, in het werk gestorte betonnen vloeren, minimaal 12 cm dik met een afwerklaag. Deze vloeren zijn stijf in het 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 draagrichting staan, en hebben daar geen verbinding mee.

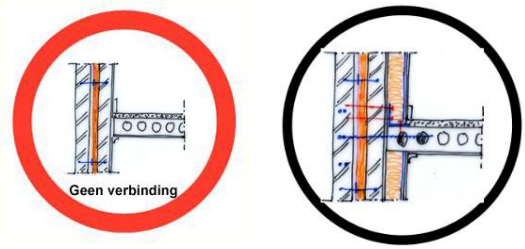
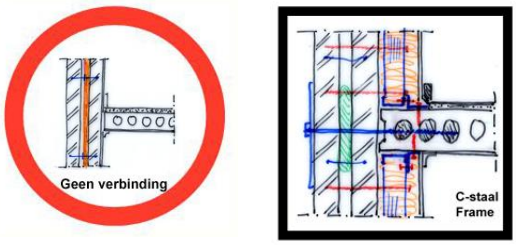
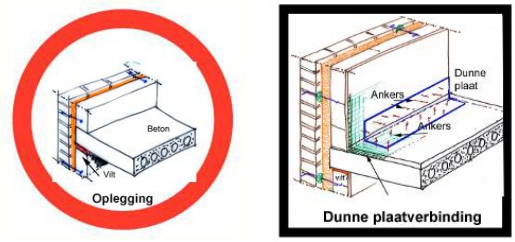
[429] De toekomstige probabilistische maximale sterkte van de geïnduceerde aardbevingen in de provincie Groningen zal hoogst waarschijnlijk kleiner dan PGA*g* 0,15 blijven, gezien de nationale sociaaleconomische politiek.

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 als de draagmuren voldoende sterk zijn om de belastingen van de vloeren op te nemen, in-het-vlak van de muur. Als 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. Het afzonderlijk behandelen van de vloerstijfte 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
	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.
	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.
	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.
	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 trekkrachten opnemen en overbrengen naar de zijmuren.
	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.

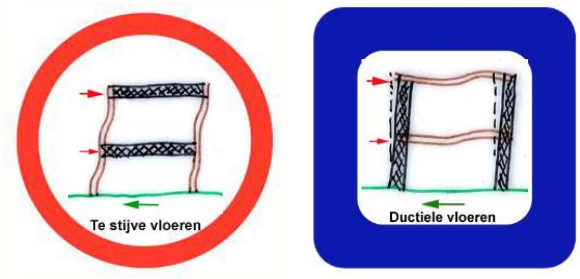
Vloeren adviezen	Toelichting
	Vloerbalken liggen over de kortste overspanning. Een plankenvloer geeft een onvoldoende stijf diafragma. Door het aanbrengen van multiplex beplating en goede muurverbindingen worden de krachten in-het-vlak van de gevel afgevoerd. De gevel penanten moeten dan wel versterkt worden met trekwapening tegen het kantelen.
	Door het verbinden van een stijf vloerdiafragma 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.
	Spouwmuur. Houten balken zijn aan de kopse kant vaak alleen opgelegd of sommige balken zijn met een kort anker achter het binnen spouwblad vastgezet. Het vloerdiafragma wordt versterkt met multiplex en alle balken worden van buitenaf met ankers vastgezet, en het vloerdiafragma aan het binnen spouwblad.
	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.
	Voorbeeld met steens-muur. Bij de parallelle balken (strijkbalken) 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.
	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 vloerdiafragma's vast te zetten op de GVTW en onder de multiplex laag.

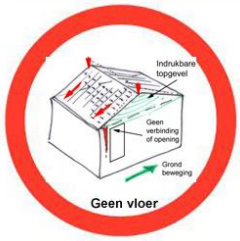
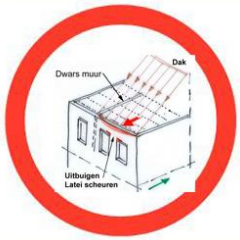
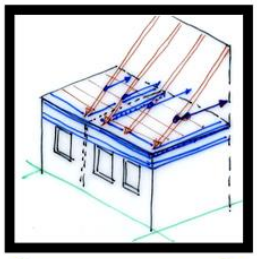
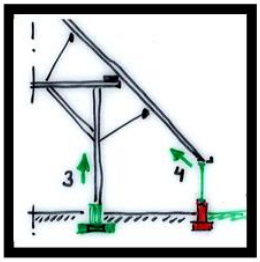
Vloeren adviezen	Toelichting
	Betonnen vloeren zijn veel zwaarder en stijver dan houten vloeren en dus moeten de muren en muurverbindingen sterker zijn. De spouwmuur moet wel de krachten van de vloer kunnen opnemen. Bij veel of grote openingen in de muren is deze verbinding onvoldoende sterk.
	Bij muren 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.
	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.

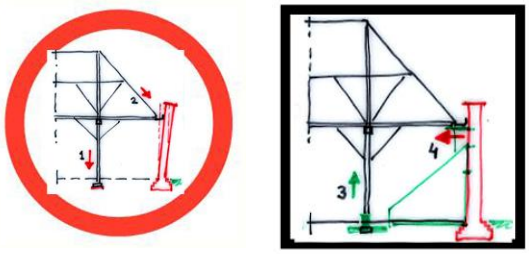
13.6. Daken en dak-diafragma's

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 kapotgaan. Daken die vervormen oefenen druk uit op de onderliggende muren. Sommige van de adviezen 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 gebouwonderdelen gedaan moet worden.

Figuur 13-3. Meerdere gebouwonderdelen.
Bij vloer-muur verbindingen zijn zowel de vloeren als de muren constructieve elementen



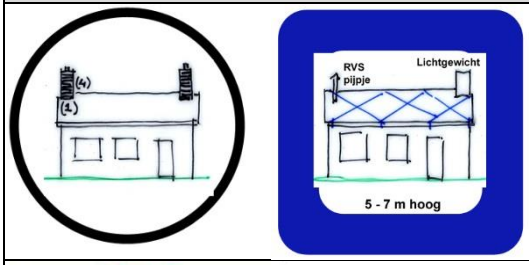
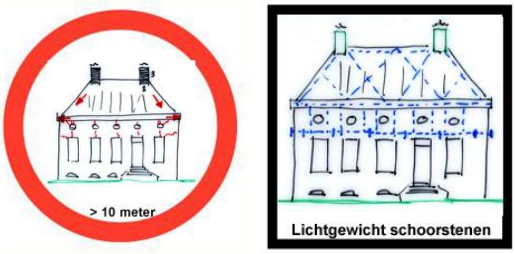
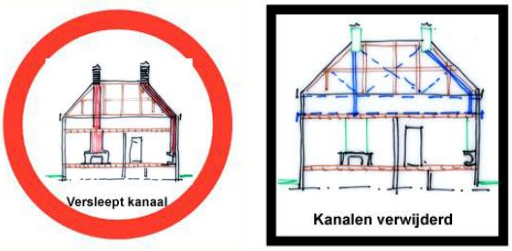
Daken adviezen	Toelichting
	Belasting van een dak op een lange zijmuur kan deze muur naar buiten drukken. Door het vloerdiafragma van de zolder sterk en stijf te maken en aan de muurplaat te verbinden, wordt de aardbeving belasting van het dak via het stijve vloerdiafragma naar de binnen en buiten dwarsmuren afgevoerd.
	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.
	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 geïntegreerde PV-folies.
 	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.
	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.
	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.

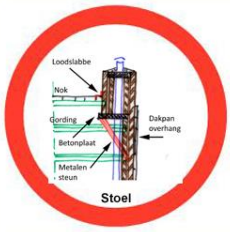
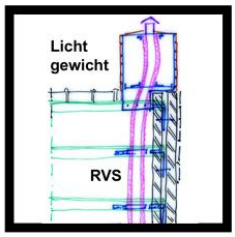
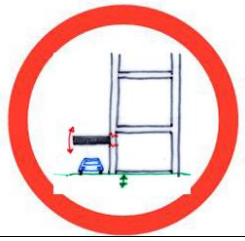
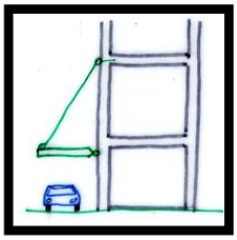
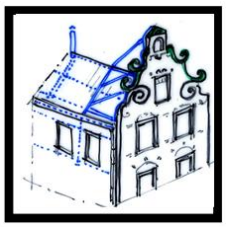
Daken adviezen	Toelichting
	De zetting van het gebint zal via de kapconstructie de hoge zware kopmuren naar buiten drukken. Na het hoger zetten van de gebinten moet hier de muur volledig worden losgekoppeld van het flexibele spant. De hoge zware muur kan aan de binnenkant ondersteund worden met dwarsmuren of frames op een eigen fundering.

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 een dergelijk geval kan niet slechts de muur, of de kap of de fundering worden aangepakt, maar moeten alle drie de aspecten tegelijkertijd worden aangepakt.

13.7. 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
	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
	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.
	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.

Schoorsteen adviezen	Toelichting
 	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.
	Zware uitsteeksels aan een gebouw vormen een risico bij aardbevingen. Deze ondergaan extra horizontale belasting door de hoogte. Ingeklemde balkons ondervinden extra belastingen en produceren extra momenten in de muren door verticale trillingen.
 	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 lichtgewichte constructie, of een ondersteunde constructie is veel veiliger.
	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.
	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.

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 aardbevingssterkte en de details van de constructies. Hiervoor wordt naar de betreffende hoofdstukken verwezen.

**********Terug naar het begin van dit Hoofdstuk 13**********

**********Terug naar de inhoudsopgave figuren**********

Nabeschouwing

Dit boek of eigenlijk ‘Een Handleiding voor Seismisch Resistent Bouwen en Versterken’ biedt een inzicht over de Nederlandse en Groningse woningbouw en haar (gebrek aan) weerstand tegen de lichte aardbevingen die zich sinds de jaren 2005 in de provincie Groningen voortdeden.

In Nederland werd nooit gebouwd met het risico van aardbevingen in gedachten. Dit resulteerde in omvangrijke schade in de provincie Groningen toen er steeds meer aardgas werd gewonnen en de compactie van het gas-houdende zandsteen begon te versnellen.

De verschillende hoofdstukken lichten toe wat de oorzaken zijn van de gebouwschade en hoe deze voorkomen kunnen worden of de funderingen en muren hersteld kunnen worden.

Op zich is dit sinds 1971 bekende informatie in veel (tektonische) aardbevingslanden, maar nieuw voor Nederland en helemaal nieuw voor de situatie van oude bakstenen woningen waar dit boekwerk op gefocust is.

De noodzakelijke ingrepen om de woningen en andere gebouwen seismisch te repareren of te versterken zijn duidelijk aangegeven, maar die opties zijn afhankelijk van de bouwkundige staat van de woning, de geleden schade en de te verwachten sterkte van de toekomstige aardbevingen. Dat laatste, de sterkte van de toekomstige aardbevingen, is vanaf de Huizingen beving in augustus 2012 een omstreden discussiepunt geweest, maar met het sterk verminderen van de gasproductie (of het dichtdraaien van de gaskraan) zullen er geen zwaardere bevingen meer komen.

Voor de bevolking was het niet duidelijk dat seismische versterking tegen de prognose Mmax, de maximale aardbeving, slechts zorgde dat het eenmaal ‘seismisch versterkte’ gebouw net niet zou instorten bij die Mmax. Dat is nou niet wat de bevolking verwachtte van de herstel- en versterkingsmaatregelen. Men wilde geen scheuren meer en de garantie dat men veilig was.

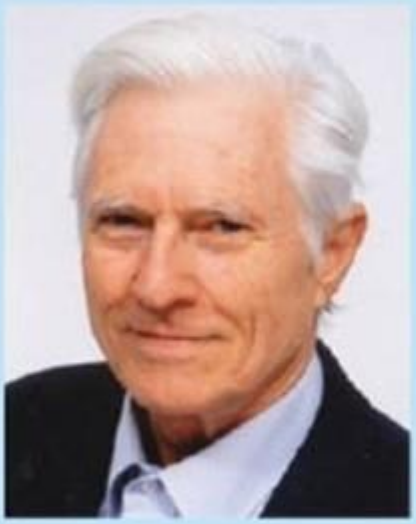
Over het veiligheidsbegrip is ook veel te doen geweest. Met uitzondering van een paar gebouwen met oude bouwfouten en erg slecht onderhouden gebouwen, **was er geen veiligheidsrisico van instorten**. Ook hier heeft een verkeerde informatie en interpretatie van de definitie ‘Mmax’ en een verkeerde definitie van het begrip ‘veiligheid’ (zonder toelichting of uitleg) gezorgd voor veel onrust en stress onder de bevolking. Tot op vandaag (2023) wordt er door politici nog steeds gewezen op **het vermeende veiligheidsrisico, wat eigenlijk helemaal niet bestond.**

In het hoofdstuk 12 ‘Verduurzamen’ wordt erop gewezen dat het niet verstandig is om eerst muurherstel te realiseren of het gebouw te versterken en in een veel later stadium nog eens de wanden te gaan isoleren; dat moet tegelijkertijd gebeuren. De huidige opwarming van het klimaat is een duidelijk teken dat de hele maatschappij de CO_2-uitstoot drastisch moet verlagen. Die CO_2-uitstoot wordt in belangrijke mate veroorzaakt door de verwarming van slecht geïsoleerde woningen. Bij de sterker en daarmee duurzamer maken van de woningen moet dan meteen de woning duurzaam geïsoleerd worden.

De ‘Bestuurlijke afspraken’ van 6 november 2020 houden in dat de Staat veelal uitgaat van een compensatie per woning en niet meer van versterken zelf. Steeds meer wordt overgelaten aan de woningeigenaren. Hoe kan men omgaan met scheuren? Daarvoor is kennis nodig van de oorzaken.

In dit Burgerboek is geprobeerd om op duidelijke wijze uiteen te zetten en te illustreren wat de wenselijke en mogelijke maatregelen zijn.

Herziening, juli 2023.
Sjoerd Nienhuys, seismisch bouwkundig ingenieur



Dit burgerboek omvat dertien hoofdstukken met beschrijvingen van de oorzaken van scheuren in het metselwerk van woningen in de provincie Groningen door de aardbevingen en maatregelen om deze woningen weer robuust te maken en te verduurzamen.

Sjoerd Nienhuys heeft internationaal jarenlange ervaring in seismische gebieden en seismische reconstructie projecten.

Sinds eind 2013 tot eind 2015 heeft hij gewerkt aan de ontwikkeling van voorlichtingsmateriaal voor seismisch herstel en versterken van de woningen in Groningen. Dit is samengevat in dit boekwerk. Wanneer woningeigenaren zelf maatregelen moeten nemen wanneer ze fondsen krijgen voor woningverbetering, moeten ze weten wat ze wel en niet moeten doen.

Dit Burgerboek vertelt wat de mogelijkheden zijn.