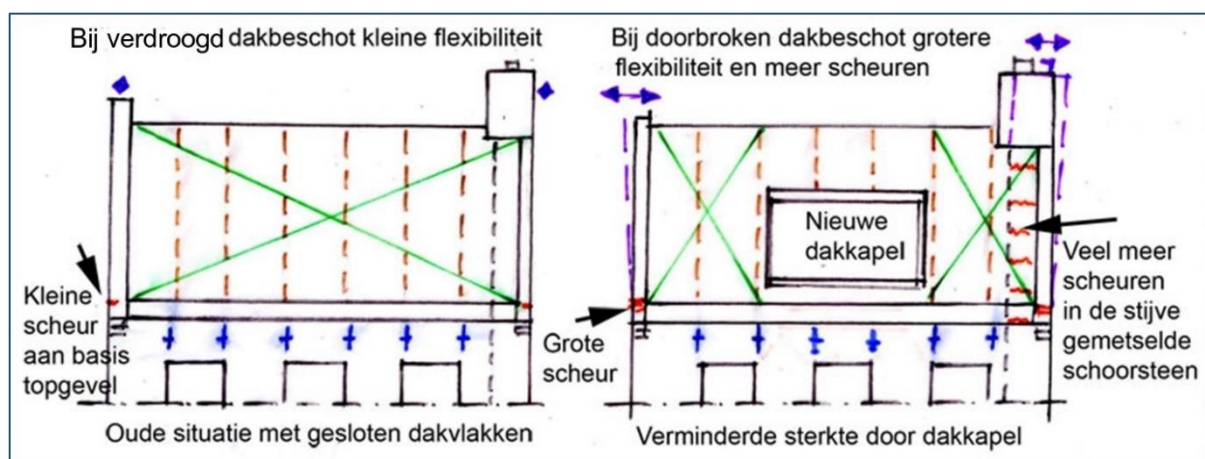


Duurzaam Herstel en Versterking van Woningen in Groningen

Hoofdstuk 9

DAKDIAFRAGMA VERSTERKEN

Na de aardbevingsproblematiek en de afbouw van de aardgasproductie



Abstract:

Seismische versterking van het dak-diafragma volgt dezelfde principes als voor het vloerdiafragma. Bij tentdaken voorkomt het dak-diafragma scheuren in de topgevels en gevaarlijke belasting loodrecht op het vlak van de draagmuren. Zwakke daken en zware topgevels zijn een extra seismisch risico in combinatie met gemetselde schoorstenen. Een paar voorbeelden en oplossingen worden aangedragen.

Kernwoorden o.a.:

Baksteen, dakconstructie, dakraam, dakvorm, diafragma, duurzaam, gevel, isoleren, hoofdstructuur, metselwerk, schoorsteen, seismisch versterken, veiliger maken, verbouwen, verduurzamen.



Door: Sjoerd Nienhuys
Bouwkundig, seismisch ingenieur
Juli 2023

Inhoudsopgave

DAKDIAFRAGMA VERSTERKEN	1
Voorwoord	3
9.0. Introductie	4
9.1. Verschillende dakvormen	5
9.2. Binnenzijdige versterking en isolatie steens-muur	8
9.3. Hoe ouder, hoe droger en lossen de verbindingen	9
9.4. Versterkingsmethoden	12
9.4.1. Binnenzijdig of buitenzijdig isoleren.	13
9.5. Versterken samen met het isoleren	14
9.6. Verstijven en versterken van het dakbeschot	15
9.6.1. Opschroeven van multiplex platen aan onderkant	15
9.6.2. Diagonale spandraden of montage strips aan de onderkant.....	16
9.6.3. Verhogen van het dakvlak	17
9.6.4. Geïntegreerd PV-dak	17
9.6.5. Nieuw lichtmetalen dak.....	17
9.6.6. Verminderen massa van het dak.....	18
9.6.7. Dakpannen vervangen door PV-panelen of PVT-panelen.....	18
9.7. Verminderen van belasting door andere topgevels	18
9.8. Het Mansardedak	20
9.9. Spankabels	21

Voorwoord.

Het vorige hoofdstuk 8 belichtte het vloerdiafragma dat hetzelfde is als het dak-diafragma van het platte dak.

Het dak-diafragma dat in dit hoofdstuk 9 wordt behandeld is het schuine dak, dat niet de muren bij elkaar houdt, maar wel ongunstige belastingen op de (gemetselde) muren kan uitoefenen, zoals bijvoorbeeld bij de topgevels. Het flexibele dak heeft ook veel invloed op de gemetselde schoorstenen zoals al is beschreven in hoofdstuk 3, schoorstenen en topgevels. De verschillende hellingshoeken van het schuine of tentdak en het Mansardedak (met een knik) en de dak-onderbrekingen zoals de dakramen en dakkapellen, kunnen in een aardbevingsgebied problemen opleveren wanneer ze niet goed zijn uitgevoerd om de krachten naar het vloerdiafragma over te brengen. De daken in de provincie Groningen werden nooit ontworpen met aardbevingen in het vooruitzicht. Het grote dak van de Grote Gebinten Schuur wordt apart in hoofdstuk 10 behandeld.

Elk hoofdstuk in deze serie herhaalt enkele van de elementen uit de andere hoofdstukken wanneer het verband tussen de verschillende gebouw onderdelen moet worden beklemtoond. Het is echter niet zo dat als je een dak versterkt volgens de informatie die in dit hoofdstuk wordt gegeven, dat de woning dan ook aardbevingsbestendig is. Elk hoofdstuk is een onderdeel van het geheel en de oplossingen van het ene hoofdstuk hebben invloed op de oplossingen in het andere hoofdstuk.

Extra dak-belastingen door PV en PVT-panelen of zonneboilers kunnen een negatieve invloed op de sterkte hebben, vooral wanneer het oude daken zijn die nooit op die belastingen waren berekend. Ook zijn de stormbelastingen in de laatste decennia toegenomen, terwijl het niet ondenkbaar is dat vanwege de klimaatverandering de normwaarde voor stormbelasting in het open land van Groningen in de nabije toekomst nog hoger zal worden gesteld.

Vooraf daken zullen extra thermisch geïsoleerd moeten worden om de verwarmingskosten te verlagen en daarmee de CO₂ uitstoot. Hoewel isolatiemateriaal een klein gewicht per m³ heeft zal de toevoeging van 20 cm dikte wel invloed hebben op het belasting patroon van die daken. Versterking en isolatie kan echter wel samengaan.¹



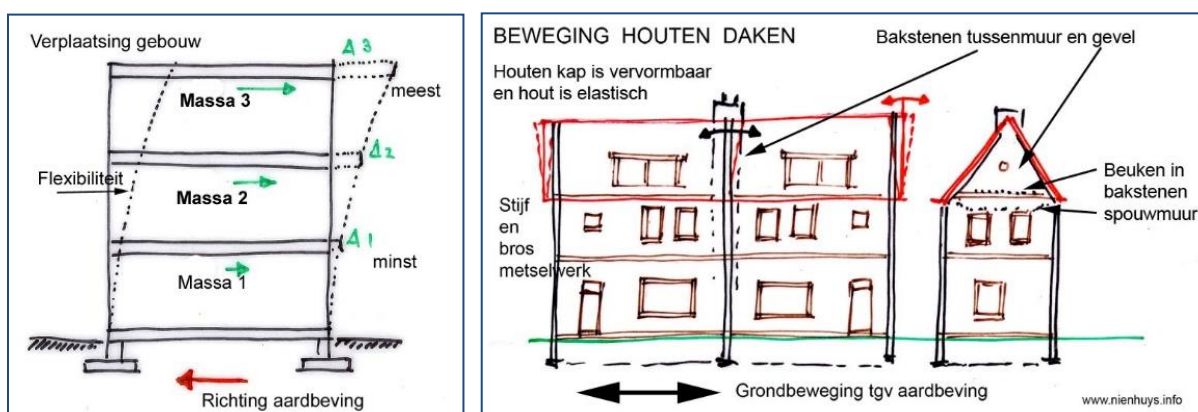
Figuur 9-1. Sommige gebouwen hebben meer dan een enkel probleem.

¹ Meer informatie over dakisolatie op www.nienhuys.info eerste pagina.

9.0. Introductie

Het principe van de werking en de noodzaak van het vloerdiafragma bij aardbevingen is in hoofdstuk 8 toegelicht. Dit geldt niet alleen voor de eerste etagevloer, maar ook voor de tweede etage of zoldervloer en de dakvloer. Hetzelfde principe geldt ook voor de schuine dakvlakken van een gebouw.

Hoewel de aardbevingsbelasting van de gebouwmassa in de top van een gebouw veel kleiner is dan boven de fundering, is de horizontale versnelling en de verplaatsing boven in het gebouw het grootste. Hoge elementen in een gebouw worden hierdoor extra heen en weer geschud.



Figuren 9-2. Hoger in het gebouw zijn de horizontale verplaatsingen het grootst. Bij gelijke elasticiteit van elke etage is de verplaatsing evenredig aan die elasticiteit, maar de grote flexibiliteit van een dakconstructie zal er de oorzaak van zijn dat de top van een dakconstructie veel verder uit-beweegt dan het stijve metselwerk.

Omdat baksteen metselwerk een star en bros materiaal is, kan het slechts weinig elastische vervorming ondergaan, waarna het zal barsten of scheuren. Vanwege de grotere horizontale verplaatsing boven in een gebouw, zullen daar dan ook de eerste scheuren optreden. Een veel voorkomend voorbeeld hiervan in de horizontale scheur in een gemetselde topgevel bij een zadeldak, van de ene goot naar de andere, eventueel via de lateien, boven de ramen of ter hoogte van de balkankers van de etagevloer.



Figuren 9-3. Zadeldaken met potentiële locaties (rode lijnen) in de topgevels waar barsten kunnen/zullen voorkomen vanwege de beweging van de houten kapconstructie. Niet alleen door stormbelasting kan dit gebeuren, maar vooral door aardbevingsbelasting. De kleine zware dakpannen kunnen onderling wel iets meebewegen maar de gemetselde topgevels en schoorstenen niet, die barsten.

De dak-bewegingen tijdens een aardbeving kunnen in de top enkele cm zijn ten opzichte van de etagevloer. De vorming van barsten in de lintvoegen langs die vloerbasis is wellicht enkele tienden van mm en dus nauwelijks zichtbaar. Deze barsten hebben geen structurele consequenties en verminderen niet het verticale draagvermogen van de muur, maar zijn wel een degradatie van de muurkwaliteit. Ook betekent het dat die muurdelen geen sterkte hebben tegen afschuiving. Eenmaal gebarsten, zullen bij meerdere schokken deze barsten groter worden en uiteindelijk zichtbaar. Dit komt omdat met de barst de kruimels het terugkeren naar de oorspronkelijke positie verhinderen. Het aanbrengen van horizontale lintvoegwapening zal de vorming van deze barsten niet voorkomen.

Barsten en scheuren in de topgevels kunnen erger of groter worden door:

- Veroudering van het dakbeschot en uitdogen van het hout (meer beweging),
- De aanwezigheid van dakkapellen en andere dak doorbrekingen.
- Andere, hogere en mansarde dakvormen die meer gevoelig zijn voor beweging.
- Zware schoorstenen op de houten dakconstructie.
- Verwijdering van kapconstructies die de spatkrachten tegengaan.
- Verandering van dakbedekking (dakpannen i.p.v. riet of golfplaten).
- Verandering van dak-belasting (PV, PVT, Zonneboilers, isolatie).
- Kapconstructies die op borstweringen boven de zoldervloer staan.
- Houtrot, schimmel en andere hout aantastingen.
- Grote stormbelasting en aardbevingen.

9.1. Verschillende dakvormen

Naast het eenvoudige tent- of zadeldak dat in de vorige pagina werd uitgebeeld komen in de provincie Groningen de volgende dakvormen veelvuldig voor:

- a. Zadeldak of zadeldak met wolfseind.
- b. Schilddak met vier schuine zijden of het tentdak en vier gelijke zijden.
- c. Mansardedak met of zonder inwendige borstwering².
- d. Dak van de grote schuur; bij oude schuren meestal van rondhout en origineel riet gedekt.



Figuren 9-4. Verschillende dakvormen hebben hun eigen technische problemen. Linksboven. Boerderijwoning met zadeldak en wolfseinde. Midden boven. Schilddak aan vier kanten. Rechtsboven. Mansarde geknikt dak. Onder links. Tentdak, piramidedak. Onder midden. Zadeldak. Onder rechts. Grote schuur dak met uilenbord.

² Jaren-30 woningen hebben vaak een groot dak overstek, maar de dakspanten staan dan met de verticale of schuin lopende kreupele stijl op de bouwmuur. Aan de binnenzijde zit dan meestal een knieschot.

De oudste herenboerderijen of kop-boerderijen hebben boven het plafond van de hoge woonvertrekken een zolder met een hoge borstwering waar de kapconstructie op staat. In sommige gebouwen zitten er lage zolderramen in die borstwering, terwijl in andere gebouwen de hoge borstwering achter de hoge gevelafwerking en goot zit. De hoge borstwering constructie komt ook voor bij Mansardedaken die het steile dakvlak als buitengevel en overhang hebben.



Figuren 9-5. De kapconstructie staat gedeeltelijk op de borstweringen. Links. Hoge borstwering op zolder achter de dakrand en goot. Midden. Kopgevel met lage zolderramen waarbij het dak op ook op een verhoogde borstwering staat. Rechts. Mansardedak met overhang en een binnenzijdige borstwering tot aan de dakramen.

Figuren 9-6. Binnen foto's van hoge borstwering van figuur 9-4 links. Een hoge borstwering achter de dakrand en goot. De hele kapconstructie staat op deze verhoogde muur, maar deze 160 cm hoge muren hebben geen enkele inwendige ondersteuning.



In aanvulling op deze hoofdvarianten zijn er veel samengestelde daken die onregelmatige vormen hebben zoals T en L plattegronden of extra verlengde daken vanwege de verschillende aanbouwen en uitbreidingen die over de vele jaren hebben plaatsgevonden.



Figuren 9-7. Monumentale boerderij en kopwoning met erg hoge borstwering. De ramen zitten gelijk met de vloer en vormen een verzwakking van die muren. Tussen de muurplaat van de kapconstructie en de zoldervloer zijn origineel geen steunverbindingen. Diagonaal scheuren zijn boven de ramen zichtbaar. De zware schoorstenen zijn reeds uit het dak en zolder verwijderd. De muren zijn tijdelijk met houten delen verstevigd.

Deze grote oude woonhuizen hebben meerdere seismische problemen die samen opgelost moeten worden om het gebouw te verduurzamen. Deze zijn:

- Kelder onder de helft van het gebouw. Wanneer deze slechts onder een gedeelte van het gebouw zit, zullen er langs de zijkanten van de kelder en helemaal tot aan het dak meestal scheuren zijn ontstaan door verschillen in de zetting onder de kelder en onder de rest van het gebouw. Gebouwen van figuren 9-6 en 9-7 hebben een kelder onder het hele gebouw.
- Hoge ramen en smalle penanten. Voor een $PGA_g < 0,05$ zijn deze penanten (*Figuur 9-7*) op de grenswaarde van sterkte, maar bij gebrek aan binnenmuren die in een aardbevingsgebied een groot gedeelte van de bevingsbelasting op moeten nemen zijn ze onvoldoende sterk.
- Steens en 1,5 steens-muren waar de balkankers in zijn verbonden. Door vocht kunnen deze balkankers gaan roesten en daarmee de muur beschadigen en de verbindingen verzwakken. Dit laat op etageniveau beweging toe.

Figuur 9-8. Detailfoto van verroest balkanker. Door de expanderende roest zijn de bakstenen los van elkaar gedrukt. De beweging van de zoldervloer t.g.v. de beving veroorzaakte het uitdrukken van de bakstenen. Rechtsboven in deze foto is ook de scheur in de hanenkam te zien.



- Geen lateien boven de kozijnen, waardoor de muren in hun vlak naar buiten kunnen wijken. Door het gebrek aan een verbindend vloerdiafragma neemt die vloer niet die krachten op.
- Hoge, niet ondersteunde borstwering. Alleen in de hoeken is wat stabilisatie, maar over het middengedeelte kan de borstwering door de kapbelasting naar buiten worden gedrukt. In figuren 9-4 is er een horizontale stalen verbinding die de spatkrachten van de kap opvangt, maar dat zelden het geval. De muurplaat kan onvoldoende aan de muur bevestigd zijn.
- De hoge en zware gemetselde schoorstenen, met het gemetselde schoorsteenkanalen boven de zoldervloer en met spouwmuur buitendaks wogen samen bijna 10 ton (*Figuur 9-7*). Door de extra beweging van de flexibele dakconstructie voegde dit een extra belasting toe.
- De steens-muren zijn nauwelijks geïsoleerd ($R_c < 1,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$) met aan de binnenzijde tengelwerk met een luchtlaag. Om deze muren goed te isoleren tot aan de nieuwbouwnorm is ongeveer 10 cm PIR of 15 cm steenwol extra nodig (totaal $R_c > 4,7 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$).

Deze punten illustreren dat het seismisch resistent maken van dak een aanvullende maatregel is die gerealiseerd moet worden wanneer de andere maatregelen aan de fundering, muren en vloerdiafragma's zijn uitgevoerd. De aanpassingen van de schoorstenen (hoofdstuk 3) zijn ter vermindering van de hoge risico's.

*Figuur 9-9.
Middengedeelte
weggedrukt door de
dakconstructie.
De gevellijst is gebarsten
vanwege de belasting van
de kapconstructie en
schoorsteen,
gecombineerd met het
gebrek aan een zolder
vloerdiafragma. Het
dakraam kan/zal een
verzwakking van de
kapconstructie zijn.
Dat is van binnen te
constateren.³*



*Figuren 9-10. De muur langs de voordeur is naar buiten gekomen.
Links. De rechte bovenlijn van de foto laat zien dat het middelste gedeelte van de muur naar buiten is uitgeweken, terwijl de binnen-foto laat zien dat er flinke muurschade is boven de lage ramen.
Rechts. De kapspanten zijn wel met een kreupele stijl naar de zoldervloer doorgezet en met ijzeren balkankers aan de steens-buitenmuur verbonden. Echter, de dak-sporen rusten op de muurplaat en het geheel is beweeglijk.*

9.2. Binnenzijdige versterking en isolatie steens-muur

Door deze ruime kopgebouwen aan de binnenzijde goed te versterken en isoleren wordt uiteraard 15 tot 20 cm ruimte langs de binnenzijde van die buitengevels verloren, maar dit tast de gebruiksfunctie meestal niet aan. Het binnenzijdig isoleren van een steens buitengevel zal altijd met een dampdichte folie aan de warme kant moeten gebeuren om te voorkomen dat vocht van binnenuit in de muur condenseert. Echter, de steens buitenmuur zal zonder royaal overstek vochtig worden en lang vochtig blijven, omdat er met binnenzijdige isolatie geen verwarming van die muur optreedt. Het effect is dat de oude massief ijzeren balkankers die in die muur zitten een verhoogde kans op roestvorming hebben. Bij het maken of verbeteren van het etage/zolder vloerdiafragma zijn die balkankers de oude verbinding met de muren die vervangen moeten worden.

³ Dakramen zijn recent (in de laatste 30 jaar aangebracht) om de zolderruimte te kunnen gebruiken. Het in gebruik nemen van de zolderruimte geeft ook vaak problemen met de doorbuiging van de vloer.

Om corrosieproblemen in deze situatie te voorkomen is het nodig dat het vloerdiafragma op de binnenzijdige versterkende houtskeletbouw constructie draagt, en dat de verticale profielen onder de vloer met chemische en roestvrije ankers aan de muren zijn verbonden. De ijzeren balkankers moeten dan verwijderd worden en verliezen hierbij hun functie (zaten meestal toch al los). Deze ankers kunnen thermisch verzinkt worden met zwarte poedercoating tegen roestvorming. Het terugplaatsen van deze ankers heeft dan uitsluitend een esthetische waarde.

Figuren 9-11. Per typologie kunnen standaard versterkingen gemaakt worden. De typologie die steens-muren heeft kan/moet op eenzelfde wijze geïsoleerd worden.



Bij het binnenzijdig isoleren van oude gebouwen met steens buitenmuren moet goede aandacht gegeven worden aan de bouwfysische aspecten en de vochthuishouding en ventilatie om te voorkomen dat op de duur andere problemen worden geïntroduceerd.

9.3. Hoe ouder, hoe droger en lossere de verbindingen

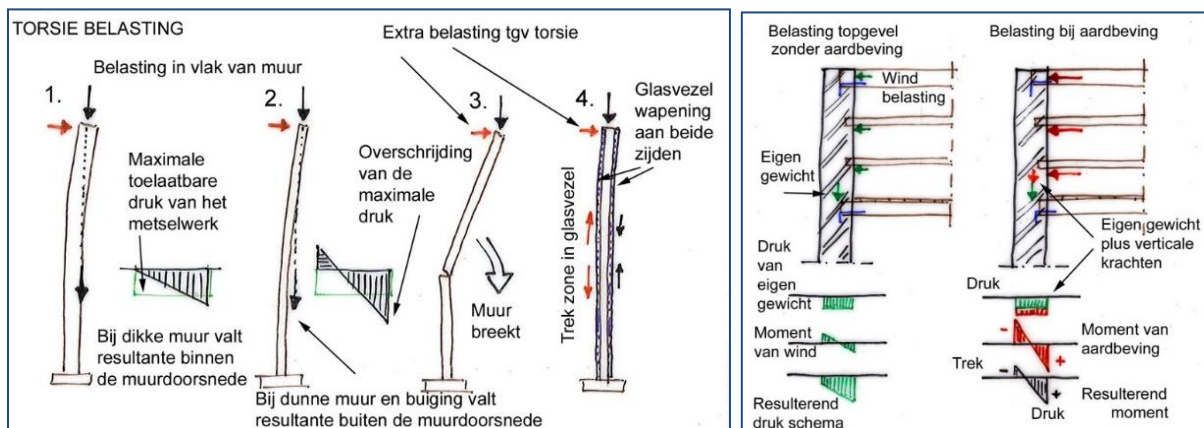
De dakconstructie met dakpannen en bakstenen schoorstenen heeft een grote massa. Hoe groter die massa is, hoe groter zijwaartse aardbevingskracht van die dakconstructie op de topgevels zal zijn. Een oude dakconstructie zal makkelijk vervormen en daardoor de aansluitende muren of schoorstenen belasten en ook vervormen. De gemetselde topgevels, tussenmuren of schoorstenen zijn van stijf en bros metselwerk en kunnen niet voldoende elastisch vervormen; metselwerk zal daarom scheuren.



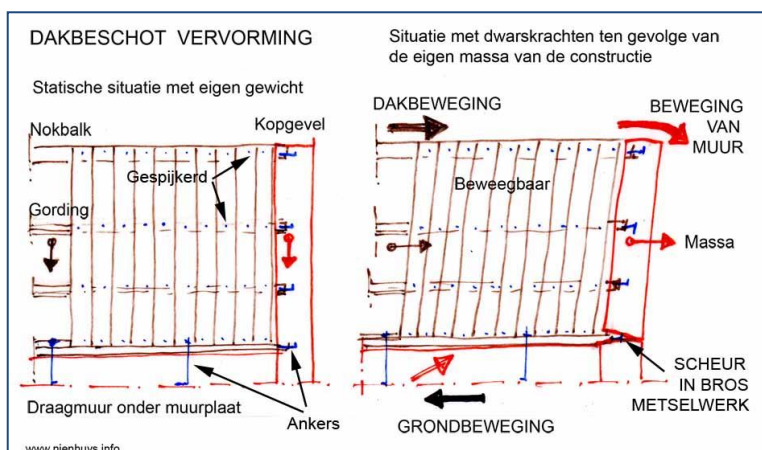
Figuren 9-12. Uitgedroogde planken of sporen van het dakbeschoot laten veel beweging toe. Rondhout verbindingen in oude gebouwen en schuren hebben bewegelijke verbindingen. Rondhout is vaak in de lengte gespleten door uitdroging⁴. De verbindingen zijn vaak met enkele spijkers en laten slechts drukbelasting toe. De oude daken zijn niet berekend op de nieuwe hogere stormbelasting normen. De dakpannen kunnen een groter gewicht hebben dan de vroegere rietbedekking.

⁴ Hoewel veel schuurdaken golfplaten hebben gekregen (i.p.v. riet) zijn dit niet voldoende stijve verbindingen. Het afdekken van oude dakspanten of rondhout met beplating belemmert elke inspectie van dat hout op houtworm, houtrot, boktor en dergelijke en is daarom geen goed idee.

Muren die uit hun vlak worden gedrukt en excentrisch worden belast kunnen knikken. Een bewegelijke dakconstructie zal dit teweeg brengen bij de daaronder aansluitende gevels, wanneer ze niet direct aan een sterk verbindend vloerdiaphragma zijn verbonden.



Figuren 9-13. Topgevels zijn slechts berekend op windbelasting. **Rechts.** Bewegbaar dakbeschot zal de kopgevel wegdrücken. Extra horizontale druk levert buigrisico op. Baksteen kan nauwelijks buigen en zal dan breken. Korrels in een breuk zullen ervoor zorgen dat de scheur niet meer dichtgedrukt kan worden. Bij volgende bewegingen zal de scheur elke keer groter worden. Het dakbeschot moet een stijf diafragma worden i.p.v. de geveltop te versterken met GVTW.



De verticale druk/belasting van de topgevel op het niveau van de zoldervloer is erg klein. Een horizontale kracht zoals van wind (zuiging) levert een klein moment in de muur op. De samenstelling van de eigen gewicht druk (heel laag) en de druk- en trekkrachten van het moment is zonder aardbeving nog steeds druk in de muurdoorsnede (linker schets *Figuur 9-13*). Bij een beving en extra dak-beweging (en belasting) zal de drukspanning in de muur verdwijnen en trek worden, waarmee scheurvorming optreedt. Door de aardbevingskracht ontstaat er dus een buigend moment dat voor de topgevel te groot is. Deze kop- of topgevels kunnen losbreken en vallen, als deze niet goed via de nokbalk en gordingen aan het dakbeschot zijn verbonden.

Bij een losstaande topgevel zal deze bij horizontale belastingen slechts aan de gordingen en het dakbeschot blijven hangen. Niet alleen zullen eerst de dakvlakken versterkt en verstijfd worden voordat enige metselwerkscheuren worden weggewerkt, maar zal ook een verbeterde verankering moeten worden toegepast. Bij daken die niet symmetrisch zijn of dakvlakken die doorsneden zijn door dakkapellen moeten extra constructieve maatregelen genomen worden.

Schoorstenen op de nok van de daken leveren een hoge extra belasting op, terwijl rechte of verslechte schoorstenen bij enige beweging zullen beschadigen. Schoorstenen op de topgevels zijn eveneens een extra risico. Het sterk verminderen van de massa door lichtgewicht schoorstenen toe te passen en slechts metalen geïsoleerde schoorsteenkanalen te installeren worden de dakconstructies veiliger⁵.

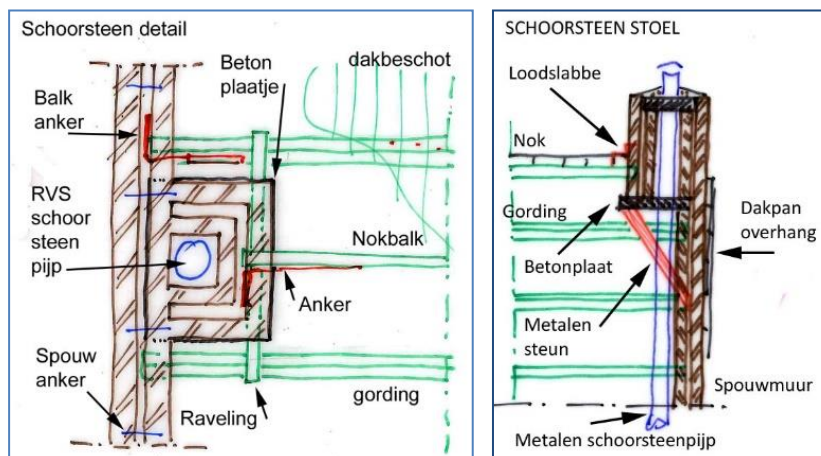
⁵ Deze onderwerpen zijn al behandeld in Hoofdstuk 3 Schoorstenen. Bij het echte verduurzamen van de woning is geen houtkachel meer nodig/wenselijk en heeft de schoorsteen alleen nog een esthetische functie.

Figuren 9-14. De grote schoorsteen moet verwijderd worden. Dit moet zowel buitendaks als binnendaks gebeuren.



Bij het analyseren van verschillende woningen bleek dat **niet alle gordingen voldoende aan de gevels en schoorstenen waren verbonden**. Muurankers zaten vaak **los**, terwijl in sommige situaties de balkeinden **houtrot** hadden, omdat vocht langs de schoorsteen naar binnen drong.

Figuren 9-15. De massa van de schoorsteen en kanaal moet verwijderd worden. Behalve bij een monument, is de basisregel dat er alleen een eventuele uitlaat van de CV of ventilatie door de pannen steekt.



De constructieve aspecten van de schoorsteen op een stoel worden in Hoofdstuk 3 uitgelegd. Het schoorsteenkanaal betekent meestal een onderbreking van de dakconstructie en gebrek aan verbindingen tussen de gordingen en de gevel.

Doorhangende daken zijn wellicht al vele jaren zo, maar zijn een teken van een te slappe constructie of het werken van het zachte vurenhout dat uitdroogt en onder de belasting dan gaat buigen.⁶ De doorzakking zal een kleine verkorting van de overspanning inhouden. De nokgording trekt bij een goede verankering dan de kopgevel iets naar binnen. Alternatief kan de gording iets losgetrokken worden uit de woning tussenmuur.

Figuur 9-16. Doorzakken van nok-gording. Het kleine raam is de badkamer. De nokgording kan op de binnen tussenmuur ondersteund zijn wanneer deze badkamermuur tot in de kap doorloopt. Meestal is dat niet zo.



⁶ In de jaren 1960-1970 werd er snel en goedkoop gebouwd waarbij lage kwaliteit vurenhout werd gebruikt. Het getoonde beeld is uit die bouwperiode.

Bij een sterk doorgezakte nok is een bestudering van de constructie aan de binnenkant noodzakelijk om te beoordelen of er speciale versterking noodzakelijk is. Bij een slappe balk kan deze opgedrukt worden en er een versterking onder gelijmd. Zie figuren 8-30 en 8-31. Bij erg oude gebouwen kan er ook een pasgemaakte regel op gelijmd worden.

Figuur 9-17. Uitvlakken van oude gordingen. Foto uit Frankrijk van een historisch gebouw waarvan de gordingen zwaar waren doorgezakt. Door het op-lijmen/schroeven worden de gordingen tegelijkertijd extra versterkt in hun maximum moment zone.

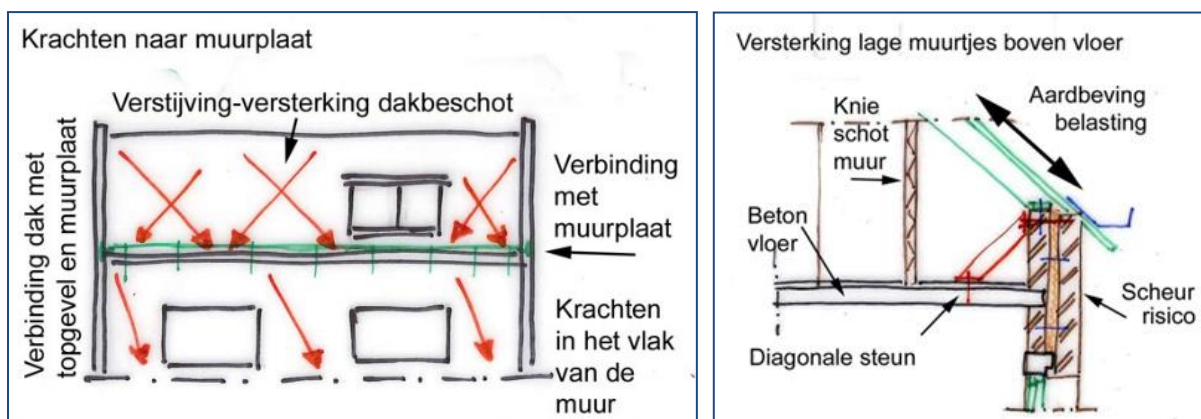


9.4. Versterkingsmethoden

Daken met houten dakspanten en gordingen hebben verticaal opgetimmerd dakbeschot waar overheen horizontaal pannelatten en pannendak is aangelegd. Bij een beving is de massa van de dakpannen⁷, schoorstenen en topgevels van belang. De massa van de schoorsteen moet eerst verwijderd worden. Het dakbeschot moet als stijf diafragma werken en de krachten in haar vlak overdragen naar de muurplaten. Deze muurplaten moeten goede verbindingen hebben met de onderliggende draagmuren en vloerdiafragma. Het vloerdiafragma zorgt ervoor dat de muren niet loodrecht op hun vlak belast worden en moet voldoende sterk zijn om de horizontale belastingen via de sterkste muren naar de fundering te geleiden.

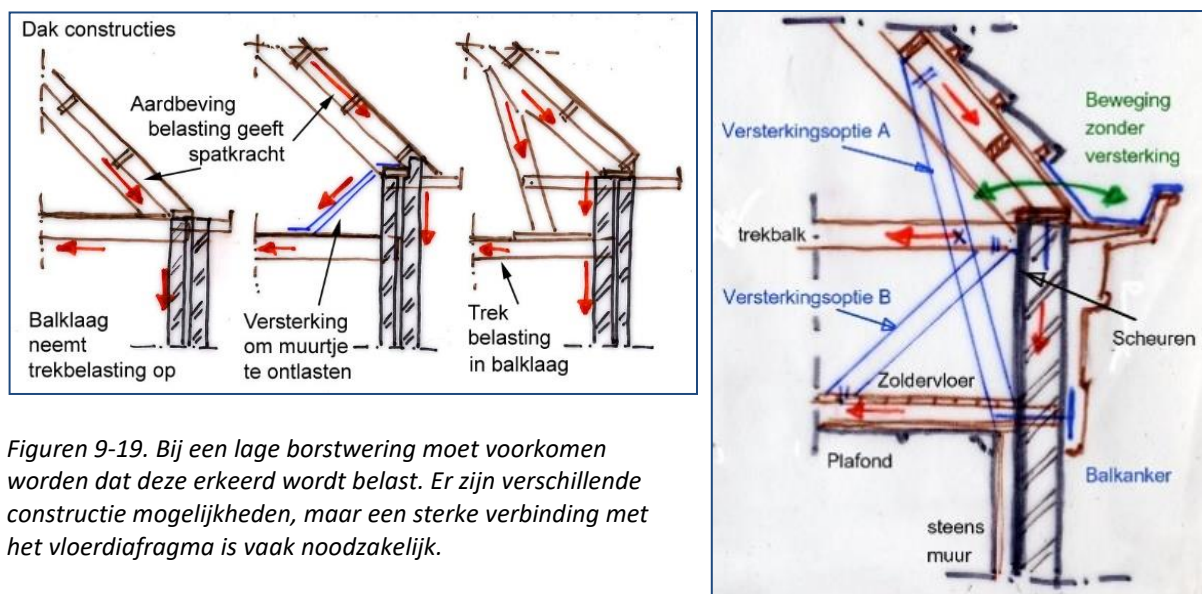
Alle verbindingen moeten deswege gecontroleerd worden op deze krachtenoverdracht en mogen geen speling vertonen.

- Verbindingen tussen de topgevel en de gordingen.
- Verbindingen tussen het dakbeschot en de gordingen.
- Verbindingen tussen de dakspanten en kreupele stijl en de muurplaat en vloerbalken.
- Verbindingen tussen dakspanten/muurplaat en het zoldervloer diafragma.
- Verbindingen tussen het zoldervloer diafragma en de draagmuren (via muurplaat).



Figuren 9-18. De krachten moeten naar de draagmuren afgevoerd worden. Bij elke dakvorm en kapconstructie mogen er geen krachten loodrecht op het vlak van de muren komen.

⁷ Bij oudere gebouwen ziet men vaak het doorzakken van de nokbalk (met nokruiter) of gordingen. In enkele situaties zijn er op een zwak dak ook PV panelen geplaatst. Alleen bij daken die met de bouw al onvoldoende sterk (of van snel gegroeid of spinthout) waren kan dit leiden tot het verder doorzakken van de gordingen.



Figuren 9-19. Bij een lage borstwering moet voorkomen worden dat deze verkeerd wordt belast. Er zijn verschillende constructie mogelijkheden, maar een sterke verbinding met het vloerdiafragma is vaak noodzakelijk.

Daar waar boven het zoldervloerdiafragma nog een lage of hoge borstwering zit, moeten er diagonaal constructies naar het zoldervloerdiafragma worden aangebracht die voorkomen dat de muurplaat loodrecht op haar lengte kan bewegen.

Bij de grote kop-woning van de herenboerderij moeten dan niet alleen de schoorsteenmassa's verwijderd worden (stap 1), maar ook het zoldervloer diafragma gemaakt (stap 2), de muren versterkt (stap 3), voordat de dakconstructie versterkt kan worden (stap 4).

Met het beter isoleren van het dak kan de massa van de hele constructie toenemen. Als alternatief op dakisolatie (binnen of buiten tweemaal schuin) kan eenvoudige en goedkoper alleen de zoldervloer (alleen horizontaal) beter geïsoleerd worden, maar dan wordt die zolder in de winter erg koud.

In sommige gevallen is bij de twee-onder-een-dak woningen of rijtjeswoningen de tussenmuur een spouwmuur. Het is belangrijk dat alle gordingen en de nokgording goed in die tussengevels ook dwars door de tussenmuren verankerd zijn aan de balken in de volgende woning en dat de verbindingen naar de andere buiten topgevel aan de andere kant van het woningenblok doorlopen.

In veel woningen zit de gemetselde schoorsteen aan het binnen spouwblad van de topgevel vast. De schoorsteen is onder de nok verbreedt en wordt een vierzijdige spouwmuur buiten. Dit was de gewone bouwkundige oplossing vóór dat er geïsoleerde rvs-pijpen werden geïntroduceerd.⁸ Hierbij is de nokgording in de buiten spouwmuur van de schoorsteen opgelegd en steunt de stoelplaat op een raveling die op twee gordingen rust (Figuren 9-15). De continuïteit in de verbinding van de nokbalk naar de buitenmuur is dan onderbroken, terwijl ook balkankers kunnen ontbreken. De grote steenmassa en daarmee het gewicht van de buitendakse schoorsteen dient hier verwijderd te worden en de nokbalk of nokgording moet met de nokgording van de naastliggende woning verbonden worden.

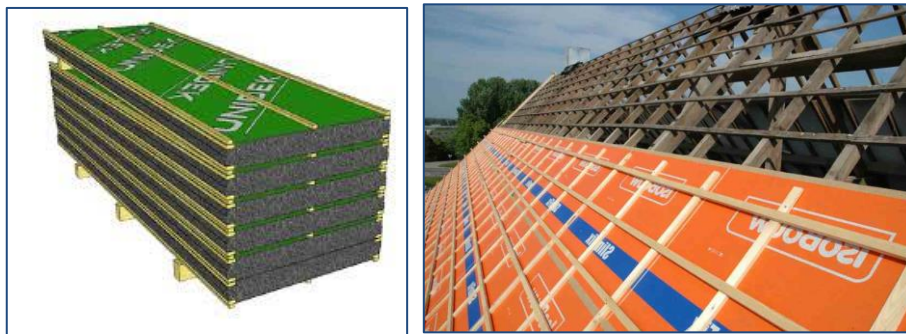
9.4.1. Binnenzijdig of buitenzijdig isoleren.

Wanneer het dak lekt en een (groot) aantal dakpannen aan vervanging toe zijn, is er de optie om het dakbeschot van de buitenkant te versterken. Oude daken hebben meestal geen dampopen regen doorslag-werende folie op het dakbeschot. Dit is een vereiste bij nieuwe daken.

⁸ De verschillende aspecten van schoorstenen werden al in Hoofdstuk 3, schoorstenen toegelicht.

De buitenzijdige versterking kan gepaard gaan met betere isolatie. Bij woningwetwoningen of rijtjeswoningen kan het dan economischer zijn om het hele dak te vervangen door stijve zelfdragende isolatiepanelen.

Figuren 9-20. Vervangen van het hele dak. Dit is vooral economisch bij rijtjeswoningen en door woningcorporaties. Zo gaat er geen binnenruimte verloren.



9.5. Versterken samen met het isoleren

Bij de Nederlandse woningbouw van ná 1980 werden de daken al **iets** geïsoleerd, hetzij direct onder de dakpannen (3 cm Purschuim), hetzij aan de binnenkant van het dakbeschot. De uit de tachtiger jaren daterende isolatie is hooguit 5-6 cm dik met $R_c = 1,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$. In dat geval steken de gordingen (6,5 cm x 16,5 cm) nog ongeveer 10 cm aan de binnenkant door de isolatielaag en de afwerking heen. Deze binnen-isolatie bestaat meestal uit steenwol of glaswoldekens of platen.



Figuren 9-21. Geen isolatie van daken. Links. Geen isolatie. Midden. Een folie tegen de wind. Rechts. Afgewerkt.



Figuren 9-22. De resterende breedte van de gordingen. Links. De gordingen zijn voor 6-8 cm vrij. Bij gordingen van 16,5 cm is de dakisolatie (steenwol) dan niet meer dan 8-6 cm. De gipsplaat telt nauwelijks mee voor isolatie. Rechts. Volledige dikte van de gordingen (16,5 cm) uitgevuld met isolatiemateriaal.

De constructieve maatregelen kunnen tegelijkertijd met de isolerende maatregelen worden toegepast.⁹

⁹ Uitgebreide informatie over dak isoleren op www.nienhuys.info eerste pagina.

9.6. Verstijven en versterken van het dakbeschoot

Voor de woningbouw zijn verschillende soorten van verstijvingen mogelijk:

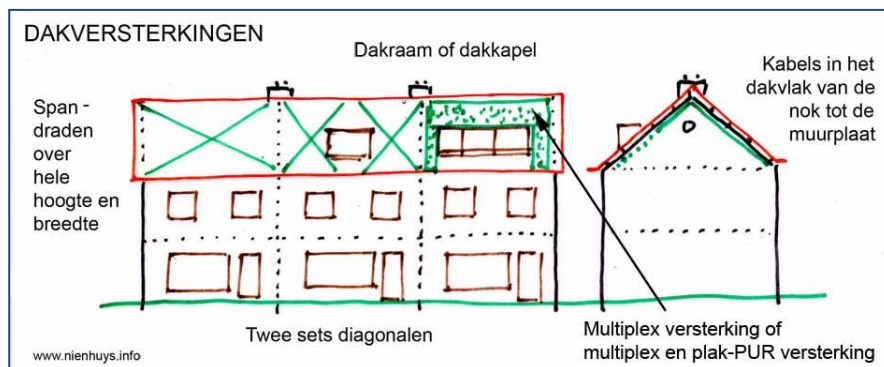
9.6.1. Opschroeven van multiplex platen aan onderkant

De toepassing moet bij voorkeur symmetrisch zijn. Als een zadeldak slechts aan één kant stijver en sterker is gemaakt, terwijl aan de andere kant dakkapellen of dakramen zitten waar de verstijving niet is toegepast, dan kan er tijdens een aardbeving torsie of draaiing in de kapconstructie optreden. Het plafond/dak van een dakkapel heeft een horizontaal vlak, maar de dakstroken naast de dakkapel hebben nauwelijks stijfheid. Dit heeft negatieve gevolgen heeft voor de constructiesterkte. Direct naast de dakkapellen moet dan extra verstijving worden aangebracht.

Figuren 9-23. Dakkapellen zijn een onderbreking van de stijfheid van het dak en kunnen bij een beving torsie van de dakconstructie veroorzaken.



Dakvlakken kunnen verstijfd worden door het aanbrengen van spandraden, of rondom dakkapellen met het aanbrengen van stijve multiplex op de gordingen. Zonder baksteen topgevel is iets meer beweging geen probleem.



Het versterken van het dakvlak door platen is bij een gewone woning aanbevolen boven het verstijven met spanverbanden. Op het einde van dit hoofdstuk meer informatie over spanverbanden.



Figuren 9-24. Dak-opbouwen zijn moeilijker te versterken. Links. Nieuwe opbouw topgevel kan niet in een bevingsgebied. Midden. Schoorsteen is te veel. Rechts. Betere geveldop, maar geen schoorsteen is veel beter.

In een aardbevingsgebied is de dakopbouw links een verkeerde aanpak; in plaats van een nieuwe gemetselde gevel had het hele bovenstuk een HSB-constructie met een houten of kunststof bekleding moeten zijn. De midden foto is iets beter, maar de schoorsteen top had verwijderd moeten worden.¹⁰

¹⁰ Deze afbeeldingen zijn niet uit de provincie Groningen, maar illustreren de verschillende bouwgewoontes.



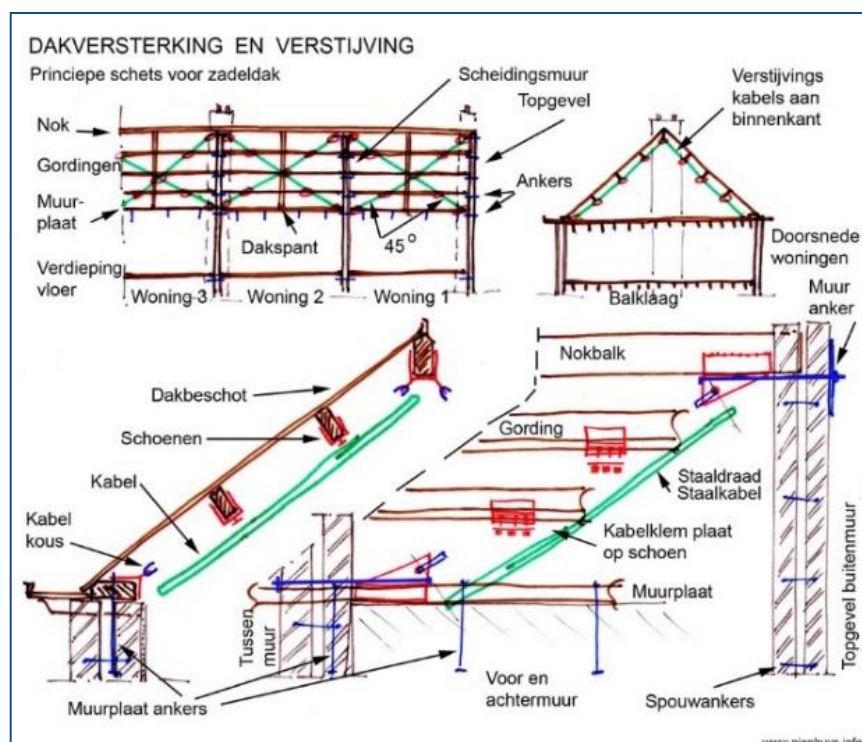
Figuren 9-25. Inwendige constructies. Bij deze lage boerderijwoning werd een test uitgevoerd voor de versterking van de dakconstructie en de verbinding met het vloerdiafragma. (Tegen extra hoge PGAg-waarden).

De complexiteit van de boven-afgebeelde operatie van deze kleine woning gaf aan dat het veel economischer zou zijn om de zolderetage met HSB hoger te maken (vanaf de metalen band op de linker foto) waarmee structurele problemen en de isolatie samen goedkoper konden worden uitgevoerd. Hierdoor werd dan ook extra woonruimte gecreëerd.

9.6.2. Diagonale spandraden of montage strips aan de onderkant

Het diagonaal aanbrengen van spandraden, metalen stripjes of stangen die goed aan de gordingen en extreme hoeken van de kapconstructie zijn verankerd. Wanneer deze aan de buitenkant worden aangebracht dienen eerst de dakpannen verwijderd te worden.

Figuur 9-26. Wanneer aan de binnenkant van de kap de gordingen nog niet zijn afgedekt, is het aanbrengen van diagonale verstijwingskabels of stripjes eenvoudig.



Het aanbrengen van een windverband met kabels of stangen die aan de gordingen en kepers zijn verbonden, maakt de grote dakvlakken zoals bij de Grote Gebintenschuren voldoende stijf en voorkomt extra aardbevingsdruk op de kopgevels.¹¹ Zie ook paragraaf 9.10.

¹¹ S&P Clever Reinforcement Company Benelux BV heeft dit uitgewerkt: www@sp-reinforcement.nl

9.6.3 Verhogen van het dakvlak

Bij dak vernieuwing kunnen op het bestaande dak regels bevestigd worden, waarover een verstijvende multiplex plaat wordt bevestigd en daarop de dakisolatie. Dit is vaak een meer bewerkelijke en dus duurdere optie¹² dan 1) maar kan zinvol zijn wanneer er aan de binnenzijde geen ruimte is of er binnen geen aanpassingen gedaan mogen worden.

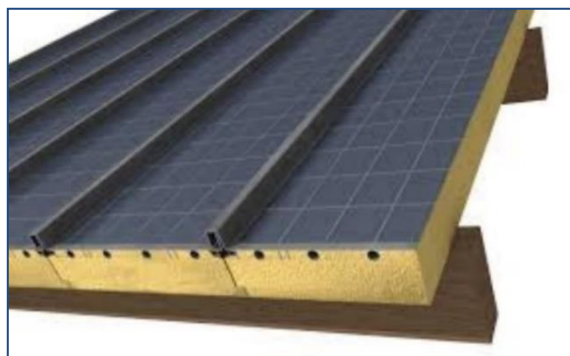
Figuur 9-27. Bij de toepassing van een heel nieuw dak met stijve isolatiepanelen wordt het dak wel stijf, maar de toegevoegde dikte kan een hoogteverschil opleveren met het dak van de burens. Dat kan geen bezwaar zijn.



9.6.4. Geïntegreerd PV-dak

Dit is een combinatie van lange zelfdragende stijve PIR platen zoals, waar PV-cellen op zijn verbonden. De voordelen zijn een snelle verwerking en een lichte stijve dakconstructie waardoor bevestigingsbelastingen kleiner worden. De nadelen zijn dat het dak bij voorkeur op het zuiden georiënteerd moet zijn voor een goed PV-rendement, en dat na een 25 jaar het rendement van de PV iets zal zijn teruggelopen¹³. Een ander nadeel van deze constructie is dat de PV-cellen hun warmte van onderen niet kwijt kunnen en daardoor ook een verlaagd rendement hebben en iets sneller zullen degraderen.

Figuur 9-28. Geïntegreerd PV-systeem en hoogwaardige dakisolatie in grote zelfdragende systemen. Deze hebben zowel voordelen als nadelen. Na een 30-tal jaren moet de PV-folie misschien al vervangen worden voor een hoger rendement kwaliteit. In de pijpen onder de PV cellen kan koelwater lopen.



9.6.5. Nieuw lichtmetalen dak

Dit is ook gebaseerd op het lichter maken van het dak en daardoor de belastingen verlagen. Zware dakpannen kunnen vervangen worden door brede lichtmetalen dakplaten die net zoals de multiplex platen voldoende stijf zijn en stevig op de draagconstructie worden vastgezet. Lichtmetalen, roestvrije, gekleurde en speciaal op dakpannen gelijkende platen zijn beschikbaar. In gebieden met een zwaar aardbevingsrisico worden alle gemetselde schoorstenen systematisch verwijderd en de kleipannen daken vervangen door lichtmetalen decoratieve dakbedekking en isolatie.

Deze lichtmetalen imitatie dakpannen-platen daken zijn al toegepast op grote schuren in de provincie Groningen¹⁴, maar zijn ook geschikt voor kleinere woningen, mits er voor voldoende thermische en geluidsisolatie wordt gezorgd (regen).

¹² Bij deze optie zal een dakdekkersbedrijf meestal adviseren om ook alle dakpannen te vervangen.

¹³ De energetische efficiëntie van PV-cellen neemt regelmatig toe. Na die periode zal er veel meer-efficiënt PV beschikbaar zijn, terwijl de buienkant van een dakconstructie toch wel ongeveer 100 jaar moet meegaan uit duurzaamheidsoverwegingen. De vraag is dan of de oude PV-folies vervangen kunnen worden.

¹⁴ Sommige grote schuren hebben al deze lichtmetalen daken ter vervanging van asbest daken.



Figuren 9-29. Foto's van Coversys met voorbeelden van lichtmetalen dakbedekking. Voor de bungalow met de erg lage dakhelling is een Ruberoid/EPDM of Dak-folie-PV een andere oplossing voor gewichtsreductie.

9.6.6. Verminderen massa van het dak

Een andere methode voor het verminderen van de massa van het dak is het verwijderen van alle dakpannen en in plaats daarvan een lichtgewicht materiaal toe te passen zoals EPDM-kunststof, zink-aluminium profielplaten of andere metalen of geïntegreerde en waterdichte PV-cellen¹⁵.

9.6.7. Dakpannen vervangen door PV-panelen of PVT-panelen

PV-panelen óp een bestaand pannendak zal de massa van het dak vergroten. Oude (slechte) dakpannen vervangen voor een compleet PV-dak, zal de massa van het dak verlagen. Bij de beoordeling van een gebouw en de versterkingsmaatregelen kan in het geval van het dak op het zuiden ook een integraal PV-dak overwogen worden.

Figuren 9-30. In plaats van dakpannen kunnen ook PV-panelen worden toegepast. PVT-panelen zonder de zonnepanelen bovenkant kunnen op het noordelijke dak (geen zon) geplaatst worden. Deze optie is ook mogelijk bij rieten daken, als het PV-gedeelte niet op het riet komt te liggen.



9.7. Verminderen van belasting door andere topgevels

In alle aardbevingssituaties heeft het verminderen van de massa een relatief versterkend effect op het gebouw. Wanneer het metselwerk van een topgevel wordt vervangen door een lichtgewicht en isolerend materiaal worden drie problemen tegelijkertijd opgelost:

- De massa van de topgevel wordt verkleind, waardoor er minder belasting is. Dit zal extra het geval zijn wanneer gemetselde schoorstenen op die topgevel ook verwijderd worden.
- Het nieuwe materiaal kan veel meer elastisch of flexibel zijn dan metselwerk, waardoor scheurvorming niet optreedt.
- Het slecht isolerende metselwerk wordt vervangen met een goed isolerend materiaal dat minimaal een Rc-waarde heeft van $R_c = 4,7 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ (BENG 2021 waarde).

¹⁵ Sinds 2010 zijn er flexibele PV-cellen op waterdichte en UV bestendige EPDM folie beschikbaar als geïntegreerd systeem dat direct op de dakisolatie aangebracht kunnen worden. Vooral bij nieuwbouw en grote dakoppervlaktes is dit economisch een interessante oplossing.



Figuren 9-31. Moderne topgevels zijn lichtgewicht wat belangrijk is in een aardbevingsgebied. Ze zijn flexibel en kunnen goed isolerend gemaakt worden. Scheuren op vloerniveau zijn afwezig. Moderne houten of kunststof (keralit) toepassingen zijn erg duurzaam.

Rechts. Houten topgevels werden vroeger veel toegepast. Dat was omdat metselwerk een duur product was (foto rechts →). En omdat hout voor de scheepsbouw veel beschikbaar was.



Het toepassen van onderhoudsarme kunststof (Keralit, Vinylplus) platen is een duurzame optie. Bij karakteristieke gebouwen of monumenten is het soms niet gewenst of toegestaan om een houten of kunststof topgevel te maken en moet het klassieke metselwerk behouden blijven.

Bij het verwijderen van de hele topgevel (beide spouwbladen) komen de oude bakstenen vrij, waarvan een groot gedeelte vaak hergebruikt kan worden wanneer de gevel in kalkmortel werd gemetseld. Van de geredde oude bakstenen kunnen dan strips worden gezaagd, die dan op de gevel isolatieplaten worden geplakt¹⁶. Met lichtere en meer flexibele topgevels, zonder zware gemetselde schoorstenen, is de noodzaak voor het verstijven van de hellende dak diafragma's minder noodzakelijk.

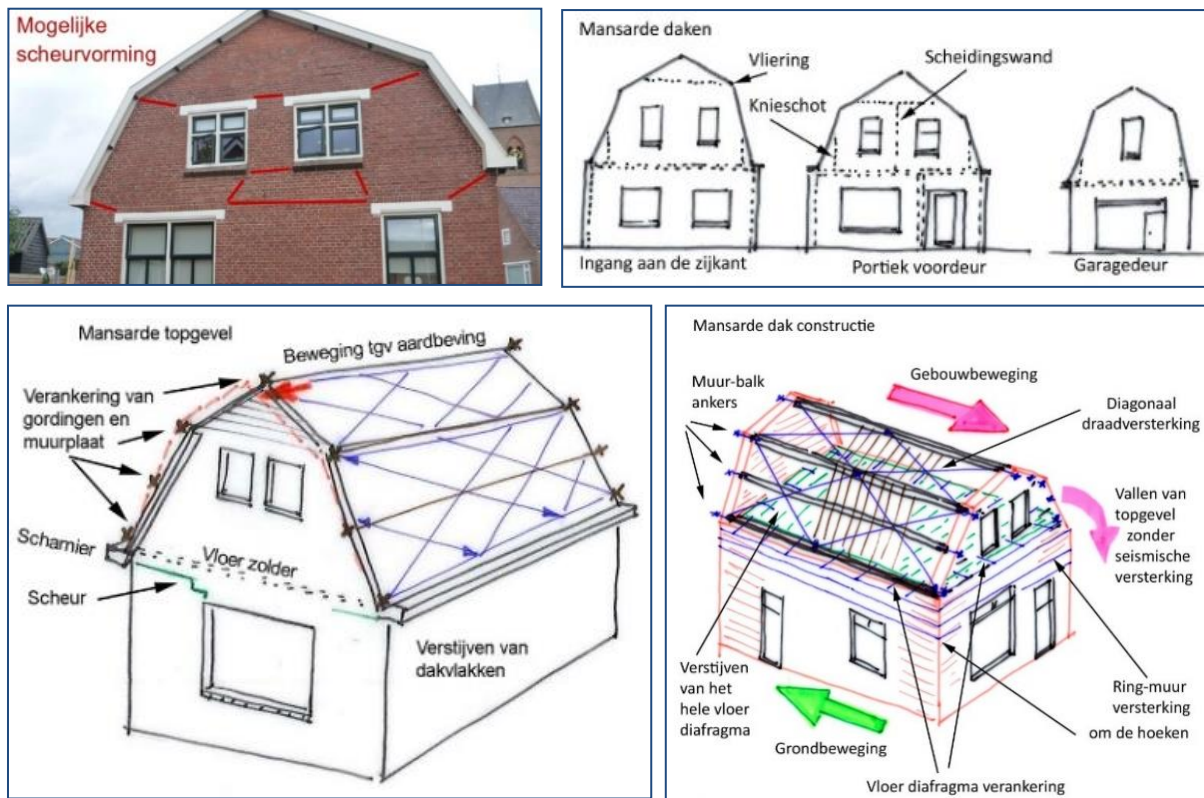


Figuren 9-32. Oude bakstenen kunnen tot steen-strips verwerkt en op isolatieplaten gelijmd en daarna gevoegd.

¹⁶ Het recyclen van gebruikte baksteen wordt steeds belangrijker, maar het is ook mogelijk om imitatie baksteen strips te maken die dezelfde kleur en textuur hebben als de oorspronkelijke gevelstenen.

9.8. Het Mansardedak

De dubbele dakhelling van het Mansardedak vereist twee aparte dakvlak verstijvingen. De voor- en achtergevel van deze daken zijn zowel breed als hoog en kwetsbaar voor scheurvorming op vloerniveau of tussen de zijmuur naar de lateien van grote ramen op de begane grond.

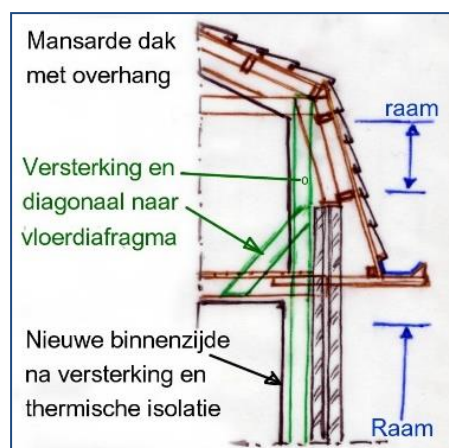


Figuren 9-33. De twee dakhellingen moet afzonderlijk verstijfd worden. Dit kan door verbetering van het dakbeschot of door toepassing van montage strips of spankabels.

De Mansarde kapconstructie is ontworpen om meer bruikbare vloerruimte op de eerste etage te creëren en bestaat in verschillende vormen, zonder en met overhang. Bij een overhang van het steile dak gedeelte over de zijgevel zijn er twee constructies. Eentje waarbij de kapconstructie middels een kreupele stijl op de bouwmuur staat, en een andere waar de bouwmuur nog een halve etage naar boven doorloopt en de kap op de muurplaat staat. In dit tweede geval moeten de krachten uit de kap naar het etage of zoldervloer diafragma worden overgebracht. De structurele versterking kan weggewerkt worden in de aan te brengen binnenzijdige muurisolatie.

Figuur 9-34. De kap staat op een borstwering. Hier moet er een sterke verbinding gemaakt worden tussen de kap en het zolder vloerdiafragma opdat de horizontale belasting via dat diafragma naar de zijmuren wordt afgevoerd.

Houten versterkingsconstructies zijn in deze optie de best aangewezen methode. De dikte van de stijlen geeft meteen ruimte voor 15 cm thermische isolatie van de buitengevel en de kap constructie.



Naast het koppelen van de dakconstructie aan het vloerdiaphragma moeten ook de dakvlakken voldoende stijf zijn, of de brosse metselwerk gevels verwijderd. Over het algemeen hebben deze woningen geen grote architectonische waarde en zijn zelden een monument, dus het verwijderen van schoorstenen is hier geen welstandsprobleem.

9.9. Spankabels

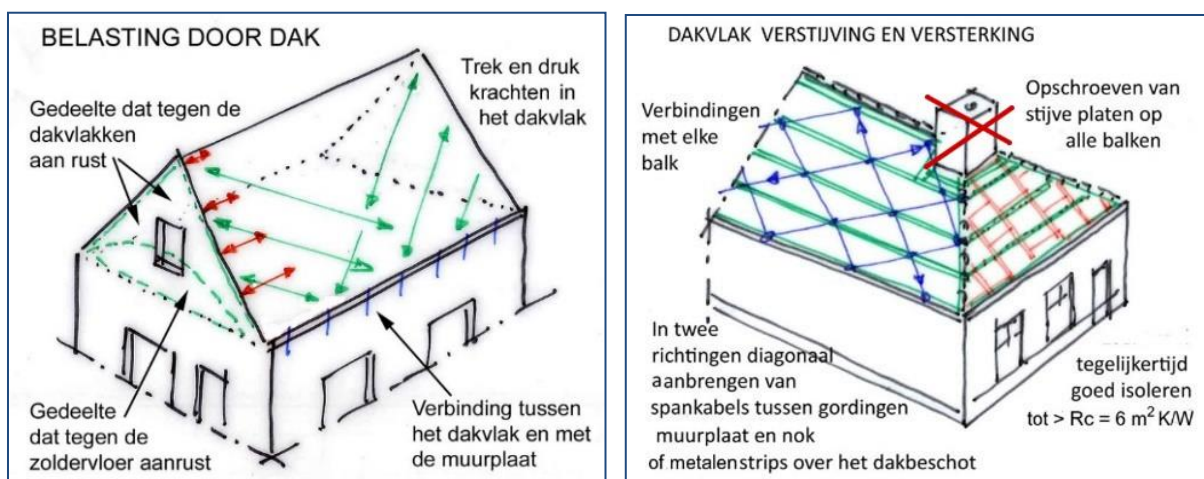
De hierna aangegeven seismische versterking van het dak met spandraden of kabels zal moeten worden aangepast als het dakvlak doorsneden is met dakkapellen of dakramen. De methode is vooral relevant wanneer de zolderruimte niet bewoond wordt en dus niet thermisch geïsoleerd hoeft te worden. De thermische isolatie kan dan economischer op de zoldervloer worden toegepast.



Figuur 9-35. Wanneer de zolder of vliering niet verwarmd hoeft te zijn kan de isolatie op de zoldervloer gelegd. Met een gecacheerde PIR-plaat is de ruimte goed voor opslag te gebruiken. Met samendrukbaar materiaal zoals glaswol of steenwol tussen regels en daaroverheen een multiplex of OSB-topvloer is de vloer voor opslag te gebruiken.



Uit schattingen van mogelijke dak-belastingen bij woongebouwen kan bepaald worden dat een enkele verzinkte staalkabel van slechts 2 mm diameter voldoende is (bij $PGAg < 0,1$) voor elke diagonaal wanneer deze om de 200 cm tot 300 cm wordt aangebracht. Courante staalkabels zijn 3 mm en 5 mm doorsnede. Het zijn de verbindingen die het meest kritiek zijn om de krachten over te dragen.

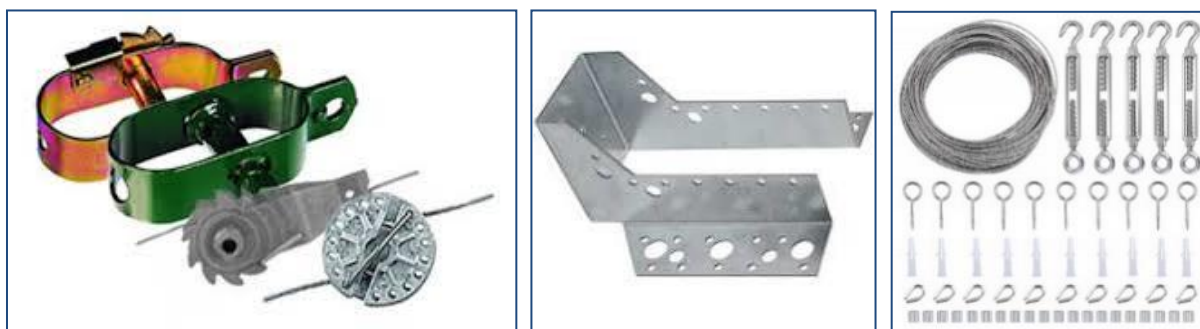


Figuren 9-36. Krachtenverloop in de dakconstructie. De verankering aan de muurplaat moet goed zijn en de muurplaat moet op haar beurt weer goed aan de buitenschil verbonden zijn. Zonder gemetselde onderdelen kan de hele dak constructie meer flexibel blijven dan het onderstaande gebouw.

Figuren 9-37. De opspan- en verbindingsmiddelen zijn in de markt te verkrijgen. De meeste systemen zijn na te spannen.

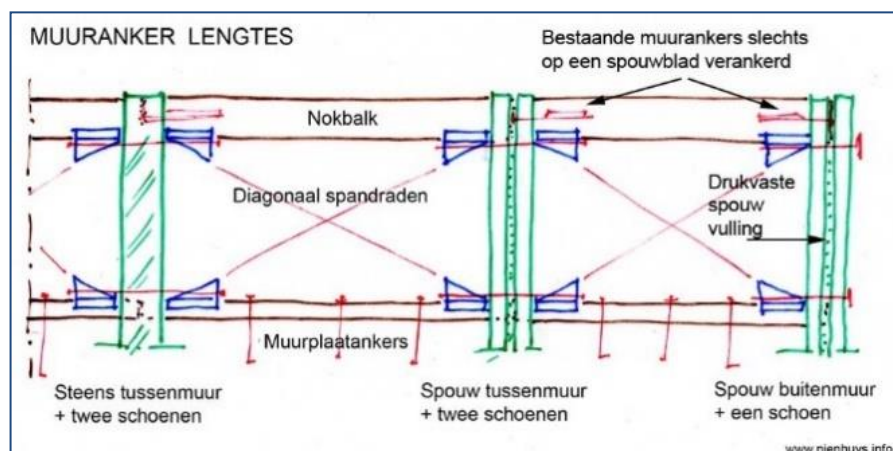


IJzerdraad zoals gegalvaniseerd of elektro-verzinkt ijzerdraad hebben eveneens een hoge treksterkte (680 N/mm²) en kunnen voor hetzelfde doel gebruikt worden. Voor ijzerdraad kunnen draadspanners worden toegepast die veelvuldig bij weide afrasteringen worden toegepast. Hiermee worden na bevestiging de draden strakgetrokken.



Figuren 9-38. Er is ook PVC gecoat staal draad beschikbaar. Aluminium knijpklemmen verbinden de draadeinden achter de lus. Spankabels worden veel gebruikt bij zeilboten.

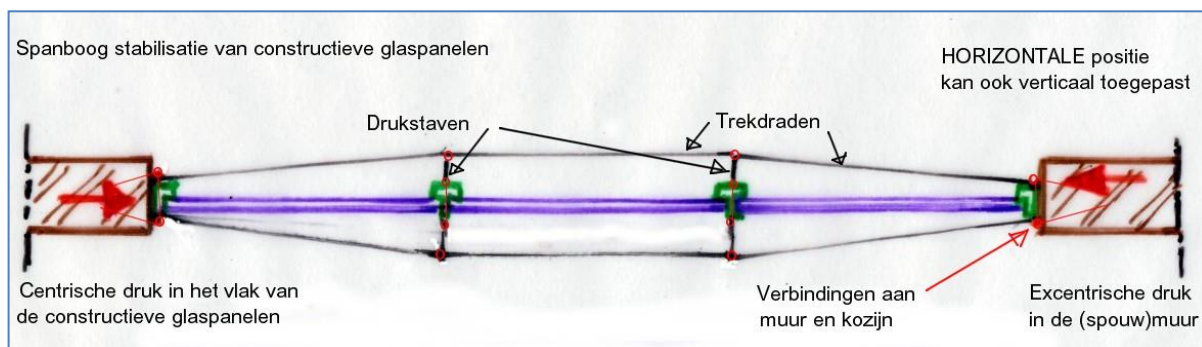
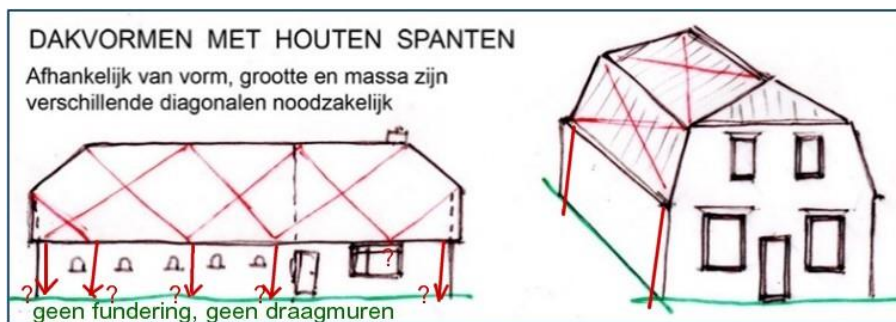
Figuur 9-39. Doorverbinding bij de spankabels naar de volgende woning. Bij rijtjeswoningen moeten de schoenen van de spankabels door de muur met elkaar verbonden zijn.



De spankabels dienen aan de nok, gordingen en muurplaat bevestigd te worden door middel van bevestigingsschoenen of balkdragers. In de markt bestaan veel soorten van gegalvaniseerd plaatstalen balk- en raveel-dragers, die voor dit doel aangepast kunnen worden. De diagonale spandraden moeten tussen de nokbalk langs de gordingen verbonden worden met de muurplaten. Er moeten daarom goede (eenvoudig aan te brengen) verbindingsmiddelen beschikbaar zijn die een snelle montage mogelijk maken en voldoende op te spannen zijn.

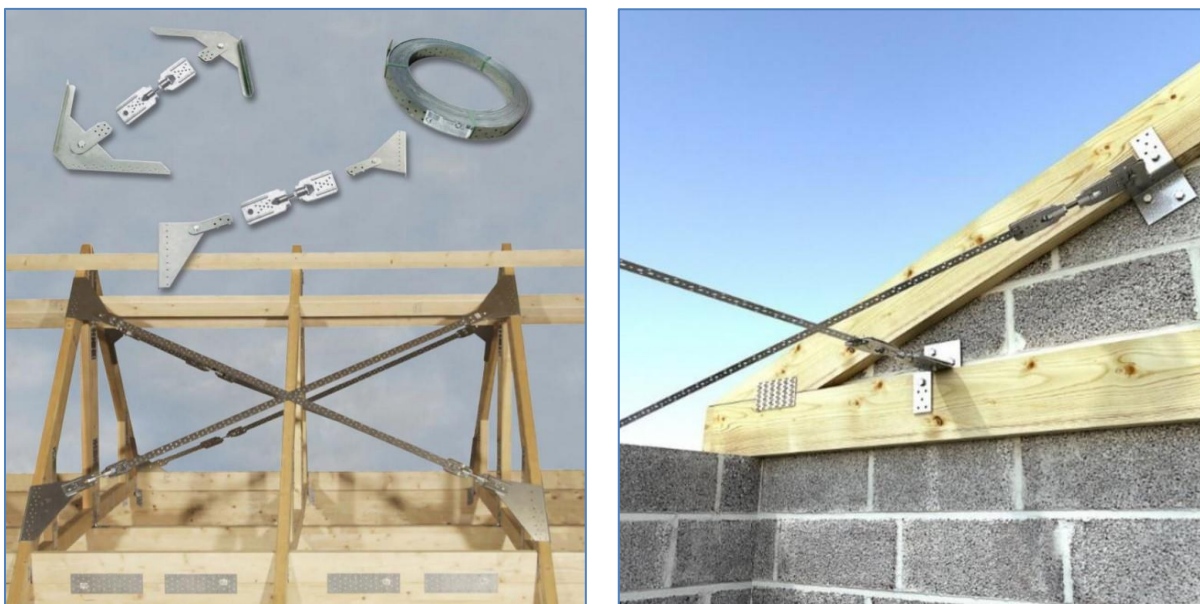
De toepassing van spandraden in een boogconstructie geeft de mogelijkheid om grote sterkte en stijfheid te verkrijgen met een minimum aan materiaalkosten. Wanneer er geen stijve brossen baksteen elementen in en aan de dakconstructie zitten, zijn de eisen voor een stijve dakconstructie veel minder hoog en daarmee kostenbesparend.

Figuur 9-40. Toepassing spankabels in agrarische gebouwen.
Zie ook Hoofdstuk 10.

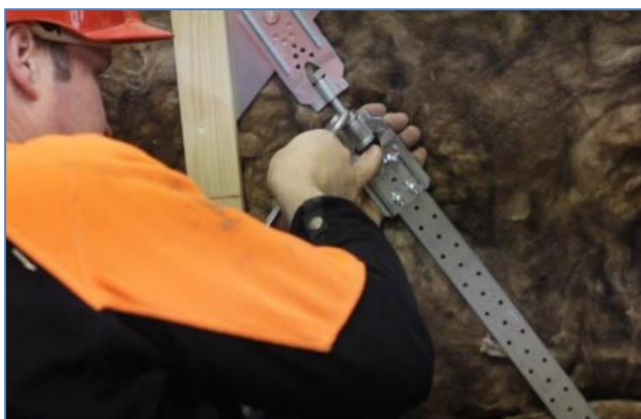


Figuur 9-41. Spandraden in tweezijdige een boogconstructies kunnen voorkomen dat excentrische druk op samengesteld sterke constructieve glaspanelen in knik resulteert.

De toepassing van spanverbanden (diagonalen) kan de beweging aanzienlijk beperken. Dit kan met gewoon 3,2 mm dubbel gegalvaniseerd ijzerdraad, maar ook met stripmetalen verbindingen.



Figuren 9-42. Gegalvaniseerd stalen spanverband van voor een woonhuis. Dezelfde materialen kunnen gebruikt worden om het dak van de Grote Gebinten Schuur te verstijven en te voorkomen dat er trekbelastingen op de pen-verbindingen komen te staan zodat ze los kunnen komen. Hier worden geen staaldraden gebruikt, maar stripstaal dat makkelijk op de juiste lengte kan worden afgeknipt en verbonden met een eindstuk. Minder werk. Ontwerp S&B Benelux. www.sp-reinforcement.nl



*Figuren 9-43. Overzicht van een woonhuis opspanning. Door het aandraaien van een bout kan precies de afstand en de spanning van de diagonalen geregeld worden.
Rechts. Hoek verbinding voor vernageling op gezaagde spantdelen.*