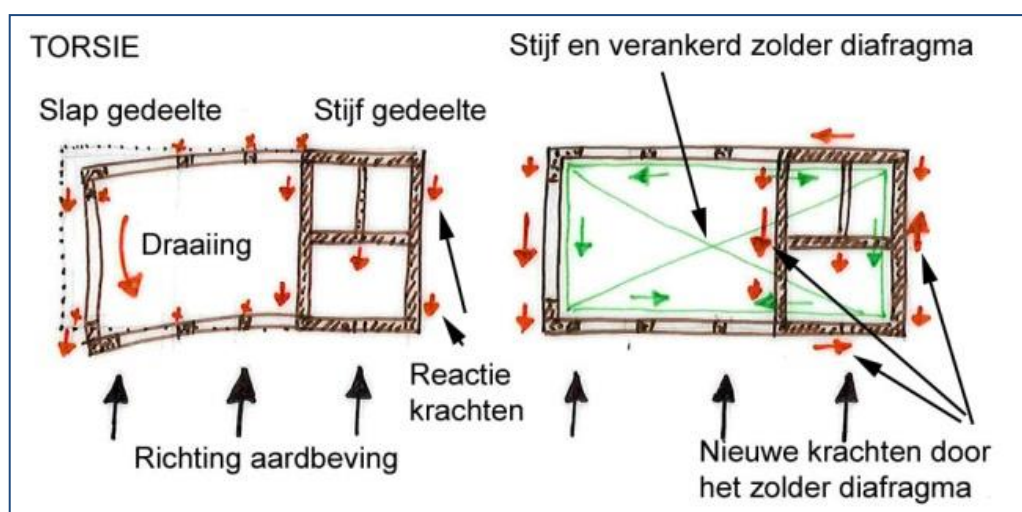


Duurzaam Herstel en Versterking van Woningen in Groningen

Hoofdstuk 8

VLOERDIAFRAGMA'S van Hout en Beton

Na de aardbevingsproblematiek en de afbouw van de aardgasproductie



Abstract: Het vloerdiagram is een erg belangrijk element om de horizontale aardbevingsbelasting loodrecht op het vlak van de muren te verminderen. Bij een stijf en sterk vloerdiagram en goede vloer-muur verbindingen zal een woning beter bestand zijn tegen aardbevingen, in vergelijking met een woning zonder of met slappe vloerdiagramma's. Een 16-tal verschillende versterkingsmethoden van houten vloerdiagramma'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's¹ 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

¹ 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.

Inhoudsopgave

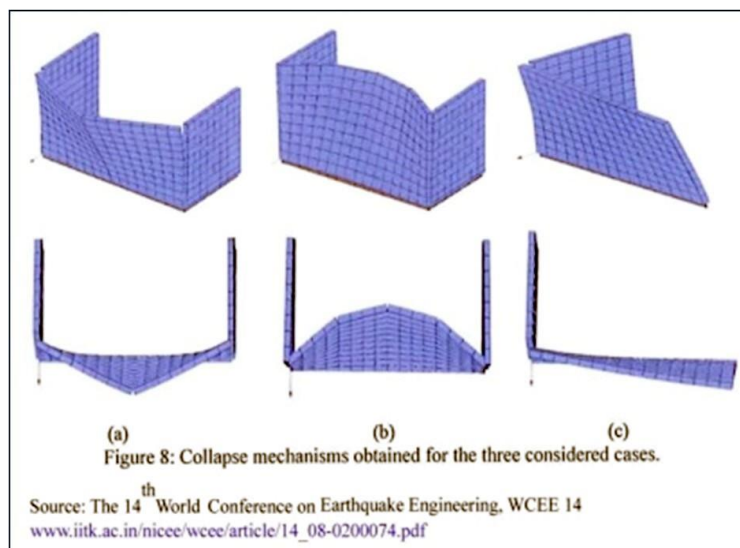
VLOERDIAFRAGMA'S van Hout en Beton	1
8.0. Introductie	3
8.1. Horizontale doorbuiging van muren	4
8.2. Verticale doorbuiging van muren	5
8.3. Verschillende vervormingen van vloeren	6
8.4. Muurverbinding van stijve systeemvloeren	11
8.5. Verstijven van houten vloeren; de balken	14
8.6. Beweging van het gebouw door traagheid	17
8.7. Verbindingen van houten vloeren met de muren	19
8.8. Balkconstructie rondom de buitenkant	21
8.9. Verankering van portaalconstructies	22
8.10. Diafragma verstijvingsoplossingen houten vloeren	24
8.11. Gebruik van droge ingeboorde renovatie spiraalankers	31
8.12. Sterkte berekening	34
8.13. Horizontale Excentriciteit	36
8.14. Voorbeeldberekening van excentriciteit in het plan	40
8.15. Berekening massa en belasting	41
8.15.1. Berekening traagheidsassen.....	42
8.16. Algemene observaties	43

8.0. Introductie

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. 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.



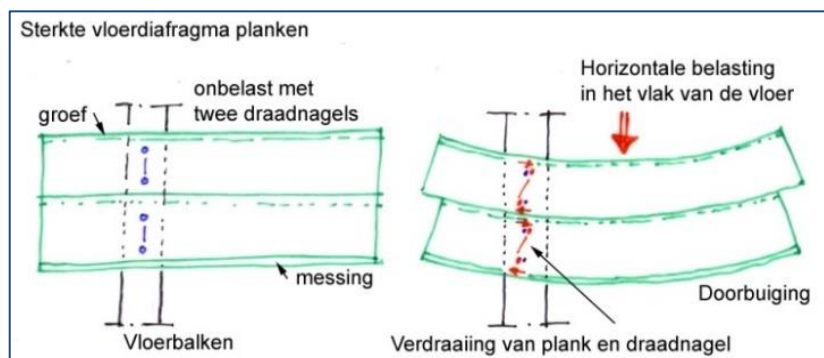
In de Nederlandse woningbouw ontbreekt traditioneel horizontale en verticale muurwapening of hoekverbindingen die de gemetselde muren onderling verbinden. Dit is alleen verplicht in aardbevingsgebieden met een maximale aardbeving van $PGAg > 0,2$. De houten balklagen van de etage vloeren zijn in Nederland 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.



Figures 8-2. Bij steens-muren zijn de balkankers aan de buitenzijde te zien, 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. Houten plankenvloer met uitgedroogde planken. Hierbij zijn ze uitgedroogd en gekrompen. De (vaak losse) draadnagels kunnen de kleine vervorming van de planken niet tegenhouden.



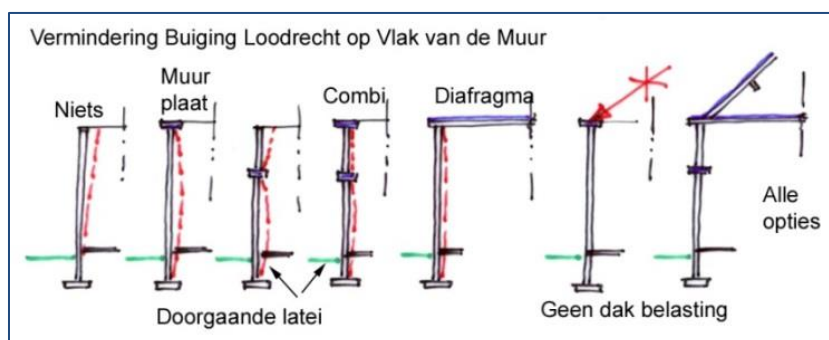
8.1. Horizontale doorbuiging van muren

Hoofdstuk 6 MUREN liet zien dat er minder horizontale doorbuiging van een muur ontstaat als er:

- Een horizontaal sterke muurplaat op de muur vast zit;
- Een horizontaal sterke en extra lange latei in de bovenkant van de muur zit;
- Een combinatie van de muurplaat en de lange doorlopende latei aanwezig is;
- Aan de muren een sterk vloerdiafragma aan alle muren rondom gekoppeld wordt;
- Vermeden worden dat het dak een horizontale belasting op de muur kan uitoefenen;
- Korte vrije muurlengtes zijn door dwarsmuur of portaal ondersteuning in de lengte.

Figuur 8-4. Verschillende methoden van muur versterking.

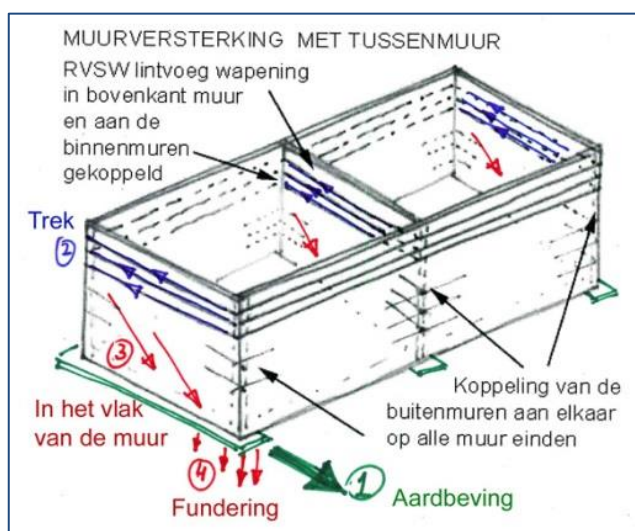
Deze verbeteren de sterkte van de muur tegen horizontale belasting loodrecht op het vlak van de muur.



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.

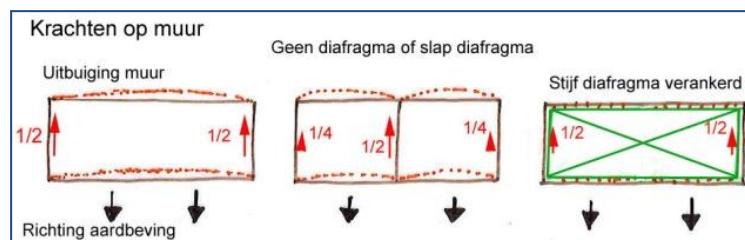
Figuur 8-5. De trekwapening in de bovenkant van de muren.

(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).



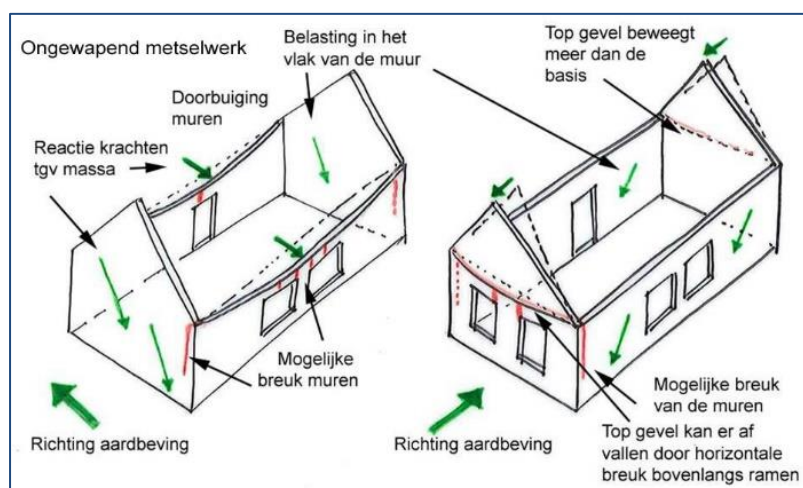
Het plaatsen van een tussenmuur zonder versterking van de gehele vloer als een stijve schijf, zal ertoe leiden dat de helft van de totale vloerbelasting op deze tussenmuur komt. Zoals vermeld in Hoofdstuk 4 FUNDERING, zal de fundering van die tussenmuur op deze extra belasting berekend moeten zijn. Omdat 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. Het plaatsen van een 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 elke woning in de twee haakse 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

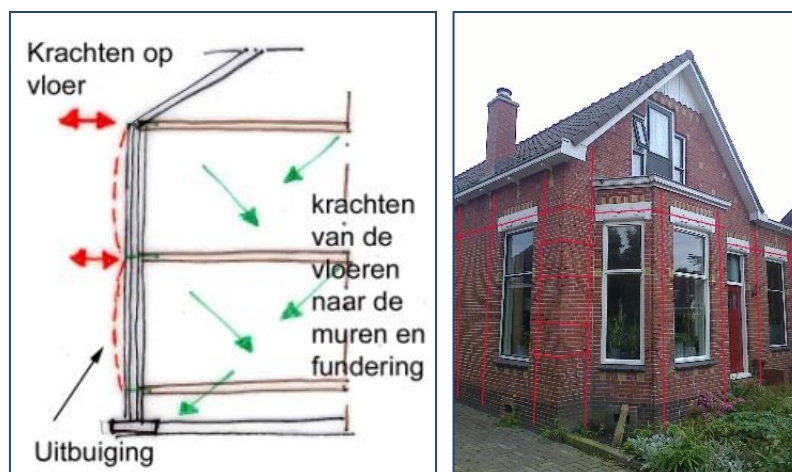
Wanneer de vloerdiafragma's voldoende stijf zijn om de horizontale uitbuiging van de muren te minimaliseren, moet ook beoordeeld worden of het eigen massa van de muren en penanten geen uitbuiging (uit-buiken) in de hoogte van die muren kunnen veroorzaken, naar binnen of naar buiten.

Bij metselwerk is het eenvoudig om lintvoegwapening in te frezen en te verlijmen. Dit zal voorkomen dat 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. De eigen massa van de muur kan uitbuiging van die muur of penant veroorzaken.

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. Verschillende stijfheidsvormen van muur-vloer verbindingen.

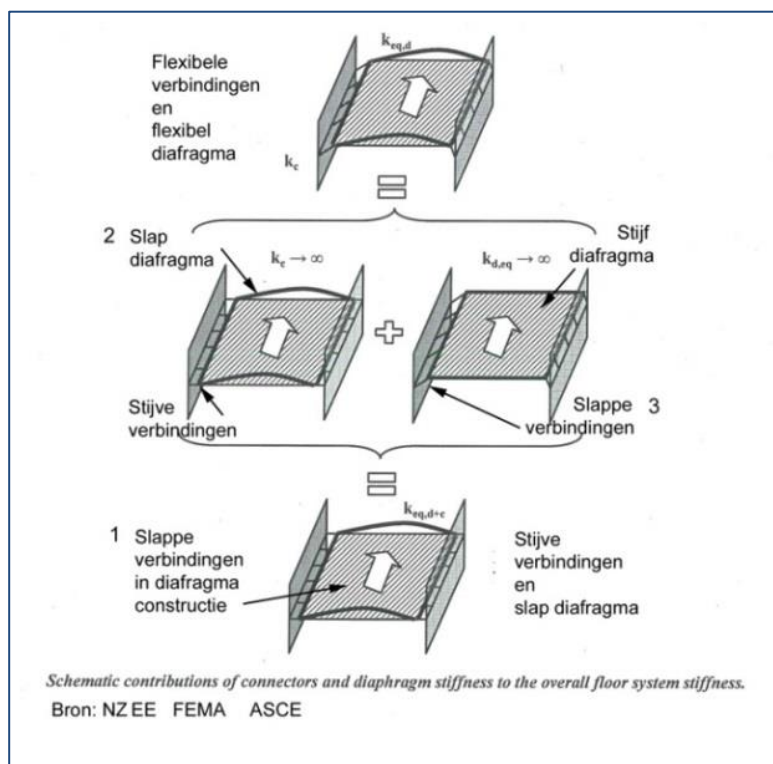
Bovenste tekening: een slap (flexibel) vloerdiafragma met slappe (flexibele) verbindingen zal de meeste vervorming geven.

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.

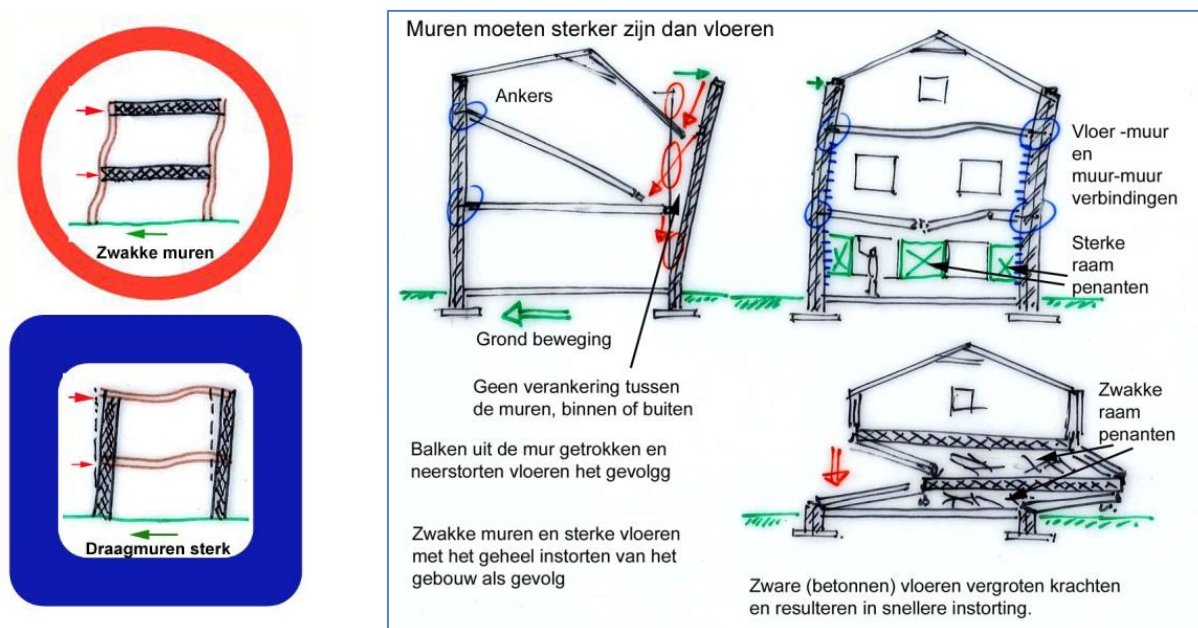
Tekening NZEE, FEMA, ASCE.



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.

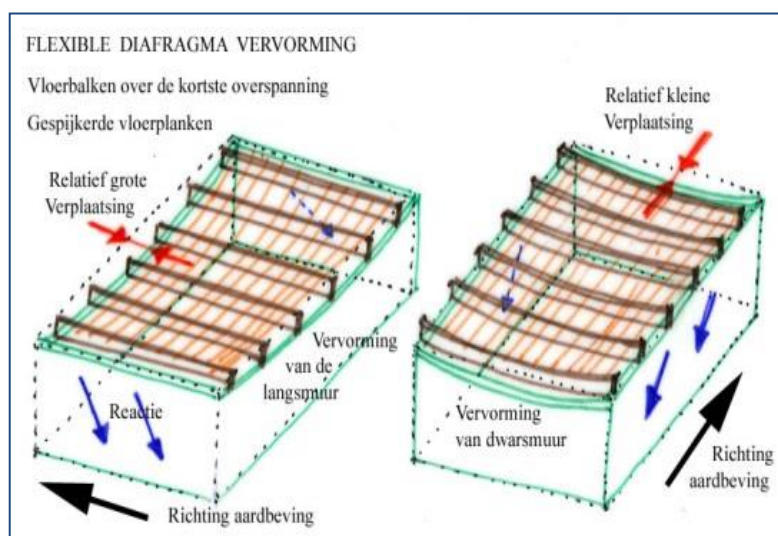
Bij alle drie van deze constructies moeten de muren voldoende sterkte hebben dat ze niet naar elkaar te getrokken worden, maar slechts de verbindingen de eventuele beweging op vangen.

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. Bij slechte verbindingen aan de vloeren kan de muur naar buiten wegvallen. Bij excentrische belasting kan knik ontstaan. De verbindingpunten 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 langste vrije muurlengte heeft de grootste vervorming. De vervorming is in de richting loodrecht op die lange 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.

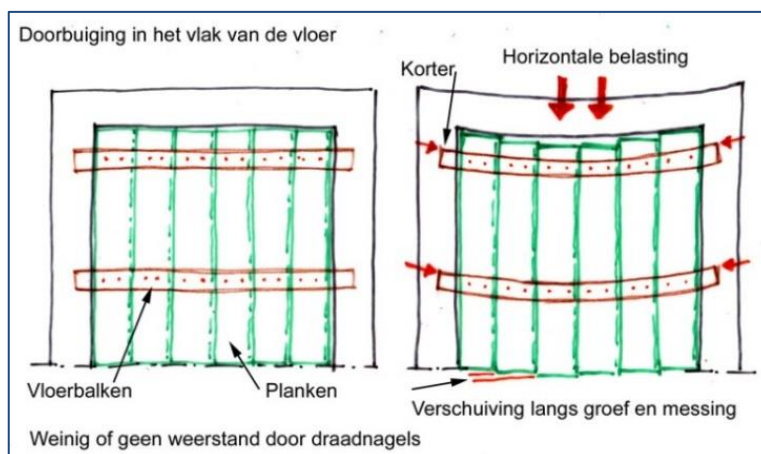


In de richting van de kortste overspanning zal de netto horizontale doorbuiging minder zijn en wordt veroorzaakt door de buiging van de balken en het langs elkaar schuiven van de planken. Hoe smaller de balken zijn en hoe minder strak de groef en messing in elkaar schuiven (door uitdroging van de planken), hoe groter de doorbuiging zal zijn.

Figuur 8-12. Deze doorbuiging wordt enigszins tegengegaan door goede vernageling.

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.

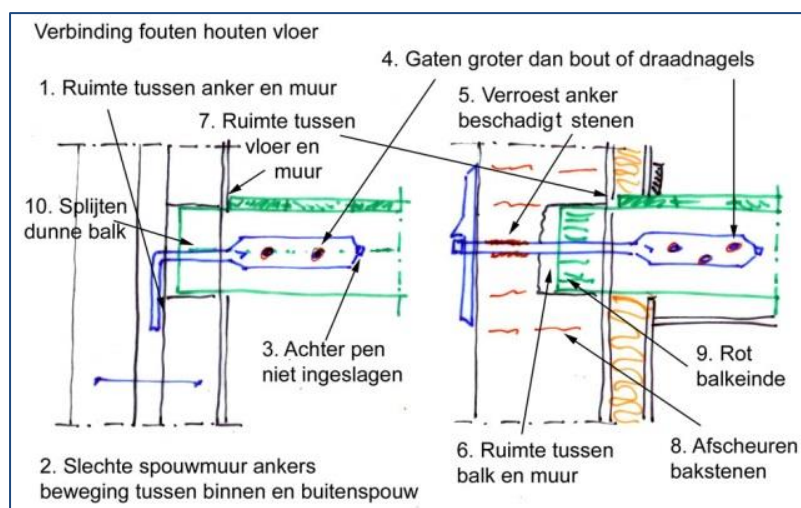


Bij een vierkante vloer zal het doorbuigen sterk afhangen van de balk- en plankbreedte, de vernageling tussen de planken, de afmetingen van de balken en het niveau van uitdroging van de vloerplanken.² Bij het gebruik van twee draadnagels/schroeven per plank zullen deze ietsje weerstand bieden tegen draaiing, echter, bij dunne draadnagels, een enkele draadnagel per plank, smalle planken of zacht hout 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 spinhout 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.

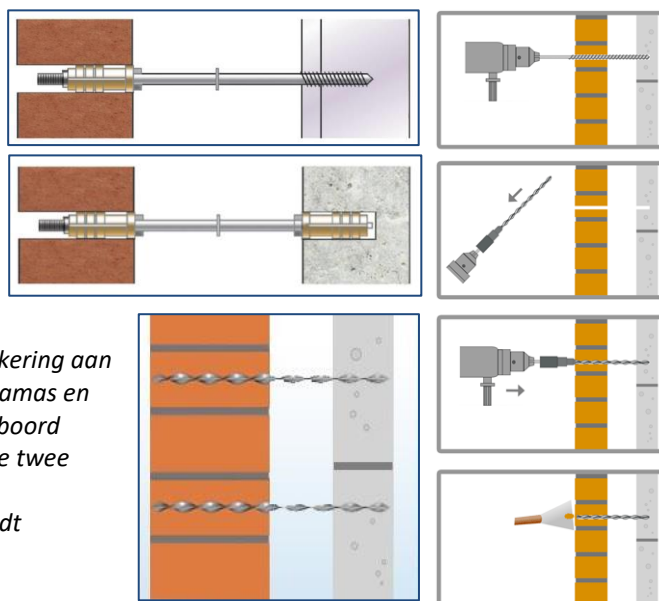
Figuur 8-13. De schets geeft tien verschillende verbindingsmogelijkheden aan. De bewegelijke muur-vloer verbinding. Elk van deze opties maakt de verbinding meer flexibel.



1. Ruimte tussen muur en anker. Hier kan het anker worden losgemaakt, de oude gaten van de schroeven opgevuld en het anker opnieuw strakker vastgezet met sterkere bouten.

² 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 ankers³ die in beide muren worden geschroefd.

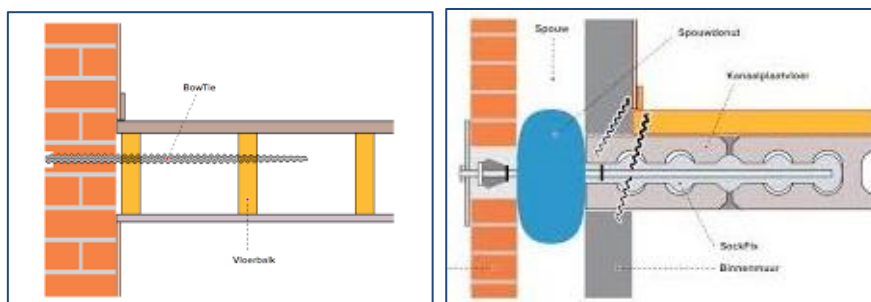


Figuren 8-14. Helifix anker toepassingen.

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 aan metselen.
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 met balken. Dezelfde bedrijven hebben oplossingen voor het verbinden van de balklaag of de vloer met de muur. Rechts de TotalWall-Strakee donut oplossing⁴.

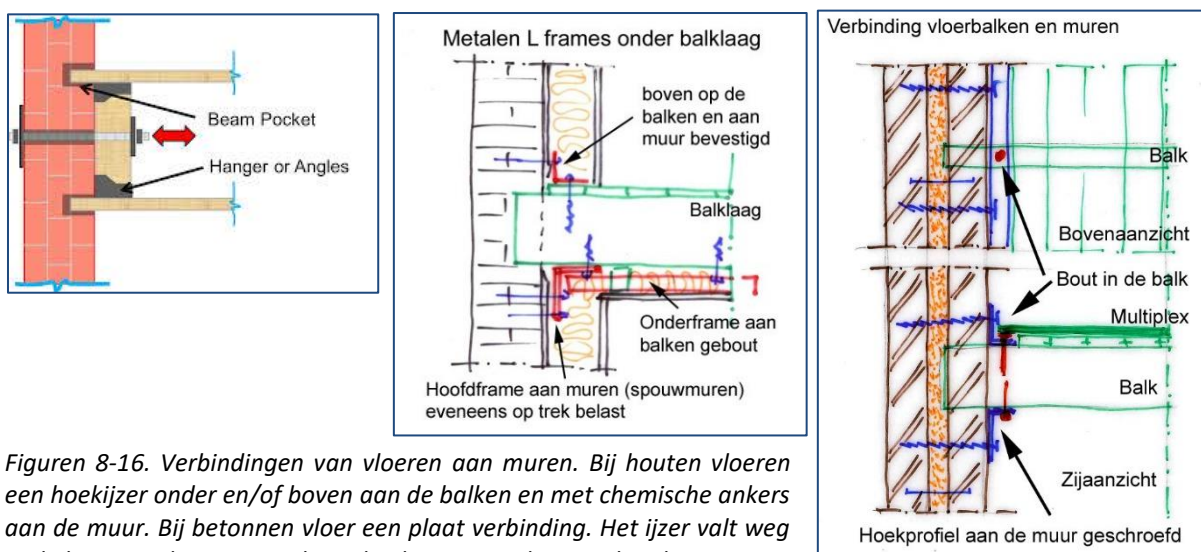


7. Er is ruimte tussen de gespijkerde vloerdelen en de muur zodat vloer en balk verder ingedrukt kunnen worden. => zelfde oplossingen als 6.
8. Bakstenen in een steens-muur achter een te kort anker scheuren af door afschuiving. => Het anker kan hier langer gemaakt worden zodat het achter meer stenen aangrijpt, terwijl ook alle balken ankers moeten krijgen en niet slechts om de andere balk.

³ <https://www.helifix.com/products/retrofit-products/torkfix> en www.ABCadamas.nl en www.Totalwall.nl die beiden de Helifix producten in Nederland toepassen.

⁴ 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.



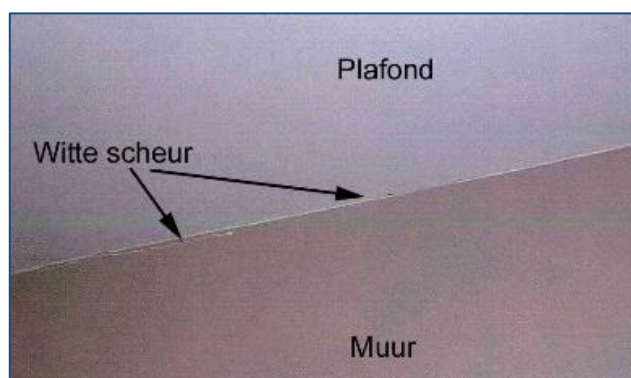
Figuren 8-16. Verbindingen van vloeren aan muren. Bij houten vloeren een hoekijzer onder en/of boven aan de balken en met chemische ankers aan de muur. Bij betonnen vloer een plaat verbinding. Het ijzer valt weg in de binnenzijdige muurisolatie die daarna wordt aangebracht.

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 consequenties, geen structurele. Indien deze scheur groter is dan 2 mm is er meestal iets anders aan de hand, zoals losse of geen balkankers.



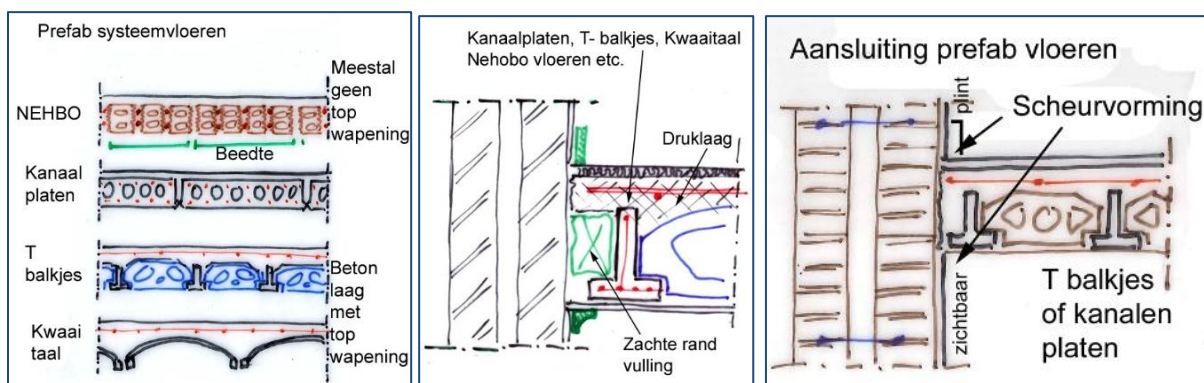
Figuren 8-17. Bij erg veel woningen ontstaan scheuren langs het plafond. De oorzaak is het gebrek aan een vloerdiagramma. Wanneer de scheuren groter worden dan 2 mm is er meestal wat meer aan de hand dan een flexibel diafragma of iets flexibele verbindingen tussen de vloer en de draagmuren.



8.4. Muurverbinding van stijve systeemvloeren

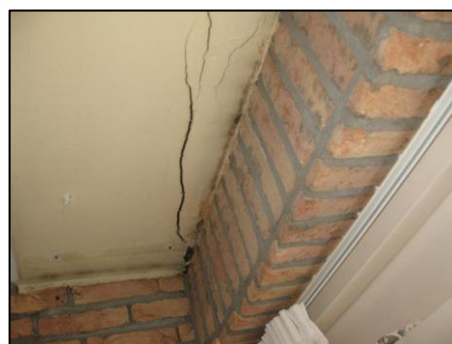
Bij gewapend betonnen elementen vloeren zoals kanaalplaten, Nehobo vloeren komt het soms voor dat er geen krimpwapening over deze elementen is gelegd zodat alle elementen aan elkaar verbonden zijn (Figuur 8-18 beneden). Het komt echter veelvuldig voor dat in de parallele richting tussen de muur en de 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.



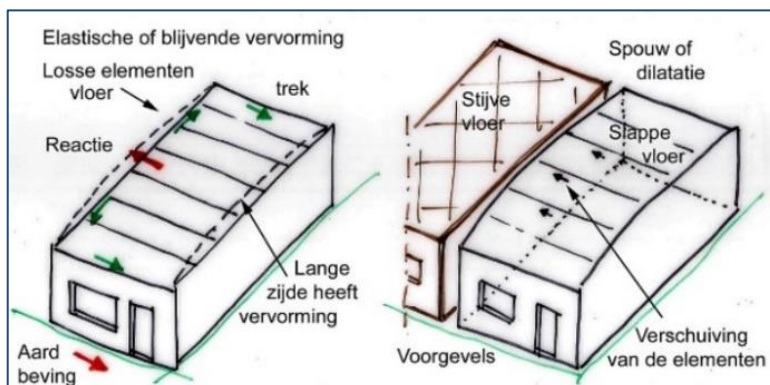
Figuren 8-18. Bij systeembouw worden veelvuldig stijve betonnen vloerelementen gebruikt. Deze dragen kamerbreed (4m), maar zijn soms onderling niet met een krimpnet met elkaar verbonden werden, en zelden verbonden zijn met de parallele muren of gevels.

Rechts. 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.



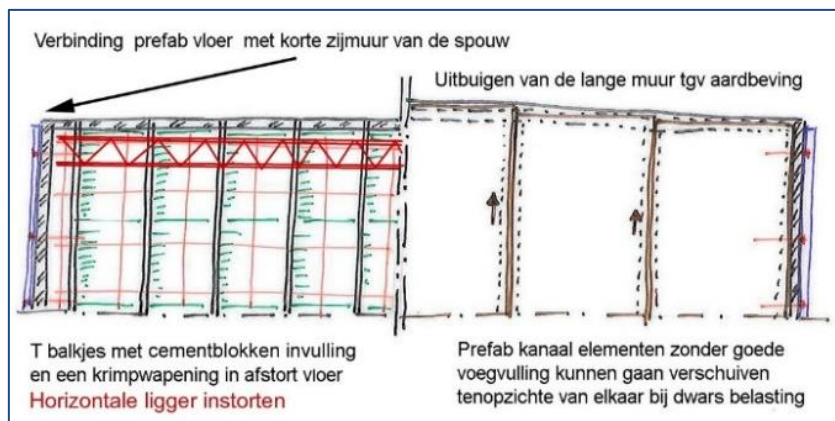
Bij de toepassing van losse elementen die op de tussendraagmuren van woningen zonder verdere verbindingen zijn opgelegd, bestaat de mogelijkheid dat bij korte aardbevingschokken de elementen onderling verschuiven en de draagmuur meetrekken. De lange draagmuren kunnen daarbij naar binnen of naar buiten 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. Een krimpnet voorkomt horizontale uitbuiging. Wanneer de vloer elementen niet aan elkaar verbonden zijn kan onderlinge verschuiving optreden.



Figuur 8-20. Een horizontale ligger langs de rand van de vloer.

Met de twee horizontale liggers wordt uitbuiging aan de lange zijde voorkomen. Bij goedkope bouw werd niet altijd het krimpnet toegepast.

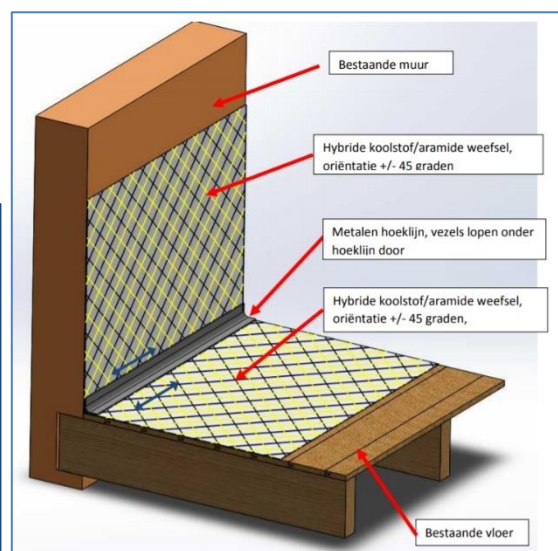
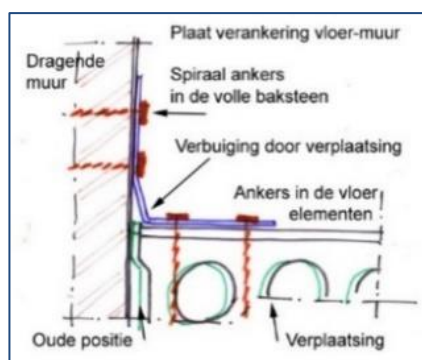


Figuur 8-21. Toepassing van plakstroken CRFP op de vloer. In de testwoningen werd op de cement of houten vloer meerdere sterke Carbon fiber stroken (CRFP, koolstof laminaat) in een diagonaal patroon geplakt.⁵ Hierna moet de vloer geëgaliseerd worden.



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. Toepassing van kruiselings gelijmde CRFP stroken of weefsel op de vloer. De verbinding met de muur eist speciale aandacht.⁶

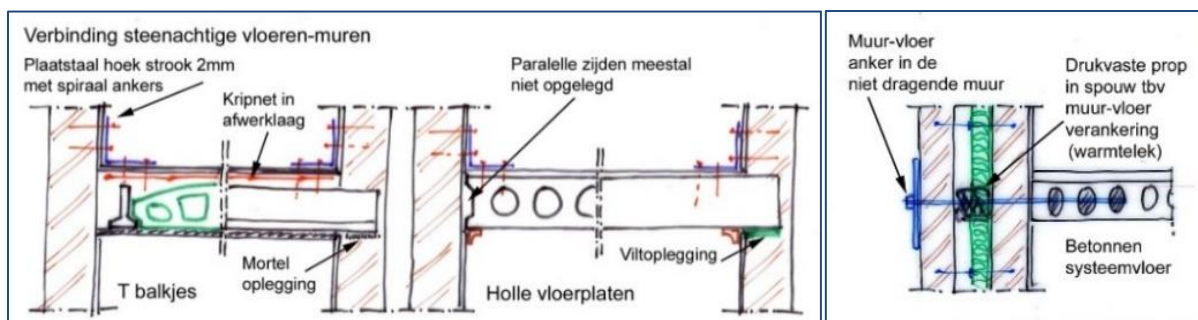


Met breed-flens hoekijzers wordt zowel de horizontale uitbuiging weerstaan als dat dit de mogelijkheid geeft om op meerdere plaatsen de flens aan de draagmuur te bevestigen. De breed-flens zal ruim binnen de binnenzijdige gevelisolatie vallen.

⁵ Voorbeeld van verschillende berekeningen van vloer versterking met koolstof laminaat. <https://repository.officiële-overheidspublicaties.nl/externebijlagen/exb-2018-48567/1/bijlage/exb-2018-48567.pdf> en <https://docplayer.nl/10095059-Nieuwe-generatie-gelijmde-wapeningen.html>

⁶ Brands Bouw en Onderhoud bedrijf, Groningen met design competitie Aramid toepassing.

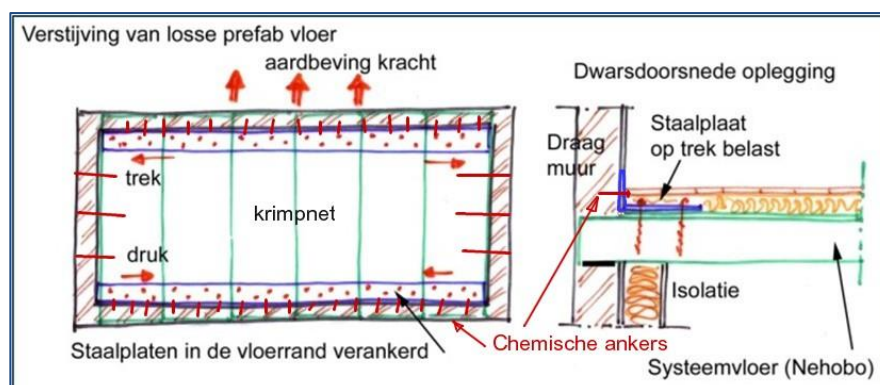
Bij de toepassing van gevouwen staalplaten, mag de plaat niet te dun zijn of te hoog worden bevestigd, want anders bestaat de kans op te veel vervorming van de plaat waardoor er toch beweging ontstaat en daardoor een plafondscheur. De toepassing van de donut verankering (Strakee) verbindt ook het buitenspouwblad, maar is plaatselijk. De spouwdonut oplossing is niet mogelijk bij tussenmuren.



Figuren 8-23. Brede hoekijzers gaan de horizontale buiging tegen. Ze verbinden tegelijkertijd het vloerdiagramma met de muur. Deze verbindingen vallen weg in de gevelisolatie. Rechts. Principe spouw-donut van Strakee.

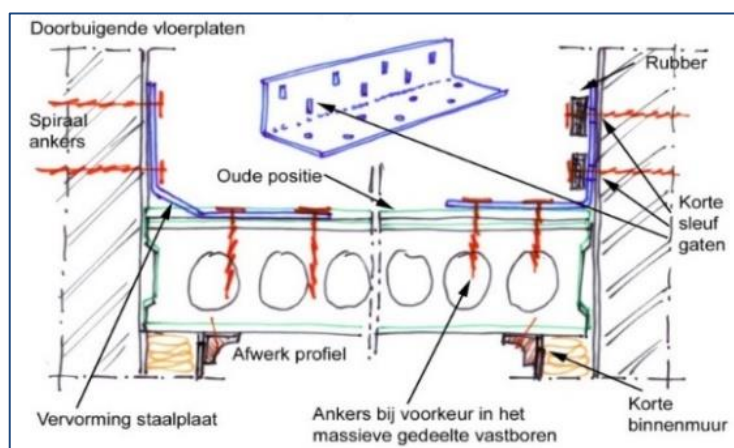
Bij de toepassing van de gevouwen staalplaat geldt dat hoe hoger de ankers in de muur zijn geplaatst, hoe makkelijker de vervorming van de staalplaat zal zijn. Wanneer de belasting op de ankers te groot wordt zullen eerst de onderste ankers uit de muur getrokken worden en daarna pas de bovenste. De constructie 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. Een 1-2 mm beweegbare verbinding is 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. Hoe groter de massa van de betonnen systeemvloeren, hoe beter de verbinding met de muren moet zijn. Bij zware belastingen zijn ductiele verbindingen noodzakelijk.

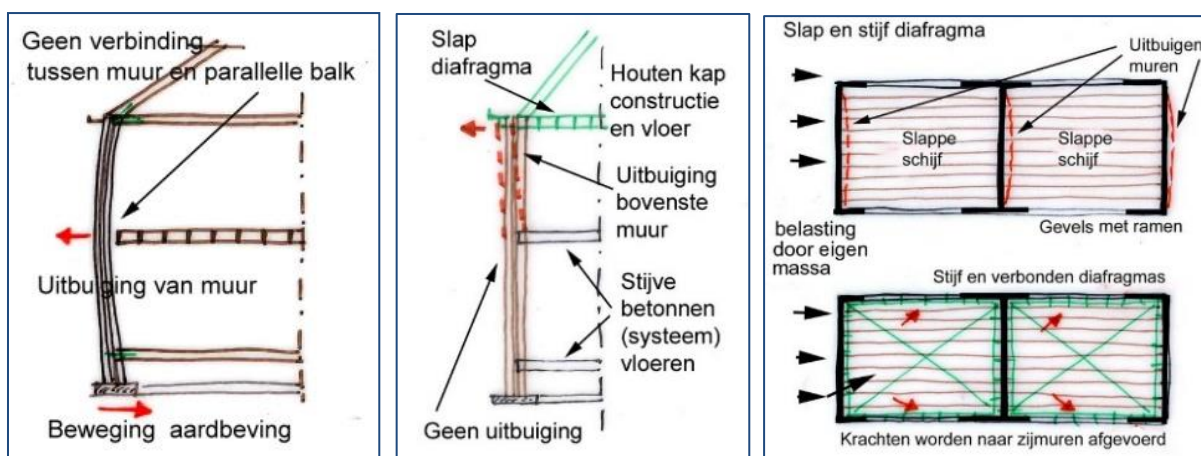


Volgens de aardbevingscode dienen de verbindingen echter sterker te zijn dan theoretisch minimaal noodzakelijk is. Dit betekent dat de verbindingen niet mogen bezwijken, maar bij overbelasting moeten vervormen; zij moeten hun verbindende functie behouden ook al zijn ze iets vervormd⁷. Dit is mogelijk 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. De muren kunnen uitbuigen met breuk en knikgevaar als gevolg. 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.

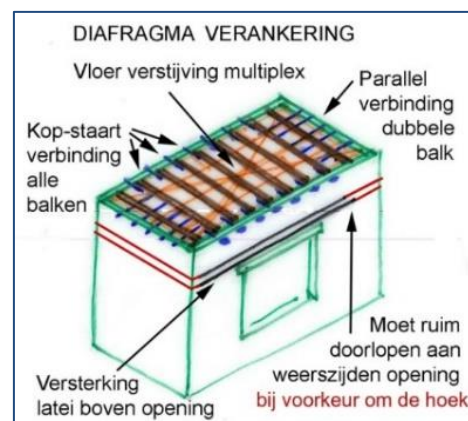
Een van de vloer loskomende muur heeft een verhoogd risico van bezwijken door knik wanneer er ook een (verhoogde) verticale belasting bestaat (verticale trilling). Een niet ondersteunde twee-etages hoge muur heeft een veel te grote slankheid volgens de Eurocode 8 en de NPR om enige aardbevingsbelastingen op te mogen nemen⁸. 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-geboukte muren hebben een verhoogd knikrisico bij extra verticale belasting; deze kunnen beter worden afgebroken en opnieuw opgemetseld met de noodzakelijke versterkingen.

⁷ 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.

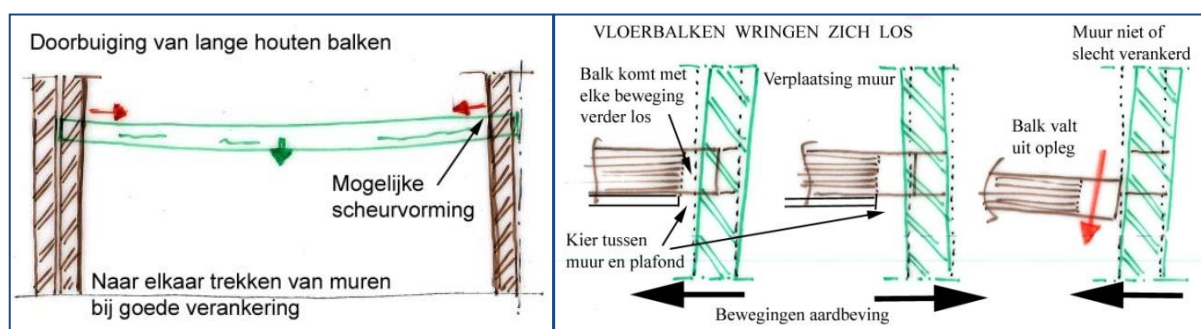
⁸ Overeenkomstig EN 1996-1-1:2004 mag de maximale hoogte/dikte verhouding niet groter zijn dan 12.

Figuur 8-27. Overzicht van verschillende maatregelen bij vloeren. Deze zijn nodig om een gebouw met een slappe houten vloer seismisch te versterken zodat het vloerdiaphragma 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 belasting⁹. 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. Slappe zolderbalken kunnen loskomen uit hun oplegging. 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 woonruimte zonder bouwvergunning is uitgevoerd.¹⁰

⁹ 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.

¹⁰ 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.

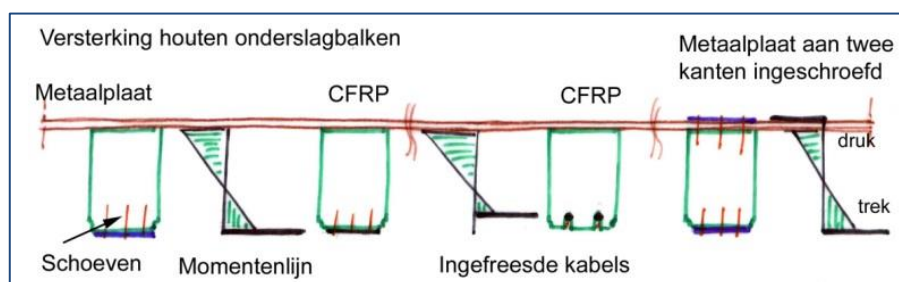


Figuren 8-29. Zwaardere zoldervloerbelasting kan leiden tot het doorbuigen van de balken. Voorbeeld van het in gebruik nemen van een zolder voor bewoning. Slappe balken buigen meer door vanwege de verticale amplitude van de aardbevingsschokken. Het resultaat is dat de plafondbalken millimeters uit de 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 polymer¹¹. De druk-trek lijn van de balk verandert 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 toeg. 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 $\frac{1}{4}$ vanaf de uiteinden. Vóór het aanbrengen moet de balk ondersteund worden, liefs met een kleine opwaartse toeg, zodat de balk onder de vloerbelasting terugzakt tot de horizontaal.

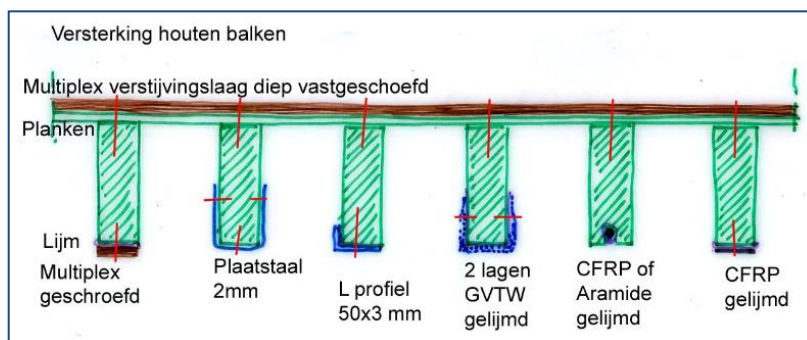
Figuur 8-30. Verschillende opties voor balkversterking. Met CFRP-versterking van een lange houten balk of metaalstroken.



¹¹ 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.

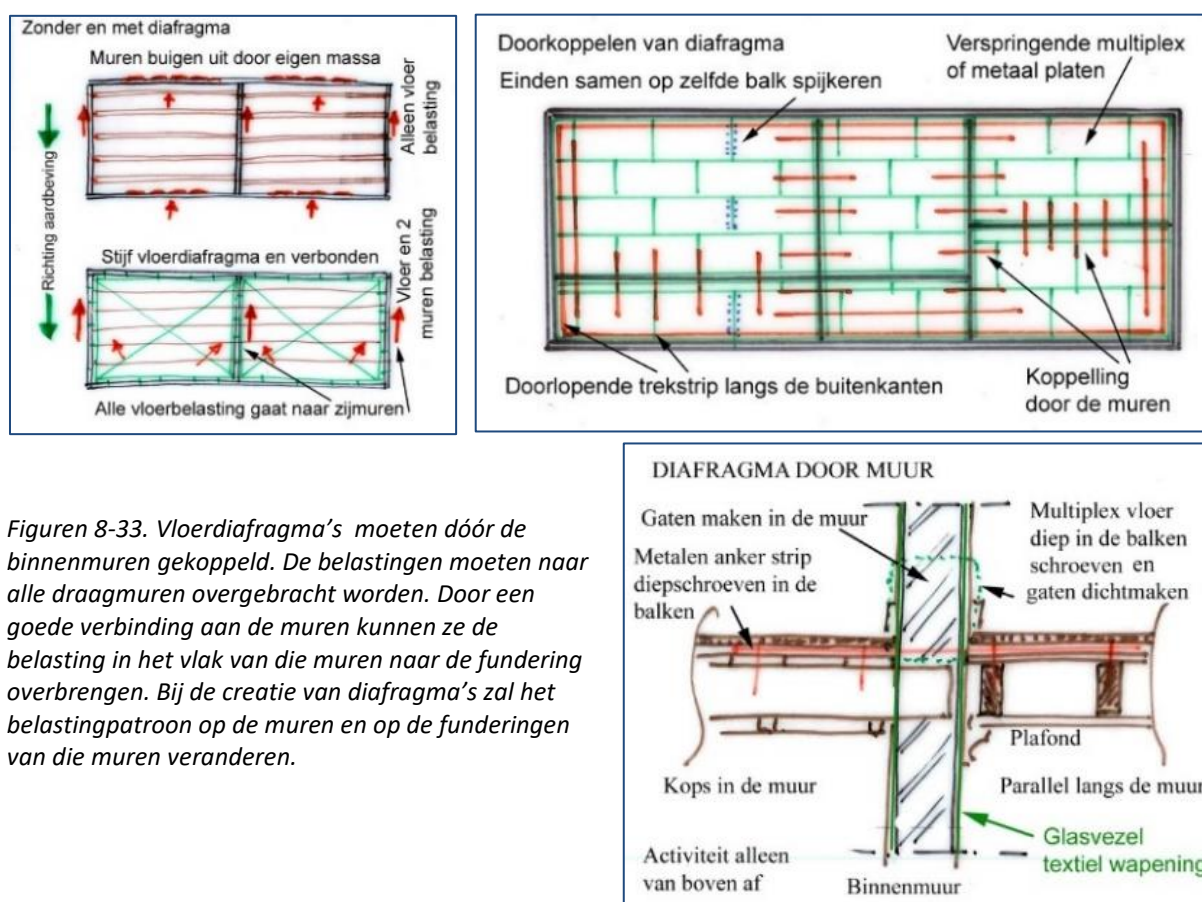
Figuur 8-32. Verschillende manieren om houten balken te versterken.

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.

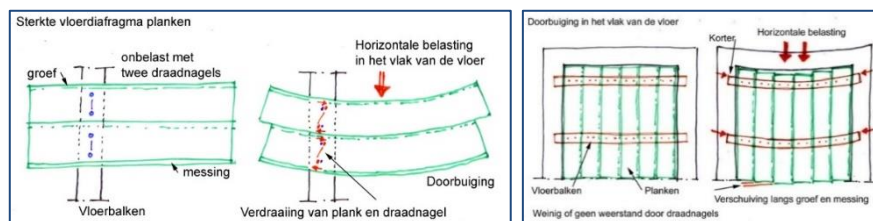


Figuren 8-33. Vloerdiafragma's moeten dóór de binnenmuren gekoppeld. De belastingen moeten naar alle draagmuren overgebracht worden. Door een goede verbinding aan de muren kunnen ze de belasting in het vlak van die muren naar de fundering overbrengen. Bij de creatie van diafragma's zal het belastingpatroon 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 groundbeweging. Als de schok voorbij is zal een gebouw nog even natrillen door haar elasticiteit.

Figuren 8-34. 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 materiaal¹².

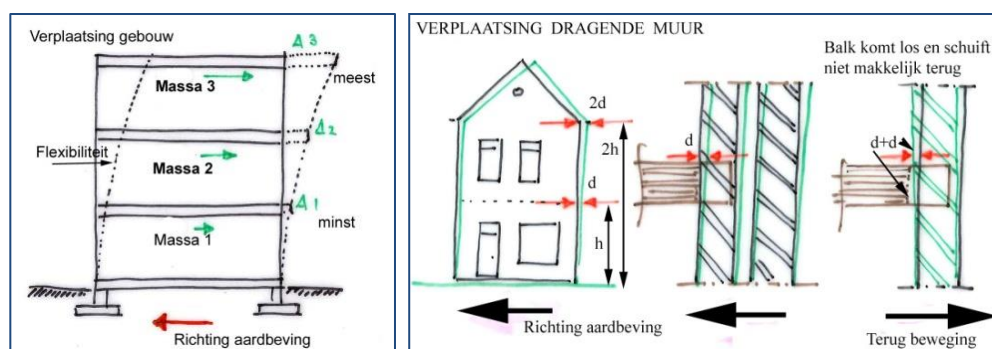
Voor brossen materialen zoals metselwerk en beton is de maximale toegestane horizontale verplaatsing van vloeren of "drift": $d_{rv} \leq 0,005 h$. Als de verdieping hoogte $h = 300$ cm dan is de d_{rv} in metselwerk of beton dus maximaal 1,5 cm; dit is van toepassing op de nieuwbouw in Groningen (NPR). 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.¹³

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 8-35. Hoog in het gebouw is meer verplaatsing. Verankeringen tussen de vloeren en de muren moet scheuren voorkomen.



¹² 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.

¹³ Omdat de NPR9998:2020 nog steeds een veel hogere PGA_g 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.

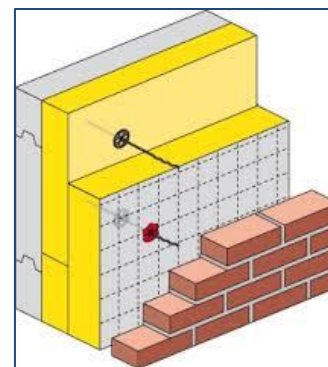
Figuur 8-36. Verankering tussen de balken en de muren was slecht. Bij de recente aardbeving in Petrinja, Kroatië, 06-01-2021 (Richter 4,9) laat het effect zien van onvoldoende verbindingen tussen de constructie onderdelen, met name het gebrek aan het zolder-dak diafragma.



8.7. Verbindingen van houten vloeren met de muren

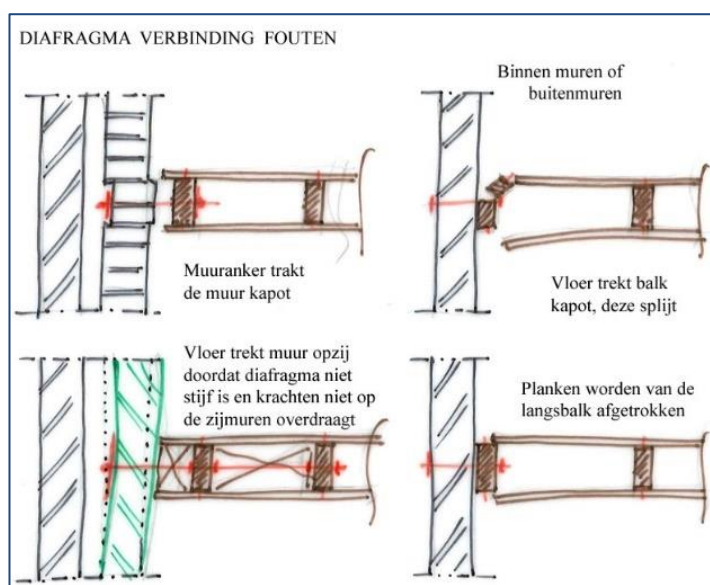
Er dient over de hele lengte van alle vloeren een sterkere koppeling gemaakt te worden tussen het vloerdiafragma, binnen spouwblad én het buitenspouwblad. Wanneer de kwaliteit van de spouwankers niet goed is moeten er spouwankers worden toegevoegd (Helifix Figuur 8-14).

Figuur 8-37. Brede spouwen van na 1980-1985 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.

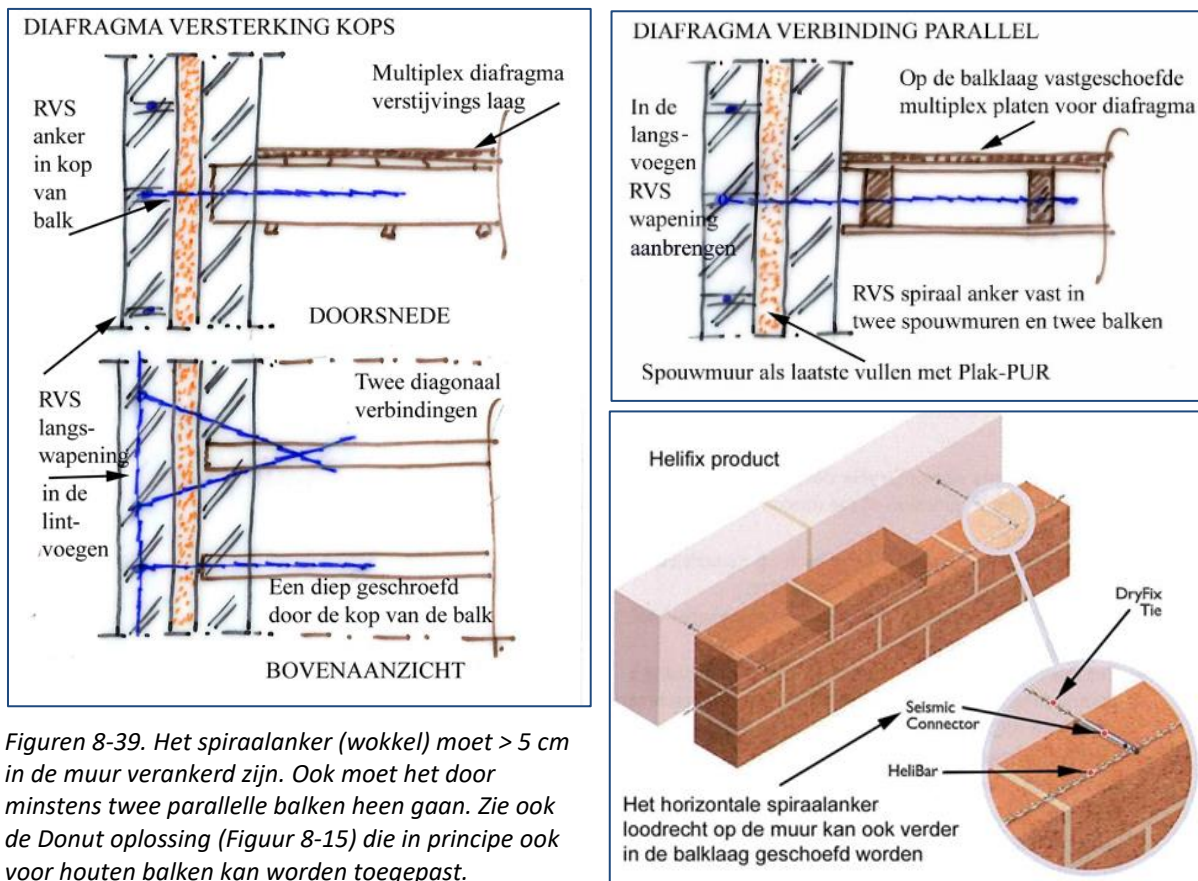


Om te beoordelen welk type verbinding het beste kan worden toegepast is enig onderzoek van de bestaande constructie noodzakelijk. Per woningtype en bouwperiode zijn deze meestal bekend, maar bij gebouwen van vóór 1900 kunnen verschillende soorten gebreken aanwezig zijn, terwijl in de meeste situaties de bestaande ankers onvoldoende zijn om horizontale belastingen over te dragen.

Figuur 8-38. Door veroudering van metselwerk kunnen de bakstenen afschuiven. 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.



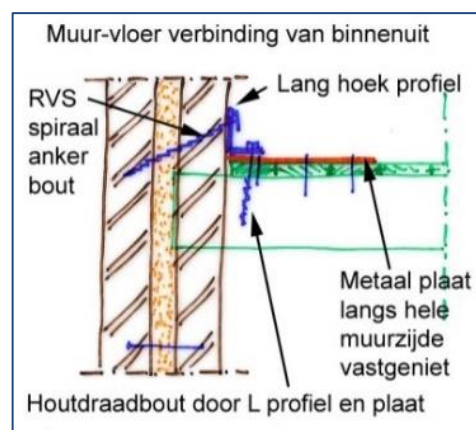
De toepassing van rvs-spiraalankers (wokkels) en van buiten af is de eenvoudigste manier om houten balken aan de buitenmuren te verbinden¹⁴. De spiraalankers die in de balken worden geboord kunnen in de buitenspouwmuur verbonden worden met de langswapening die in de lintvoegen loopt. Hierdoor zal de 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).



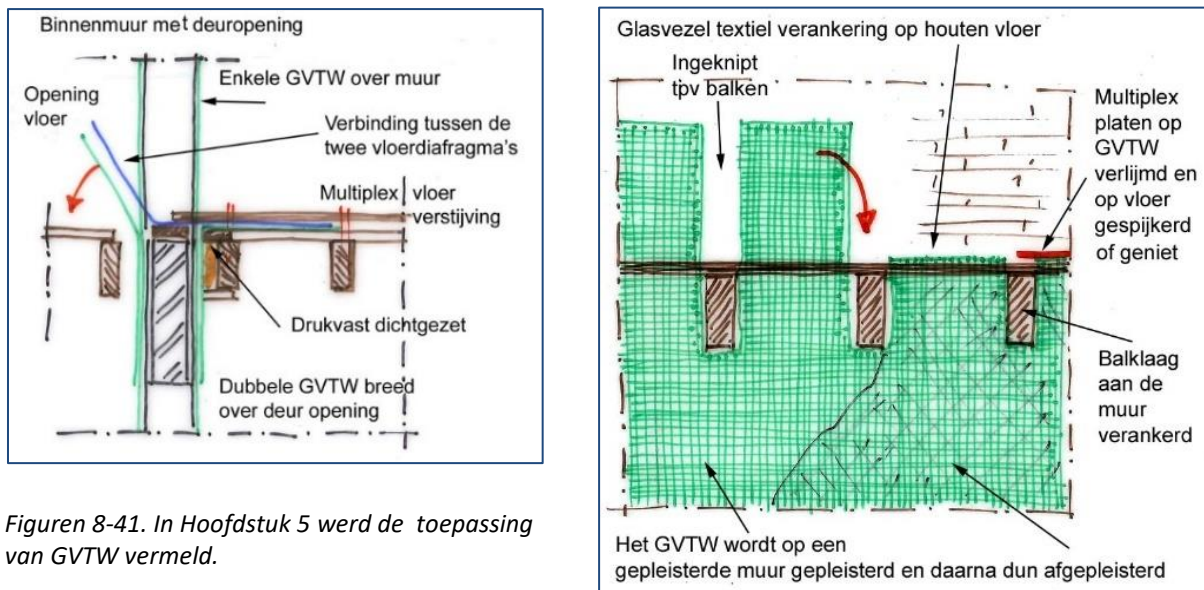
Figuren 8-39. Het spiraalanker (wokkel) moet > 5 cm in de muur verankerd zijn. Ook moet het door minstens twee parallelle balken heen gaan. Zie ook de Donut oplossing (Figuur 8-15) die in principe ook voor houten balken kan worden toegepast. Rechts: Verbinding met langswapening.

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 8-40. Gevouwen staalplaat met L-profiel, bevestiging met Helifix spiraalanker. In de baksteen muur kunnen ook chemische bouten geschroefd worden. Voor betonnen vloeren zijn verschillende methoden van bevestiging mogelijk. Zie Figuren 8-23 en 8-25.



¹⁴ 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.



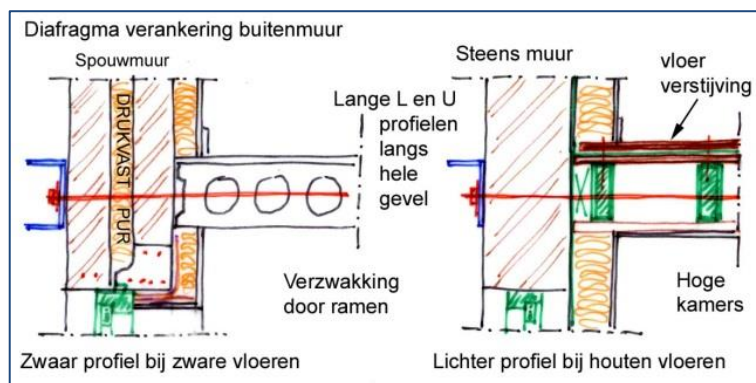
Figuren 8-41. In Hoofdstuk 5 werd de toepassing van GVTW vermeld.

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.

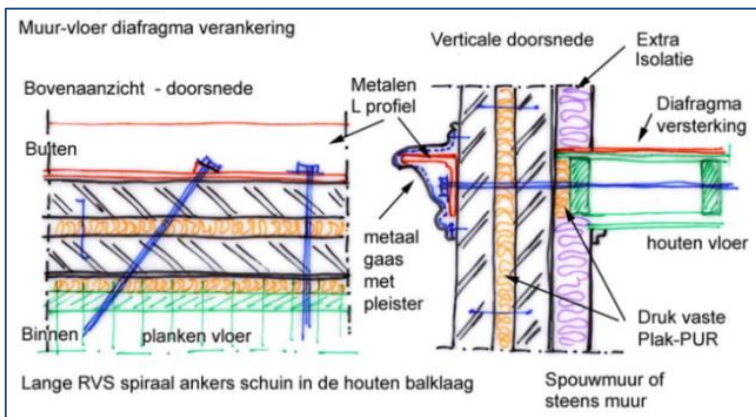
8.8. Balkconstructie rondom de buitenkant

Bij sommige gebouwen bestaat de optie om aan de buitenkant een doorlopende balk te maken en de vloerdelen/diafragma 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 8-42. Buitenzijdige balkconstructie waaraan de vloer is vast gekoppeld. Deze houdt op elke etage het hele gebouw bij elkaar en creert een robuuste oplossing. Geschikt als er geen inhammen zijn.



Figuur 8-43. Lange Helifix ankers tussen muur en 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 8-44. Imitatie 'speklagen' of versieringen zijn onderdeel van de architectuur.

Tegelijkertijd kunnen ze een buitenzijdige versterkingsconstructie bevatten die de vloerdiafragma's koppelt.

Rechts. De verticale hoekversieringen van het gebouw kunnen ook versterkingsconstructies omvatten.

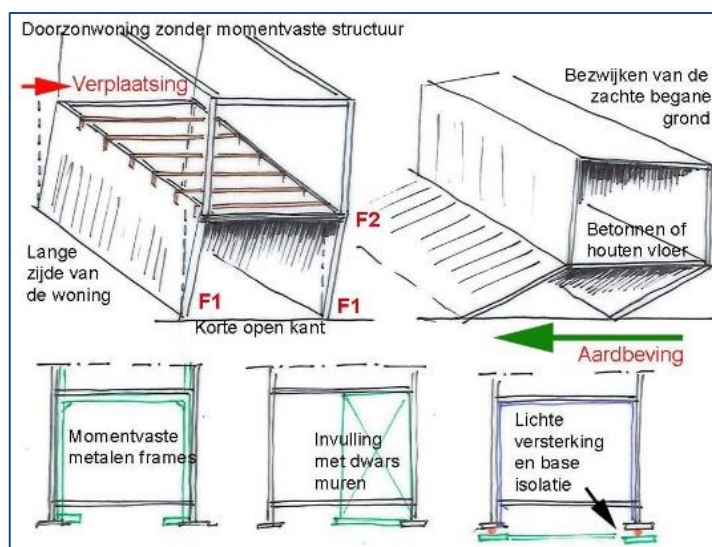


8.9. Verankering van portaalconstructies

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).

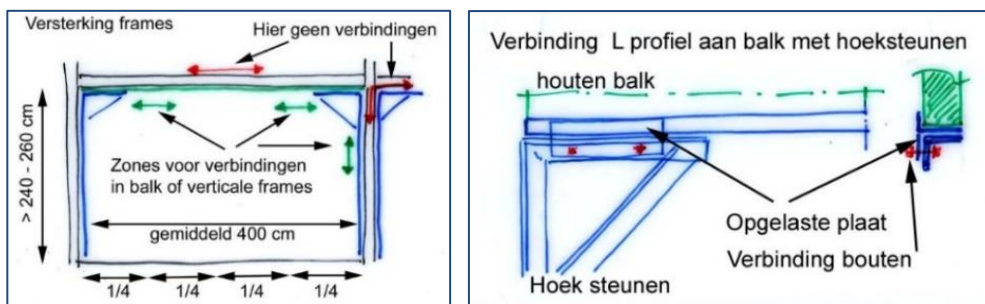
Figuur 8-45. De open winkelpui of doorzonwoning heeft momentsterke constructie nodig.

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.

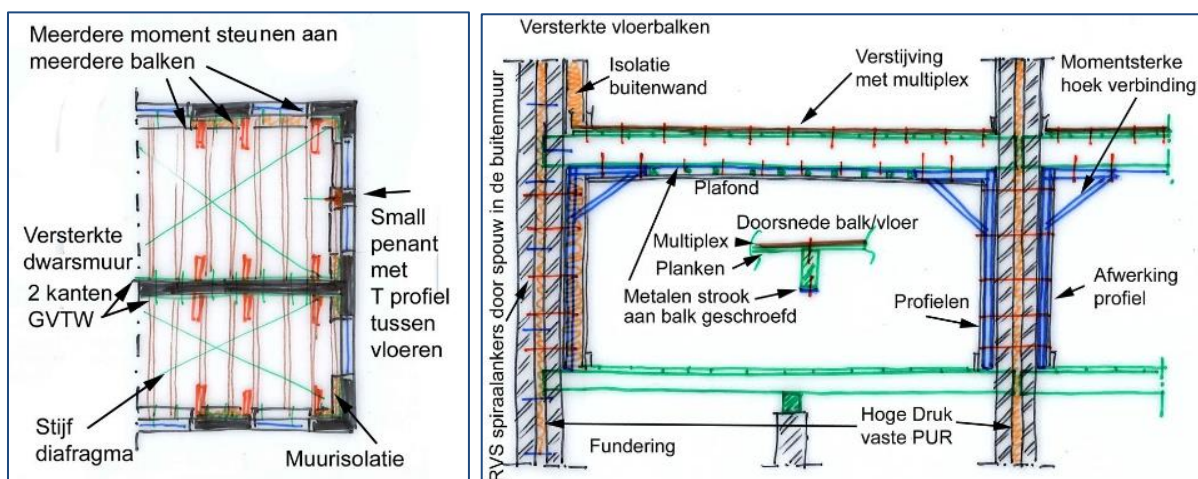


Bij houten vloeren kunnen een serie metalen frames toegepast worden die aan de houten vloeren worden verbonden. De vloerbalken kunnen daarvoor eerst versterkt worden volgens de schetsen van figuren 8-30 en 8-31. De metalen profielen kunnen tegelijkertijd voor de muren versterking bieden. Om bij elke vloerbalk een profiel te plaatsen kunnen lichte constructies gebruikt worden.

Figuren 8-46. In de maximum momentzones mogende balken niet verzwakt worden.

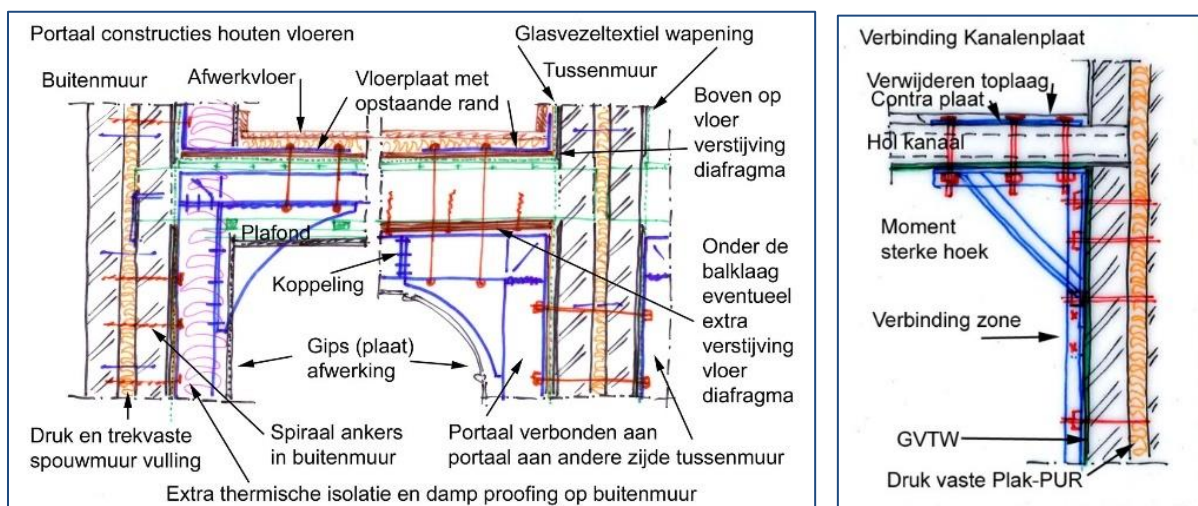


Per portaal kan eenvoudig uitgerekend worden wat de maximale horizontale belasting is (e.g. 5% van de massa bij PGAg 0,05) en hoeveel ankers er nodig zijn om een goede verbinding te maken.



Figuren 8-47. De momentsterke frames of portalen 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 8-48. Er zijn meerdere oplossingen mogelijk die allen hetzelfde doel hebben. De zichtbare en versterkende hoek ondersteuning wordt korbelaar genoemd. In oudere gebouwen kunnen deze korbelen ook een architectonische toevoeging zijn of aan het interieur worden aangepast.



Figuren 8-49. Ontwerpen van portalen of korbelen.

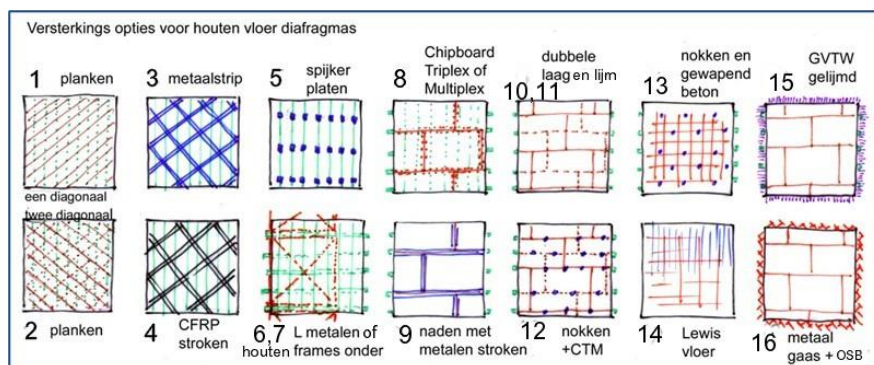
Er zijn verschillende methoden om de metalen of houten portaalconstructies in het interieur te integreren of te verbergen of ze als decoratief element te ontwikkelen.



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 8-50. Hier zijn 16 van de meest gangbare methoden uitgebeeld.







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 8-51. Methoden #1, #2 en #3. Links: 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. Midden: methode #2 met dubbele planken. Rechts: 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 ¹⁵ kN/m	Advies voor Groningen ¹⁶
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 dakbeschoet 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 dakbeschoet
4	<i>Carbon Fiber Reinforced Polyester</i> 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 (<i>Near Surface Mounting - NSM</i>). Combinatie met hout beton.	Gespecialiseerde techniek vereist vakmanschap en berekening. Hechting op zacht hout beperkt. Dikke richels. Vloer moet vlak zijn	10 - 75	Niet. Duur. Deskundig werk noodzakelijk.
5	Spijkerplaten 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) ¹⁷ 	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 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 plaat. 	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 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 ¹⁸ .	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.

¹⁵ Internationale publicaties. Voor de **Goed** opties kunnen tabellen gemaakt worden per materiaal soort/dikte.

¹⁶ Dit advies is gebaseerd op matige versterking (< PGAg 0,05) en de hoeveelheid materiaal of werk.

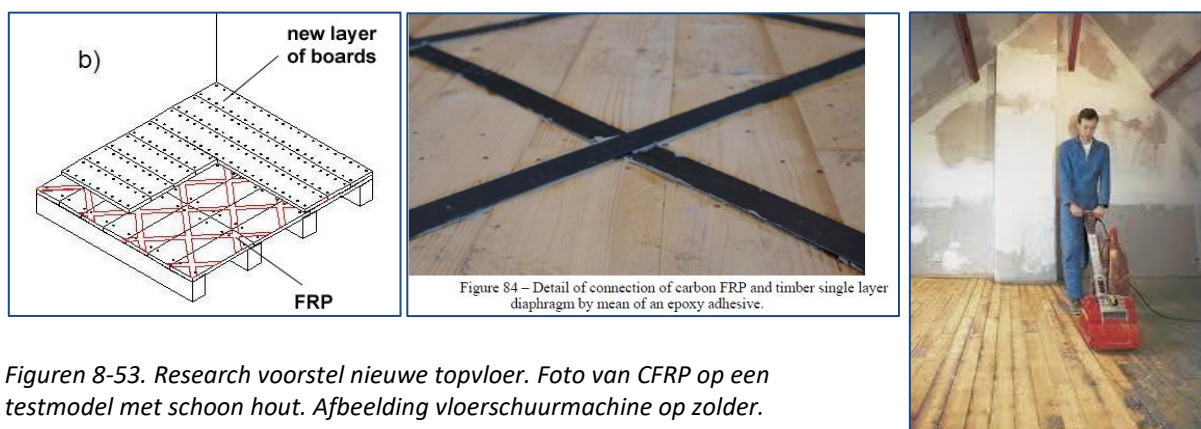
¹⁷ MDF, *Medium Density Fiberboard* heeft een zeer fijne vezelstructuur en is niet sterk genoeg. OSB, *Oriënted Strand Fiberboard* is een USA/Canada product met lange houtvezels en zeer goede sterkte-eigenschappen.

¹⁸ 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 8-52. Voor houtskeletbouw en verstijven van een dakbeschoot. Voor de gemiddelde vloer en dakbeschoot 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 zacht hout is de aanhechting op het hout beperkt (kapottrekken houtvezels). Om dit te voorkomen zijn bredere aanhechtstroken noodzakelijk, wat de toepassing duurder maakt.



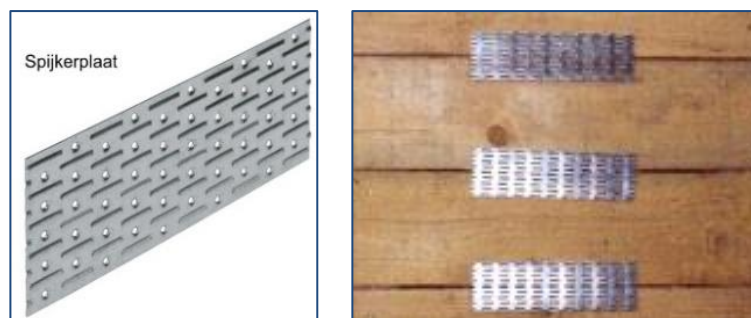
Figuren 8-53. Research voorstel nieuwe topvloer. Foto van CFRP op een testmodel met schoon hout. Afbeelding vloerschuurmachine op zolder.

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.

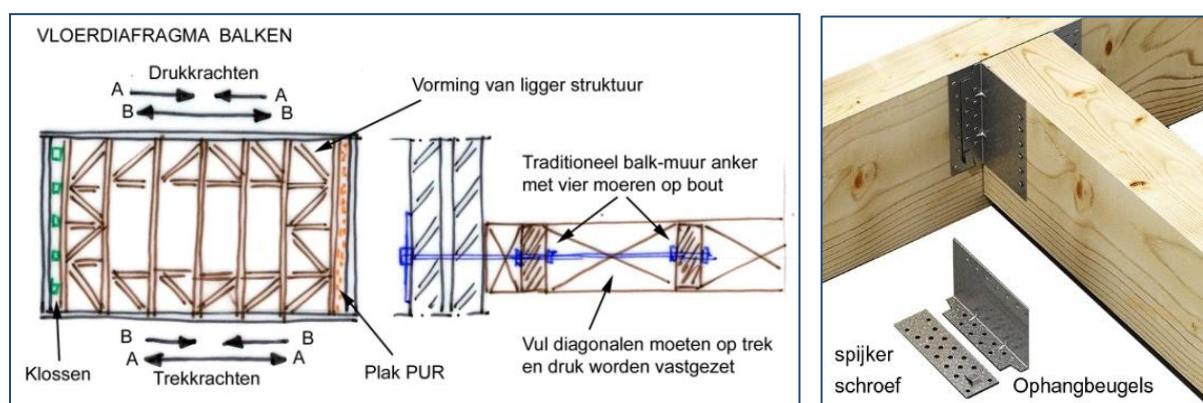
Methode #5. Spijkerplaten of kramplaten over alle naden tussen de planken. Veelvuldig gebruikt voor de verbindingen in houten spanten (tweezijdig). Eenvoudige toepassing en levert een vlakke constructie. Bij spijkerplaten kunnen langere nagels in de balken gedreven worden. De hoeveelheid werk komt overeen met het aanbrengen van volledige board platen. Werkt goed bij dikke en brede vloerdelen. Geen sterke constructie bij dunne oude planken (slijten); dan is het niet aanbevolen.

Figuren 8-54. Spijkerplaten of kramplaten 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 8-55. Toepassing tussen bestaande balken levert veel werk op.

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.**

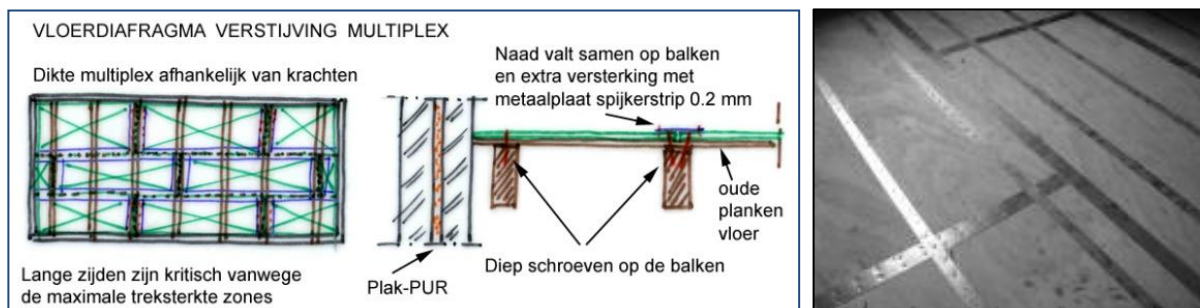
Figuren 8-56. OSB platen, langvezelige spaanplaten met dichte persing. Deze zijn er in verschillende diktes en sterkten.



Rechts. OSB-plaat 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 plaatmateriaal¹⁹.



Figuren 8-57. Bij grotere belastingen is multiplex aanbevolen. Met verbinding over de naden door een metaalplaat. Een aantal van deze versterkingen kan op basis van Doe-het-Zelf 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.

¹⁹ OSB/3 met dikte van 10 tot 18 mm heeft een treksterkte van 0,32 N/mm². Volgens de EN310 heeft gewoon multiplex een trek- en druksterkte van 0,5 N/mm² (5 kg/mm²). Afhankelijk van de verlijming bestaan grote treksterkte verschillen.

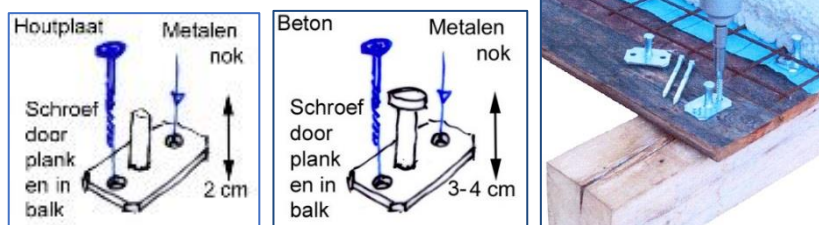
Methode #13. Nokken met kop opschroeven voor het storten van een betonvloer. De houten vloer blijft zitten. De vloer wordt afgedekt met plastic en de nokken worden op de balklaag vastgezet. Deze nokken hebben een verdikte kop die in het beton verankert. De oplossing methode #14 met de Lewisvloer is efficiënter werken en daardoor goedkoper. Bij grotere overspanningen moeten de vloerbalken versterkt worden om het extra gewicht te dragen.

Figuren 8-58. Toepassing van nokken op de vloer.

Links. Methode #12.

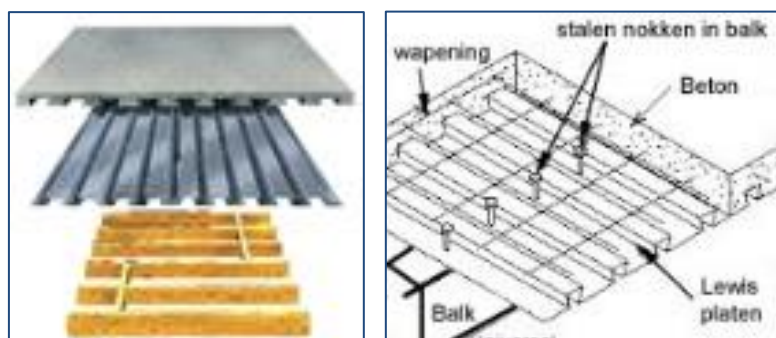
Midden. Methode #13. De nok met kop wordt op de balklaag geschroefd.

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.

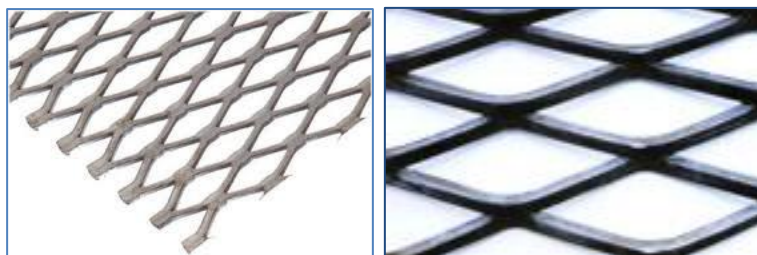
Figuren 8-59. Lewis vloeren op zwaluwstaartplaat. Deze kunnen verder versterkt worden in combinatie met de nokken van methode 12. Ideaal voor etage vloeren waar een wasmachine op komt te staan.



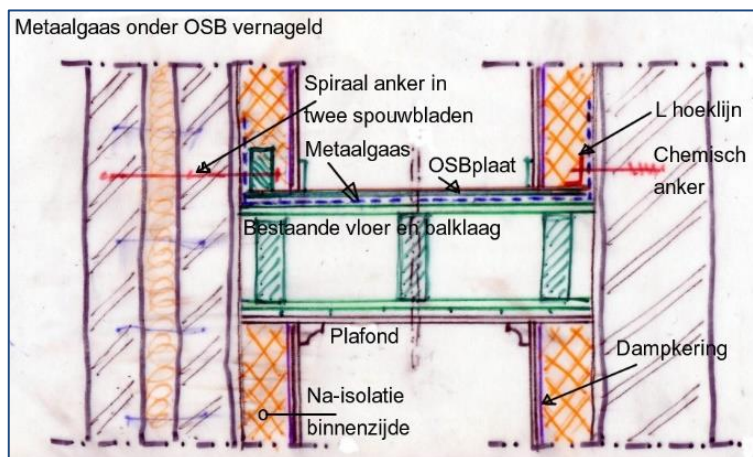
Methode #15. GVTW op de schone (geschuurde) houten vloer verlijmen en hier overheen een OSB of multiplex vloer plakken en schroeven. Dit levert een zeer sterke en vlakke vloer. Een voordeel is dat het GVTW vanuit de benedenetage langs de muren omhoog gezet kan worden. Figuren 8-41. Aan een kant tussen 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 8-60. Geëxpandeerd metaalplaat is in de markt aanwezig. Voor droge toepassing is de gegalvaniseerde versie nodig.



Figuren 8-61. De toepassing van metaalgaas is een droge methode. 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)²⁰ 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 hardgraauw 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 8-62. Spiraalankers en boren



²⁰ 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 8-63. De mogelijke anker trekkracht in een materiaal kan getest worden.

<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.

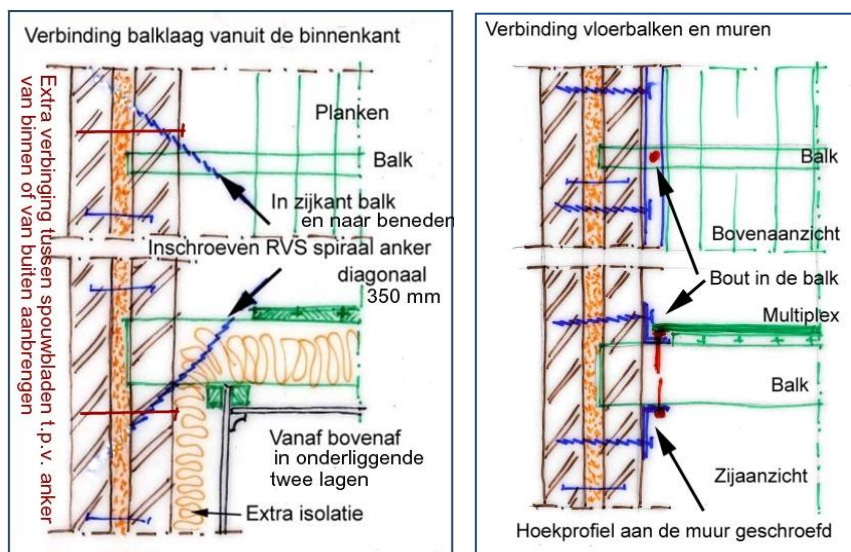
De volgende methoden zijn gangbaar:

- A. Alleen van boven diagonaal naar beneden door de balk en in de onderliggende metselwerk lagen voorboren²¹. 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.

²¹ 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 8-64. Linksboven: 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. Linksonder: Van boven schuin naar beneden in de onderliggende muur.

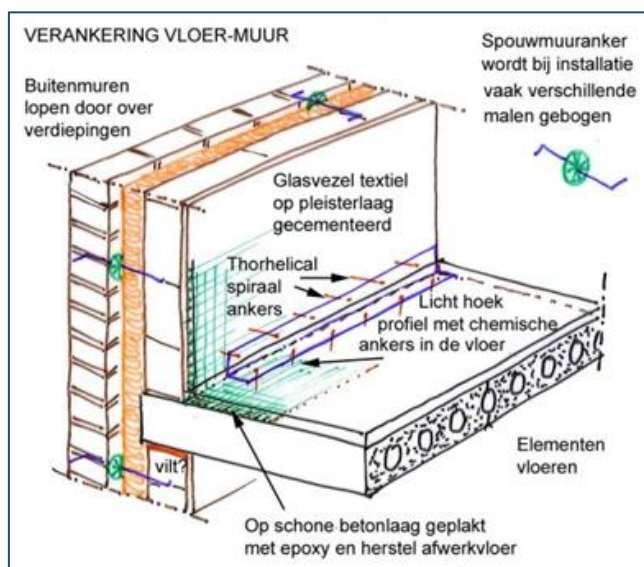
Rechts: Een L-profiel van onderen en van boven maakt de verbinding aan de muur en de twee spouwbladen.



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 onderen²² 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 op 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 8-65. De hoekverbinding bij zowel houten vloeren als betonnen systeenvloeren. 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.



²² 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 kern²³. Austenitic stainless steel Grade 304 (<1200 N/mm²) en 316 (<1050 N/mm²)

Totale treksterkte van een Helifix Ø6 mm spiraalanker ≈ 10 kN (netto doorsnede 8 mm²).

Totale treksterkte van Thorhelical Ø6 mm spiraalanker ≈ 11 kN (netto doorsnede 7,4 mm²)

Verskillende 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	Uittrekkracht 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.

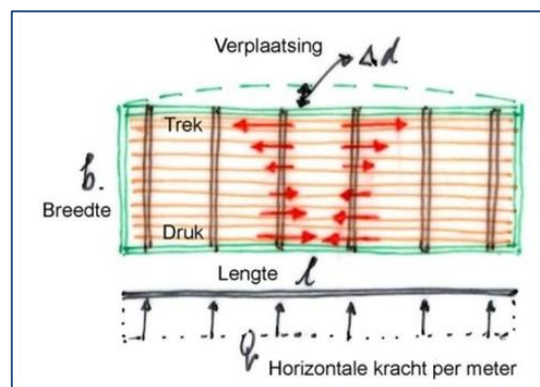
Als alternatief op spiraalankers kunnen chemisch ankers worden gebruikt. Dit is meer kostbaar in materiaal, meer werk vanwege de verschillende handelingen, maar ook veel sterker in aanhechting. Die sterkere aanhechting is niet relevant bij halfsteens bakstenen muren omdat bij krachten die groter zijn 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. $M_{\text{diafr}} = q\ell^2/8$ waarbij de gebouwbelasting uitgerekend moet worden.

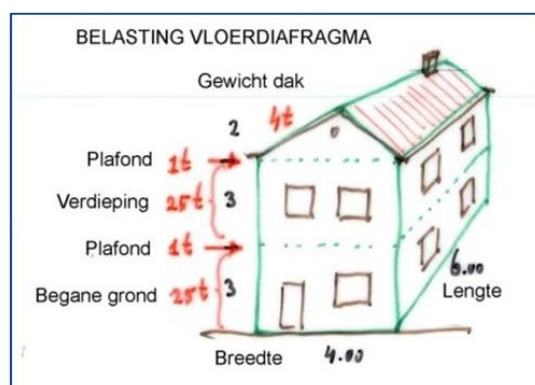
²³ Spiraalankers van www.ABCadamas.nl en www.Totalwall.nl kunnen lagere waarden hebben. Het meest relevant is echter de verankeringssterkte in het bouw materiaal.

Figuur 8-66. Sterkte berekening van een 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 PGA



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 verdiepingvloer.

Figuur 8-67. De massa van de gebouwoonderdelen plus 50% van de 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 bouwoonderdelen 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 aardstok $PGA_g < 0,05$ wordt de belasting $\approx 1,6$ ton verdeeld over de lengte van 6 m. De q belasting is $1,6 \text{ t}/6 \text{ m} = 0,266 \text{ t/m}$. $M_{\text{diafr}} = q l^2 / 8 = (266 \text{ kg/m}) * (6 \text{ m})^2 / 8 = 1200 \text{ kgm}$.

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 $T = M_{\text{diafr}} / \text{breedte } b = 1200 \text{ kgm} / 4 \text{ m} = 300 \text{ kg} = 3 \text{ kN}$. 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 balken of parallelle balken die aan die muren verbonden zijn, moeten die krachten overdagen. Ze worden op afschuiving belast. Met een enkele binnenmuur zijn er $4 \times 4 \text{ m} = 16 \text{ m}$ muur, met balkopleggingen of parallelle balken. Met een onderlinge afstand tussen de verbindingen van $0,75 \text{ m}$ 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 $0,5 \text{ N/mm}^2$; de trek/druksterkte van OSB is $0,3 \text{ N/mm}^2$. Bij een trek/druk spanning langs de rand van de vloer van 3 kN is dan voor multiplex $3000 \text{ N} : 0,5 \text{ N/mm}^2 = 6000 \text{ mm}^2$ 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 $3000 \text{ N} : 0,3 \text{ N/mm}^2 = 10.000 \text{ mm}^2$ 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.

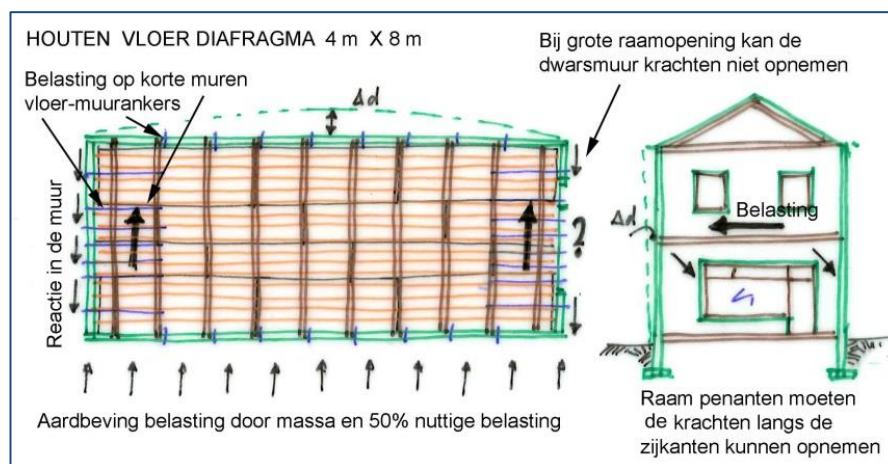
De buigzaamheid van het kalkzandsteen metselwerk is ongeveer de helft van hout of van goede kwaliteit berkenmultiplex in de lengterichting²⁴.

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 8-68. De 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.

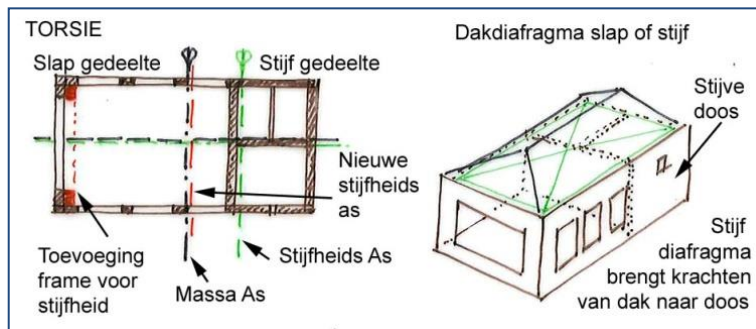


8.13. Horizontale Excentriciteit

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.

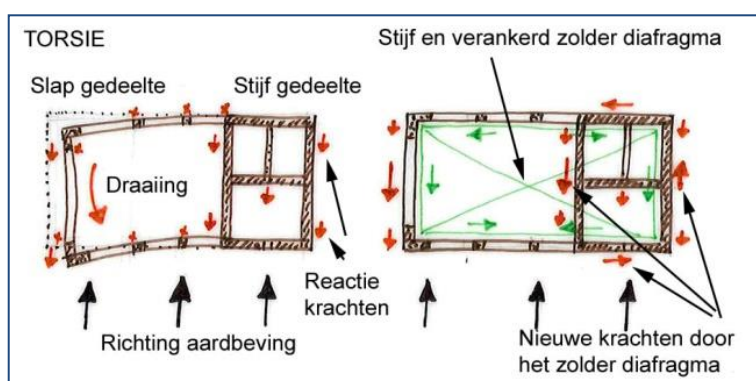
²⁴ Elasticiteitsmodule hout dwars op vezel (0,6-1,0 GPa) $E = 1 \cdot 10^3 \text{ MPa} = 100 \text{ kN/cm}^2 \approx 10.000 \text{ kg/cm}^2$
 Elasticiteitsmodule C16 metselwerk kalkzandsteen $E = 4,5 \cdot 10^3 \text{ MPa} = 450 \text{ kN/cm}^2 \approx 45.000 \text{ kg/cm}^2$
 Elasticiteitsmodule 18-24 mm berken multiplex (finnforest) $E = 8,5 \cdot 10^3 \text{ MPa} = 850 \text{ kN/cm}^2 \approx 85.000 \text{ kg/cm}^2$
 Elasticiteitsmodule hout in lengterichting (9-16 GPa) $E = 10 \cdot 10^3 \text{ MPa} = 1.000 \text{ kN/cm}^2 \approx 100.000 \text{ kg/cm}^2$
 Elasticiteitsmodule beton (30 GPa) $E = 30 \cdot 10^3 \text{ MPa} = 3.000 \text{ kN/cm}^2 \approx 300.000 \text{ kg/cm}^2$
 Elasticiteitsmodule constructie staal $E = 210 \cdot 10^3 \text{ MPa} = 21.000 \text{ kN/cm}^2 \approx 2.100.000 \text{ kg/cm}^2$

Figuur 8-69. 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.



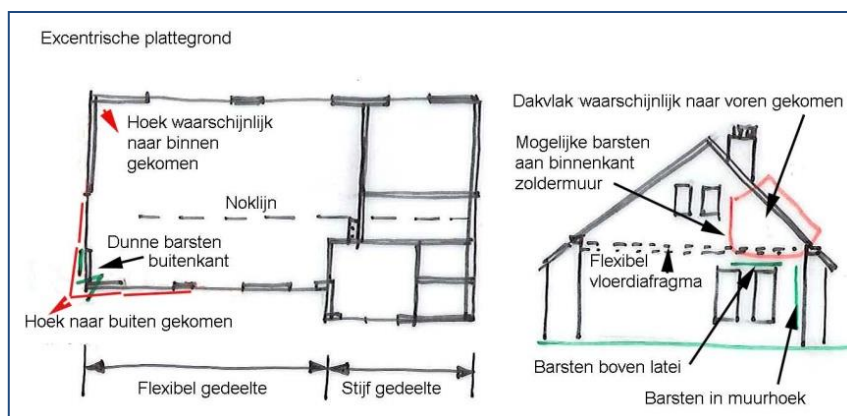
Muren met veel openingen zoals ramen of met smalle penanten zonder wapening hebben een lagere stijfheid in het vlak van de muur dan gesloten in baksteen gemetselde muurvlakken. In de linker schets zijn de zwarte/rode lijnen de massa zwaartelijnen en de groene de stijfheidszwaartelijnen. In het bovenstaande geval is het dakbeschot onvoldoende stijf en te schuin geplaatst om de beweging tegen te gaan.

Figuur 8-70. Draaiing door aardbevingsbelasting. 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 stijfheidszwaartelijijn 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 8-71. In- en uit-beweging van de 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.

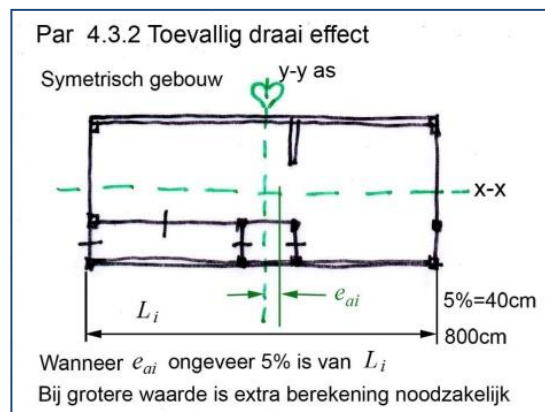


Gebouwen die in de plattegrond duidelijk een excentriciteit hebben kunnen op dit aspect worden nagerekend om toekomstige scheuren te voorkomen. Bij de meeste gebouwen is excentriciteit goed aan de plattegrond te zien. In Groningen zijn ze niet berekend op excentriciteit.

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 8-72. Afstand tussen de twee zwaartelijnen is 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 vloerdiagram in combinatie met het versterken van de dragende dwarsmuren waarmee het diafragma verbonden is.



Figuren 8-73. Boven. Moderne woning Figuur 8-71.

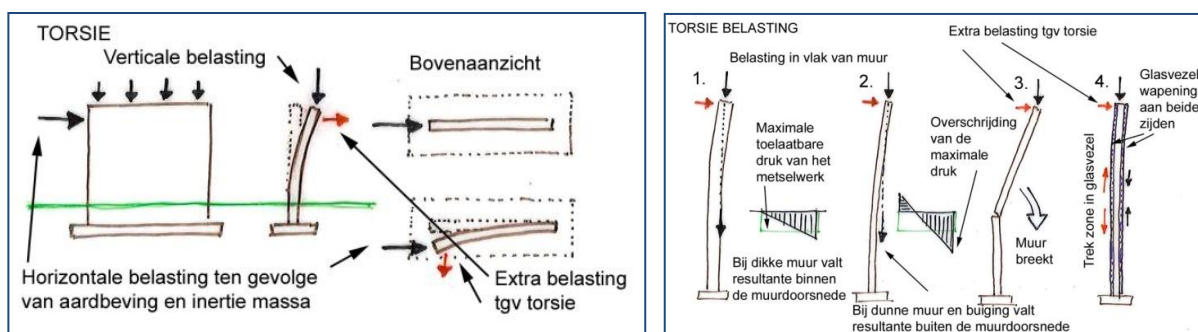
Omdat noch het dak, noch de etagevloer stijf is, kon deze etagevloer vervormen, hetgeen in een barst in de latei boven het rechterraam resulteerde. Alleen een goed stijf vloerdiagrama kan dit voorkomen.

Figuren 8-74. Rechts. Details van de 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 8-75. Dunne (binnen)muren kunnen bij torsie makkelijk 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 8-76. Verdiepte voegen betekent minder draagbreedte metselwerk. Terug gesneden of niet dragend metselwerk vermindert 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.

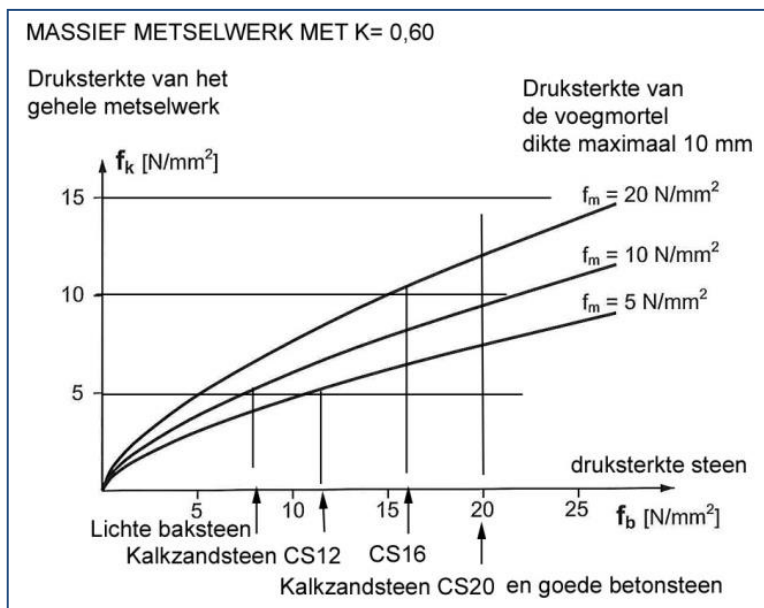
Bijna alle buitengevel spouwmuren (met verdiepte en gesneden voeg) vereisen voor de sterkte berekening een vermindering van 1 cm ten opzichte van de steendiepte. Platvol gevoegd werk wordt meestal veel later uitgevoerd en heeft ook vaak een andere mortelkwaliteit. Bij de middelste foto, waarbij hetzelfde 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 gelijkde 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 langsvoegen²⁵: http://www.pg.qda.pl/cure/docs/eurocodes/prof_ramm.pdf

²⁵ Voor gedetailleerde informatie zie: <http://www.staff.city.ac.uk/earthquakes/MasonryBrick/PlainBrickMasonry.htm>



Figuren 8-77. Drukverloop in de voeg van hoog-belaste bakstenen. Hetzelfde geldt voor blokken.



Voor bestaand metselwerk van meer dan 40 jaar oud kan metselwerk groep 1 (massief CS12) met voegmortel M5 (5 N/mm²) worden aangenomen met een voegsterkte van maximaal 5 N/mm², eventueel verminderd met een geschatte verouderingsfactor -20% ≈ 4 N/mm².

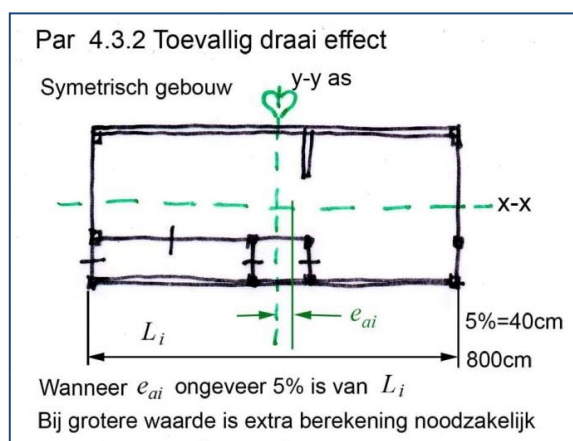
Handvorm bakstenen (CS5) die gevoegd zijn met een kalkmortel M2 (≈2 N/mm²) hebben een muur druksterkte van 1,5 – 2 N/mm². Deze waarden moeten gerelateerd worden aan de netto dikte van de muur door verdiept buiten voegwerk of slecht voegwerk aan de binnenzijde van de muur.²⁶

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 8-78. 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

²⁶ 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 (v) 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 (v) 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 voorbeeld²⁷.

Van het onderstaande twee woonlagen gebouwtje (schets) is de volgende massa geschat:

De vloermassa van houten verdiepingsvloer is $40 m^2 \times 0,3 kN/m^2 = 12 kN$

Plafond en vloerbedekking verdiepingsvloer is $40 m^2 \times 0,2 kN/m^2 = 8 kN$

Alle muren van bovenliggende verdieping $20 m \times 0,2 m \times 2,5 m \times 18 kN/m^3 = 180 kN$

50% nuttige vloer belasting bovenliggende verdieping $40 m^2 \times 1,75 kN/m^2 = 70 kN$

Plafonds van bovenliggende verdieping $40 m^2 \times 0,3 kN/m^2 = 12 kN$

Totaal dak-gewicht met dakpannen $40 m^2 \times 0,75 kN/m^2 = 30 kN$

Totaal sneeuwbelasting $40 m^2 \times 0,5 kN/m^2 = 20 kN$ (windbelasting wordt niet meegerekend).

Totaal belasting op de te berekenen verdiepingsvloer en onderliggende muren = 332 kN

Wanneer de uitgerekende dwarskracht vanwege een aardbeving $0,1g$ zou zijn, dan is de kracht vanwege de massa op de verdieping vloer ongeveer $30 kN \times$ de excentriciteit.

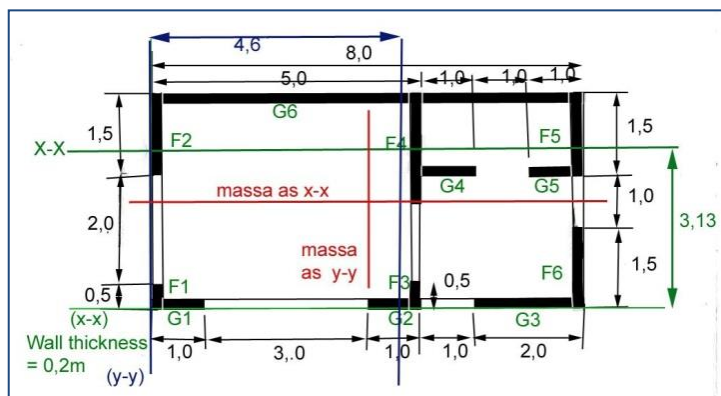
²⁷ Massa's en Belastingen volgens NEN 3859. Bij gebouwen met lichte houten vloerconstructies maakt de mogelijke nuttige vloerbelasting een groot gedeelte van de toegerekende massa uit. Bij betonnen vloeren is dit een kleiner percentage omdat de eigen massa veel groter is.

8.15.1. Berekening traagheidsassen.

Figuur 8-79. 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:

$$\{(0,25m \cdot 0,01m^2 + 4,75m \cdot 0,3m^2 + 0,25m \cdot 0,01m^2 + 4,0m \cdot 0,4m^2 + 4,75m \cdot 0,3m^2 + 1,0m \cdot 0,75m^2) + (0,1m \cdot 0,16m^2 + 0,1m \cdot 0,16m^2 + 0,1m \cdot 0,36m^2 + 4,9m \cdot 1,52m^2 + 3,1m \cdot 0,2m^2 + 3,1m \cdot 0,16m^2)\} / 4,06m^2 = (5,455m^3 + 7,266m^3) / 4,06m^2 = 3,13m^1$$

Dit is ongeveer 0,63 m van de massa zwaartelijijn wanneer de massa zwaartelijijn precies in het midden van het gebouw ligt op 2,5m.

Bij deze plattegrond is $e_{oy} = 0,125 \cdot 5m$ dus; $e_{oy} > 0,05 \cdot L_i$ **dus torsie berekening nodig.**

Afstand bepaling van de (y-y) tot Y-Y as:

$$\{(0,1m \cdot 0,1m^2 + 0,1m \cdot 0,3m^2 + 0,1m \cdot 4,9m^2 + 0,4m \cdot 4,9m^2 + 0,3m \cdot 7,9m^2 + 0,3m \cdot 7,9m^2) + (0,6m \cdot 0,16m^2 + 4,4m \cdot 0,16m^2 + 6,9m \cdot 0,36m^2 + 5,5m \cdot 0,2m^2 + 7,4m \cdot 0,16m^2 + 2,5m \cdot 0,92m^2 + 6,4m \cdot 0,56m^2) / 4,06m^2 = (7,23m^3 + 11,452m^3) / 4,06m^2 = 4,60m^1$$

Dit is ongeveer 0,60m van de massa zwaartelijijn wanneer de massa zwaartelijijn precies in het midden van het gebouw ligt op 4,0m.

Bij deze plattegrond is $e_{ox} = 0,075 \cdot L_i$ dus; $e_{ox} > 0,05 \cdot L_i$ **dus torsie berekening nodig.**

De torsie kracht loodrecht op de x-x as is $60kN \times 0,6m = 36 kNm$.

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 $60kN \times 0,63m \approx 38 kNm$.

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.

8.16. 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.
