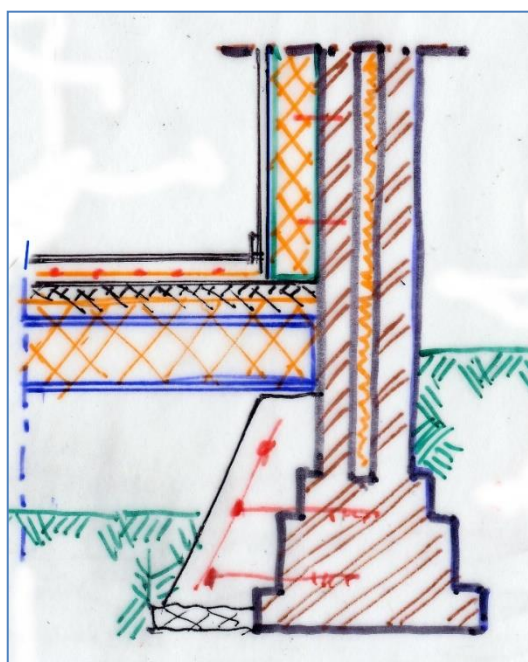


Duurzaam Herstel en Versterking van Woningen in Groningen

Hoofdstuk 4

FUNDERINGEN VERDUURZAMEN

Na de aardbevingsproblematiek en de afbouw van de aardgasproductie



Abstract:

Aardbevingen en grondzettingen grijpen via de fundering in op het gebouw en zijn een belangrijke oorzaak van scheuren in het metselwerk. Om gebouwen te verduurzamen en scheuren in de muren vanwege zettingen of bevingen te voorkomen, zullen vaak eerst de funderingen versterkt moeten worden. Dit document geeft verschillende opties aan.

Kernwoorden o.a.:

Aardbeving, baksteen, *Base-isolation*, diafragma, duurzaam, fundering, geïnduceerd, grondwater, Groningen, hoofdstructuur, injecteren, isoleren, kelder, lateien, lintvoegwapening, metselwerk, op staal, perspalen, platformfundering, seismisch versterken, veiliger maken, verbouwen, vloeren, verduurzamen, zetting.

Hoofdstuk 5 betreft de techniek van *Base-Isolation* als funderingselement.



Door: Sjoerd Nienhuys
Bouwkundig, seismisch ingenieur
Juli 2023

Inhoudsopgave

FUNDERINGEN VERDUURZAMEN	1
Voorwoord.....	3
4.0. Introductie	4
4.1. Probleem identificatie	5
4.2. Evenwichtsdraagvermogen	6
4.3. Grondwaterstand wijziging en verzakking	8
4.4. Veranderd fundering belastingpatroon door aardbeving	13
4.5. Verandering van het belastingpatroon door diafragmaversterking	15
4.6. Kelders en gemetselde uitgetande funderingen	19
4.7. Zijdelings wegdrücken van funderingen op staal	24
4.8. Verduurzamingsopties voor funderingen	25
4.9. Verticale scheuren in rijtjeswoningen	30
4.10. Verwijding van buitenmuren bij lage woning	31
4.11. Het verdichten van de ondergrond van het gehele gebouw	32
4.12. Extra funderingspalen, buis, schroef, pers	33
4.13. Verbreden fundering met platen of vulpaletten	35
4.14. Plaat- of platformfundering ‘op staal’	36
4.15. De toepassing van <i>Base-isolation</i> bij een bestaande palenfundering	39
4.16. Youtube filmpjes fundering herstel systemen	40

Voorwoord.

Aardbevingen grijpen aan op de funderingen van gebouwen, waarna de schokken of trillingen vanuit die fundering via de muren naar boven in het gebouw worden doorgegeven. De aardbevingstrillingen gaan op-en-neer en heen-en-weer en naar voren-en-achteren. Bij een beetje flexibel gebouw zal het gebouw natrillen. De gebouwbevingingen gaan weer als belastingen terug naar de fundering. De fundering zal daarom als eerste een mogelijke schade kunnen ondervinden en kunnen verzakken of zetten vanwege de verhoogde belastingen.

Ofschoon funderingsschade onder het maaiveld niet direct zichtbaar is, kan het effect daarvan wel zichtbaar zijn in de bovenliggende bouw. Een scheurtje van 2 mm in de fundering kan leiden tot een scheurtje van 2 mm in een muur. Een kleine scheur kan bij een volgende beving groter worden. Om een goed inzicht te krijgen in het schadepatroon van de muren in een gebouw is dan ook aanvullend funderingsonderzoek relevant.

Ook de voor mensen niet-voelbare trillingen (verkeer, aardbevingen), kunnen bij gebouwen met slechte funderingen of op slappe grond zettingen veroorzaken en daardoor scheuren. Echter, er zijn vele andere redenen waarom funderingen zettingen en scheuren kunnen krijgen. Het merendeel van de oude in baksteen gebouwde woningen 'op staal' in Nederland hebben scheuren. Dat heeft meestal geen invloed op de technische kwaliteit of sterkte van het gebouw, maar het is esthetisch wel storend.

Wanneer de aardbevingen of trillingen veroorzaakt worden door een bedrijf, is dat bedrijf aansprakelijk voor de schade en moet de gebouw herstelkosten vergoeden. Wanneer de verwachting is dat er aardbevingen blijven komen kan men besluiten om het gebouw te versterken zodat er minder vaak scheuren komen. Dat is met de stijve, brosse baksteenarchitectuur in Nederland echter een moeilijke opdracht. En nauwelijks haalbaar, tenzij er overmatig zwaar versterkt wordt.¹

Pas in 2017 werd er een Trilling richtlijn opgesteld:

Trilling richtlijn SBR-A 2017 <https://trillingen.com/artikelen/trillingsmetingen-sbr-richtlijn-a#:~:text=Trillingsmetingen%20volgens%20SBR%20richtlijn%20A&text=Veel%20bouwwerken%20zijn%20niet%20expliciet,de%20frequentie%20van%20de%20trillingen>. En:

27 november 2020 Nader advies opgeleverd over zettingsschade. ir. P.C. van Staalduinen* en ing. H.J. Everts <https://www.schadedoormijnbouw.nl/nieuws/nader-advies-opgeleverd-over-zettingsschade> met uitgebreid en gedetailleerd rapport:

<https://api.schadedoormijnbouw.nl/content/Beoordeling%20invloed%20van%20bevingen%20op%20zettingen%20-%20november%202020.pdf> en: SBR trilling richtlijn A BuildinG 2017

<https://www.building.nl/uploads/fckconnector/bbb3c9ac-bf69-4a11-ad06-95a88aeca916/3016759984>

Deze 2017 SBR-A trilling richtlijn geeft aan tot welk niveau een gebouw grondtrillingen zonder schade zou moeten kunnen doorstaan, hetgeen het geval is bij alle nieuwbouw. Het blijft echter onverminderd zo, dat oudere gebouwen ook tot aan die in de richtlijn genoemde trilling-waarde wél bevingsschade kunnen oplopen, al is het maar vanwege zetting. Het idee is dat er onder die trilling richtlijn-waarde dan geen basis voor bevingsschade-claims meer zou zijn is onjuist. Oude gebouwen vallen niet onder een 2017 regeling.

¹ Een alternatief is om het gebouw op *Base-isolation* te zetten, maar dat is een dure optie. Zie Hoofdstuk 5.

4.0. Introductie

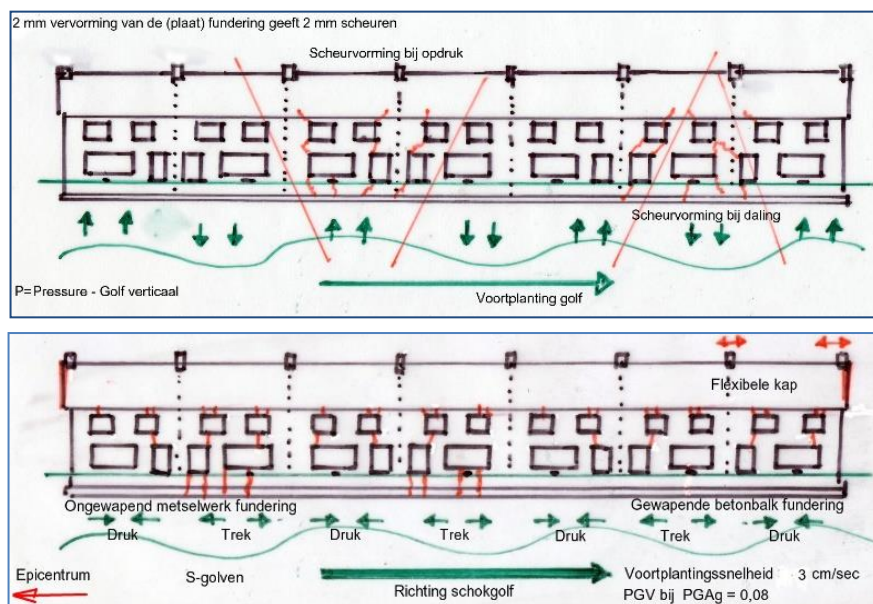
In Hoofdstuk 3 (Schoorstenen en Geveltoppen) werden de meest risicovolle gebouw componenten besproken die bij aardbevingen risico's van beschadigen of neerstorten opleveren. Ofschoon de muren de tweede categorie zijn waarbij aardbevingsschade aan metselwerk-gebouwen goed zichtbaar wordt, zal muurherstel door een lichte constructieve versterking in veel situaties slechts een beperkt effect hebben, wanneer de funderingen onder die muren niet ook zijn mee-versterkt. Als de funderingen niet meer verzakken, kunnen de muren blijvend hersteld of versterkt worden.

Hoewel het wegwerken van scheuren in metselwerk een belangrijk esthetisch resultaat geeft, zal het alleen dichtsmen van de scheuren geen blijvend resultaat opleveren, wanneer de bodem onder het gebouw in beweging blijft door verschillende soorten trillingen² en zettingen. **Muren versterken is slechts duurzaam wanneer de funderingen in orde zijn.** Het verduurzamen van een gebouw, én dat voor de komende 100-200 jaar of langer te garanderen³, zal in veel situaties dan ook een **verbetering van de fundering moeten inhouden**. Vervolgens zal er gekeken moeten worden naar de sterkte van de muren, de vloerdiagrama's op de etages, eventueel Lage Temperatuur Verwarming (LTV) op de begane grond, verstijving van de dakconstructie en goede isolatie van de gehele buitenschil.

Zoals eerder werd toegelicht zullen P- en S-golven verschillende invloeden hebben op funderingen.

Figuren 4-1. Verschillende golfbewegingen bij een aardbeving.

De P-golf veroorzaakt een verticale op-en-neer beweging die zettingen en scheuren kan veroorzaken. Een bakstenen fundering zonder sterke doorgaande en dragende balk kan scheuren. Scheuren absorberen een beetje de schok, maar zullen daarna steeds verder (hoger) in het gebouw voorkomen.



Het goed herkennen en onderkennen van de oorzaken van de scheuren, is belangrijk. Hierna wordt uitgelegd of deze wel dan niet gerelateerd zijn aan de sterkte van de fundering, of aan aardbevingen, zettingen en dergelijke. Deze kennis is belangrijk voor de keuze van de methode van verduurzamen van die fundering of het hele gebouw. Het kostenplaatje dat hiermee gemoeid is kan bij oude en slechte gebouwen, of bij gebouwen met zwakke funderingen zodanig hoog zijn dat voor een *Base-isolation* methode gekozen moet worden, of voor sloop en nieuwbouw. Bij het evalueren van gewone woningen werd bepaald dat wanneer de versterkingskosten hoger waren dan 150% van de nieuwbouwwaarde, dat dan voor slopen en nieuwbouw gekozen zou moeten worden.

² Per 2020 en tot na het geheel dichtdraaien van de gaskraan zullen er in de provincie Groningen slechts kleine bevingen plaatsvinden, met steeds grotere tussenpauzes, maar andere trillingen zoals van verkeer zullen blijven bestaan. Ook grondzettingen en zettingen van de fundering zullen ook blijven bestaan wanneer deze gerelateerd zijn aan niveauveranderingen van het grondwater, zoals bijvoorbeeld bij veengronden.

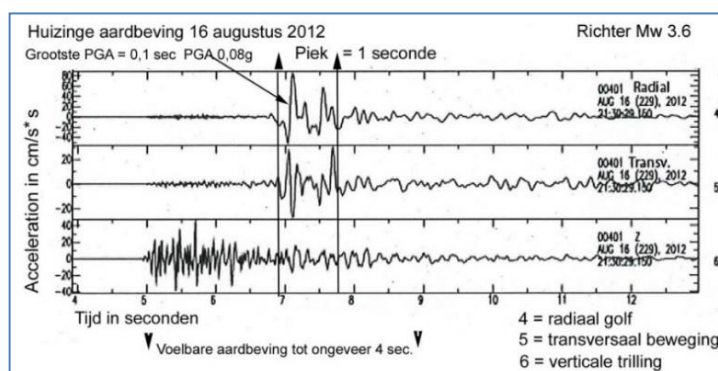
³ Het betreft hier verschillende generaties. Duurzame gebouwen kunnen met verloop van de tijd door een nieuwe generatie verschillend worden ingericht, maar de hoofdconstructie kan honderden jaren mee.

Bij deze 150% regeling gaat het niet over de ‘seismische versterking’ maar over algemene gebouwversterking.⁴ Bij een algemene gebouwversterking is het relevant om de eenvoudige seismische aspecten mee te nemen. Deze zijn samengevat in Hoofdstuk 13 “Basisregels voor Seismisch Versterken”. Bij het gebouw versterken zullen de te nemen maatregelen moeten voldoen aan de laatste bouwverordening en duurzaamheidsmaatregelen. Omdat de combinatie van versterken en verduurzamen samen een kostbare maatregel kan zijn, wordt voor oude en slechte woningbouw vaak gekozen voor sloop en nieuwbouw.

4.1. Probleem identificatie

In de provincie Groningen deden zich door de aardgasexploitatie sinds 1980 trillingen voor, (PGA $<0,04$ of Richter $<2,0$) en sinds 2006 kleine aardbevingen (PGA $<0,08$ of Richter $<3,5$). Zowel de nauwelijks voelbare trillingen, als de aardbevingen oefenen op de fundering van een gebouw zowel extra verticale als horizontale belastingen uit. Hoewel de Nederlandse baksteen woningbouw wel is ontworpen om statische verticale belastingen te weerstaan, of stormbelastingen, zijn deze niet ontworpen voor het type trilling-belastingen die door deze aardbevingen ontstaan. Oude bakstenen gebouwen ‘op staal’ scheuren ook vaak vanwege zwaar verkeer.

Figuur 4-2. Grafiek van de aardbeving in Huizinge (PGA $0,085$ of Richter $3,6$). Deze was 2012 de zwaarst geregistreerde beving in de provincie Groningen. De onderste lijn is de verticale P-druk golf, en de lijnen daarboven de twee horizontale S-schuifgolven.



Gebouwen ‘op staal’ en gebouwen op palen worden allebei beïnvloed door aardbevingen. Hoe vaster de grondslag, hoe sterker de overdacht van de trilling uit de ondergrond op de constructie. Gebouwen op palen (op een vast zandpakket) en met een doorlopende betonbalk over die palen kunnen daardoor meer/hardere trillingen registreren dan gebouwen die op een zachtere en elastische ondergrond staan. De totale **massa** van het gebouw heeft ook invloed op de overdracht van de trillingen; hoe zwaarder het gebouw is, hoe groter de inertie is en hoe groter de belastingen op het gebouw. De **brosheid** van het gebouw, of het gebrek aan elasticiteit, bepaalt verder de mate van schade die ontstaat door de trillingen en aardbevingen. Vanwege deze oorzaken zijn daarom zware, brosse bakstenen gebouwen meer kwetsbaar dan andere typen gebouwen.

Vanwege deze verschillende factoren en het lange tijdsbestek tussen de bouwdatum en het begin van de aardbevingen (na 2000) is het niet zonder meer te zeggen wat de precieze oorzaak van schades zijn, of in hoeverre de bestaande scheuren groter zijn geworden. In Nederland hebben heel veel oudere bakstenen gebouwen scheuren, zonder dat die in een erkend aardbevingsgebied staan. Vooral gebouwen die ‘op staal’ zijn gebouwd ondervinden vlak na de bouwperiode enige zetting.

Dit is vooral het geval bij gebouwen die op een uitgetande of een versneden gemetselde fundering zijn gebouwd. Dit is nog meer het geval bij gebouwen die gedeeltelijk onder-keldert zijn.

⁴ Seismische versterking is een zodanige versterking dat het gebouw ‘net-niet-instort’, maar in dat geval zal het gebouw meestal economisch *total-loss* zijn vanwege te grote beschadigingen. De 150% is arbitrair en neemt de milieukosten van de vernietiging van oude bouwmaterialen en de grote CO₂-uitstoot van het nieuwe bouwen niet of nauwelijks mee. Het bouwkundig versterken zal betrekking hebben op het grotendeels voorkomen van nieuwe scheuren in het gebouw, bij gelijkblijvende aardbevingen (onder de PGA $0,2$).

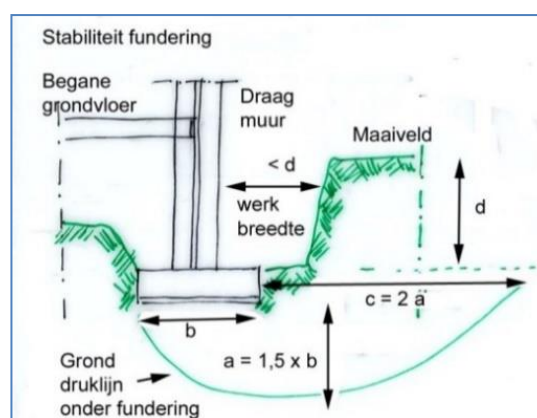
Bij gebouwen die na 1992 op een bredere gewapend betonnen strokenfundering met verstijvingsbalk zijn gebouwd, zal dat niet direct tot scheurvorming in die fundering leiden, maar wel tot lichte scheurvorming in het (stijve)⁵ metselwerk hoger in het gebouw.

Bij woningen uit de periode tussen 1950 en 1970 die op gewapend betonnen stroken-funderingen zijn gebouwd werd glad betonstaal gebruikt dat onder hoge trek een lichte vervorming toelaat. Bij een te dunne funderingsstrook kan dan onder het centrum van de plaat enige verzakking optreden (zie schetsen op de volgende pagina). Bij beton met torsiestaal wapening is er minder rek.

4.2. Evenwichtsdragvermogen

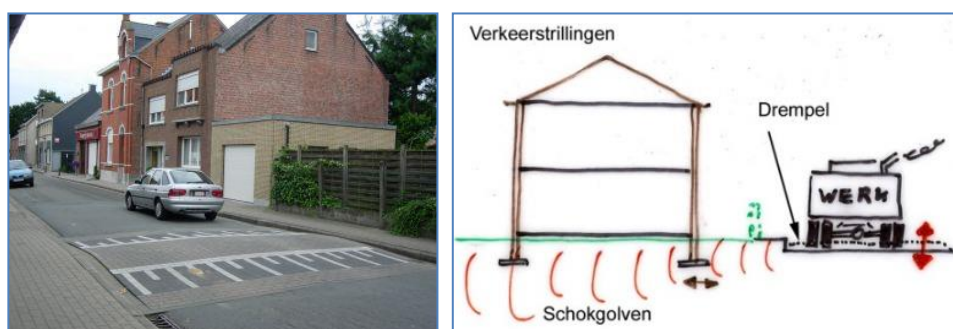
Vanwege het lage draagvermogen van de bovenste grondlagen in Nederland, worden funderingen die relatief ondiep zijn aangelegd verbreed bij de aanleg, of er worden palen toegepast die op een diepere en vastere zandlaag steunen. In beide gevallen is er sprake van een evenwicht tussen de belasting van het gebouw en de grondweerstand. Een evenwichtsdragvermogen is een matig ontwerp in een aardbevingsgebied; het heeft geen reserves.

Figuur 4-3. De grond druklijn is naar twee kanten van de funderingsstrook. Bij een elastische kleigrond of slappe veengrond zal bij een trilling zowel de gronddruk als de gebouwdruk snel variëren en kan zetting in de fundering veroorzaken, vooral wanneer er om andere redenen al ongelijke spanningen in die fundering zitten.



Bij een hoge (niet diepe) fundering 'op staal' hangt de grondweerstand ook af van het tegengewicht van de grond naast de fundering en de zijwaartse en opwaartse wrijvingsweerstand van de grond. Het tegengewicht van de grond hangt in sterke mate af van de aanlegdiepte van de fundering (schets; $c \times d$), terwijl de wrijvingsweerstand in grote mate afhangt van de grondsoort en de vochtigheidstoestand.

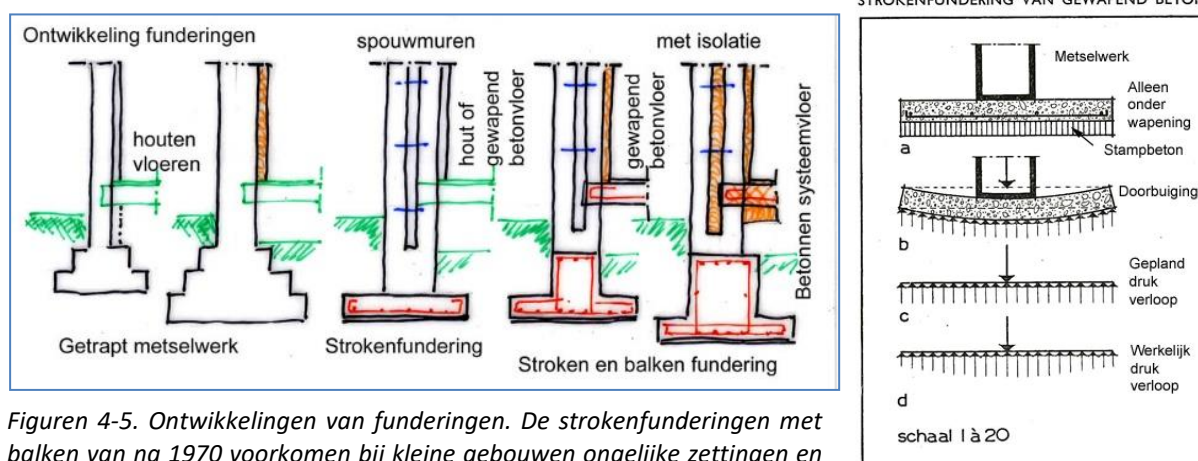
Figuren 4-4. De verticale P-trillingen verhogen de fundering belastingen.



Hierdoor kan naast een verkeersdrempel het evenwichtsdragvermogen worden overschreden en zetting optreden. Dit gebeurt vooral bij zwaar verkeer.

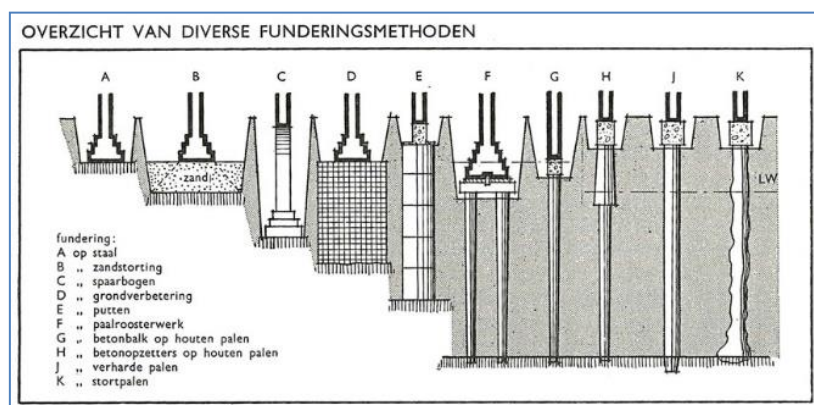
⁵ Bij oude gebouwen werd vaak kalkmortel voegwerk gebruikt dat iets absorberend is. Het veel hardere cementmortel metselwerk geeft niet mee, en zal daardoor eerder scheuren. Dit is een van de redenen waarom bij een oud gebouw niet direct scheuren te zien zijn en het nieuwe gebouw dat ernaast staat wel.

Voor oude gebouwen (pré 1900) werd deze funderingsaanleg hoofdzakelijk gebaseerd op algemene ervaring, gecombineerd met ervaring van architecten en aannemers die in dezelfde buurt gebouwd hadden. Om het grote aantal scheuren vanuit de funderingen te verminderen wordt sinds 1960 in de fundering een gewapend betonnen plaat toegepast en in latere woningbouw een plaat en stijve balkconstructie.



Figuren 4-5. Ontwikkelingen van funderingen. De strokenfunderingen met balken van na 1970 voorkomen bij kleine gebouwen ongelijke zettingen en spanningen in het bovenliggende metselwerk.

Figuur 4-6. Afbeelding uit Jellema Bouwkunde. Hoe dieper de fundering op de vaste zandgrond is aangelegd, hoe directer de aardbeving vanuit die ondergrond invloed zal hebben op het gebouw.



Op basis van gedetailleerd grondonderzoek kan men de noodzakelijke aanlegbreedte en -diepte berekenen⁶. Over het algemeen werd na 1970 de toelaatbare gronddruk door de gebouwbelasting berekend op de helft van de gemeten draagcapaciteit van de grond. De berekening van die draagkracht wordt gedaan voor zowel de droge als natte toestand, zoals bij cohesieve kleigrond, waarbij de laagste waarde bepalend is.⁷

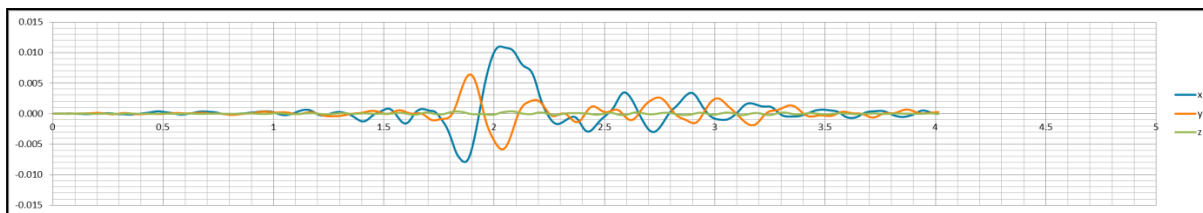
Bij een aardbevingstrilling zal de grond de fundering doen bewegen. Bij de Groningse geïnduceerde aardbeving is dit kortstondig (< 1 sec.), maar de elasticiteit van de constructie zal het gebouw doen natrillen, waardoor de terugkerende trilling ook belasting van het gebouw op de fundering levert.

Hierdoor duurt de belasting op de grond onder de fundering iets langer, maar de vervolgrilling in het gebouw is wel minder sterk dan de initiële schok. Dit fenomeen is te constateren door de plaatsing van trilling-meters in de fundering van een gebouw; deze geeft een langere trilling aan dan de aardschok in het epicentrum.⁸ Deze laatste wordt met andere trilling-meters die niet in gebouwen zitten.

⁶ In de provinciedorpen, werd vroeger dezelfde soort fundering aangelegd als dat bij de buurman gebeurde.

⁷ De rekenmethoden zijn aangegeven in de nieuwe NEN-EN-1997-1 van Eurocode 7 uit 2005 (zie NEN 6744).

⁸ Rond 2020 worden er in de provincie Groningen of in De Bilt nog steeds een 1000-tal trillingen per week waargenomen die weliswaar niet door mensen worden waargenomen maar wel invloed kunnen hebben op de gebouwde omgeving. Dat grote aantal komt door het hele land voor en is dan ook inclusief de trilling van een zware afvalcontainer die in Zwolle van een wagen valt.



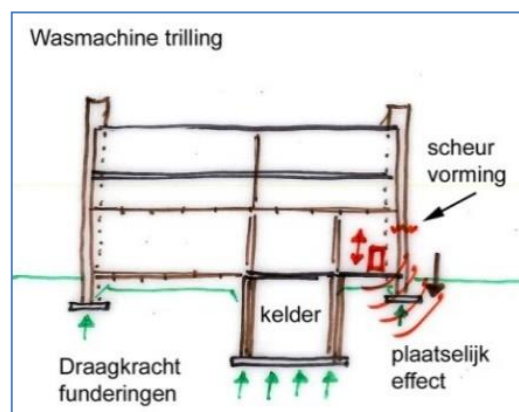
Figuur 4-7. Grafiek van een bewegingsanalyse van een trilling.

Deze grafiek is van de eerste etage van een gebouw. De middenlijn geeft de tijd in seconden aan. Na de enkele grote schok die ongeveer 0,3 seconde duurt, zijn er een kleine na-trillingen tot het 4 seconden punt.

Een andere vorm waarbij de fundering van een licht gebouwtje extra kan zetten/zakken is bijvoorbeeld door de zeer frequente trillingen van een niet-gebalanceerde centrifuge van een wasmachine. Hoewel de korte (< 0,3 sec) aardbevingstrillingen in 2014 ongeveer een keer per week voorkwamen, maar ook gemiddeld een keer per week de was wordt gedaan, duurt de centrifuge van de wasmachine verschillende minuten en is daarom ≈ 2000 x zo belastend als de sterkste aardbevingstrillingen.⁹

Figuur 8. Een niet goed gebalanceerde wasmachine.

Een ongebalanceerd centrifuge zal in een jaar tijd minstens 2000 x meer trilling-belasting op een gebouwtje geven dan een geïnduceerde aardbeving die een keer per week voorkomt en slechts 0,1 tot 0,2 seconden duurt. De schade werd vergroot door ongelijke zetting vanwege een kelder. Hoofdstuk 11 geeft verdere toelichting.



Het voorbeeld van wat de wasmachine in een hele korte periode doet, geeft aan wat over een lange periode van regelmatige kleine aardbevingstrillingen met een heel gebouw kan gebeuren. Een kleine ongelijke zetting in een fundering van 2 mm kan een zichtbare scheur in een brosse bakstenen muur van 2 mm opleveren. Meestal begint deze scheur bij een deur- of raamhoek als de zwakste plek in een muur. De scheuren zijn dan het beste zichtbaar in een gladde gepleisterde witgeverfde muur.

Om te bepalen of de scheurvorming alleen van de aardbevingen komt of ook andere oorzaken heeft, of door een aardbeving verergerd werd, is daarom **niet eenvoudig vast te stellen zonder gebouw- en funderingsonderzoek te doen** (EVS). Bij een combinatie van oorzaken is het ook erg moeilijk vast te stellen voor hoever de aardbevingen debet zijn aan de scheurvorming.¹⁰

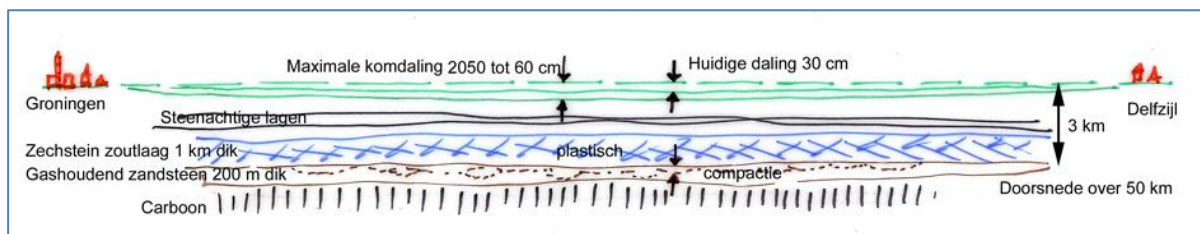
Kleine scheurvorming in draagmuren (< 3 mm) vormt geen constructief risico of een risico voor de veiligheid van de bewoners, tenzij het gaat om losse gebouwdelen die kunnen vallen zoals niet goed verbonden geveltoppen of hoge schoorstenen (Hoofdstuk 3).

4.3. Grondwaterstand wijziging en verzakking

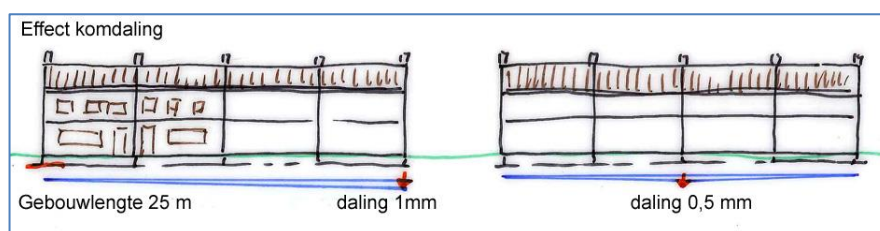
⁹ Het Hoofdstuk 11 geeft een voorbeeld van een dergelijke gebouwschade. Ondeskundige schade inspecteurs beoordeelden dit als aardbevingsschade. Het hele gebouw werd aanzienlijk versterkt. Blijwoningeigenaar.

¹⁰ Deze situatie heeft ertoe geleid dat sinds 2008 bij twijfelgevallen de schade erkend werden als B-categorie (A = aardbevingsschade, B = twijfelgeval, C = eigen gebrek) vergoed werd. De C-schade werd eerst niet vergoed, om kosten te besparen. Dat heeft weinig geholpen want eigenaren met veel C-schade eisten contra-expertise.

De verlaging/verhoging van de grondwaterstand kan een effect hebben op het draagvermogen van de fundering of verzakking van de fundering en inklinking van de ondergrond. Dit is het geval geweest in het zuiden van de provincie Groningen¹¹. In het centrale gebied van de provincie Groningen is het grondwaterpeil verlaagd om gelijke tred te houden met de komvorming of bodemdaling die tot op 2012 ongeveer 35 cm bedroeg. Dit is ongeveer 60% van de totaal geschatte maximale zetting of compactie van 60 cm. De gasexploitatie is in 2012 ongeveer 65%, waarbij het blijkt dat de zetting de gasexploitatie volgt.



Figuren 4-9. De komdaling is heel gelijkmatig. Het leidt niet tot scheuren in de funderingen.



Het rapport voor de Commissie Bodemdaling van Deltares uit 2011 met titel “Gebouwschade Loppersum” en projectnummer 1202097-000 zet in hoofdstuk 3 op heldere wijze uiteen wat het effect van de aanpassing van het grondwaterpeil en de aardbeving trillingen kan hebben op een gebouw.¹² In het rapport wordt een maximale scheefstand van gebouwen van 1mm over lengte van 25 m aangegeven.

In hoofdstuk 6 van het Deltares rapport wordt gesteld dat de effecten van gaswinning zijn: (Quote)

- *Aardbevingen. Deze resulteren in trillingen in gebouwen.*
- *Vervloeien en verdichten van de ondiepe ondergrond door trillingen. Dit kan in lokale zettingen van de ondergrond onder de gebouwen resulteren.*
- *Komdaling. Dit resulteert in een algehele gelijkmatige zetting van de ondergrond in het winningsgebied.*
- *Peilstijging en peilverlaging. Met name de relatieve peilverlaging¹³ kan in lokale zettingen van de ondergrond onder de gebouwen resulteren.* (Unquote)

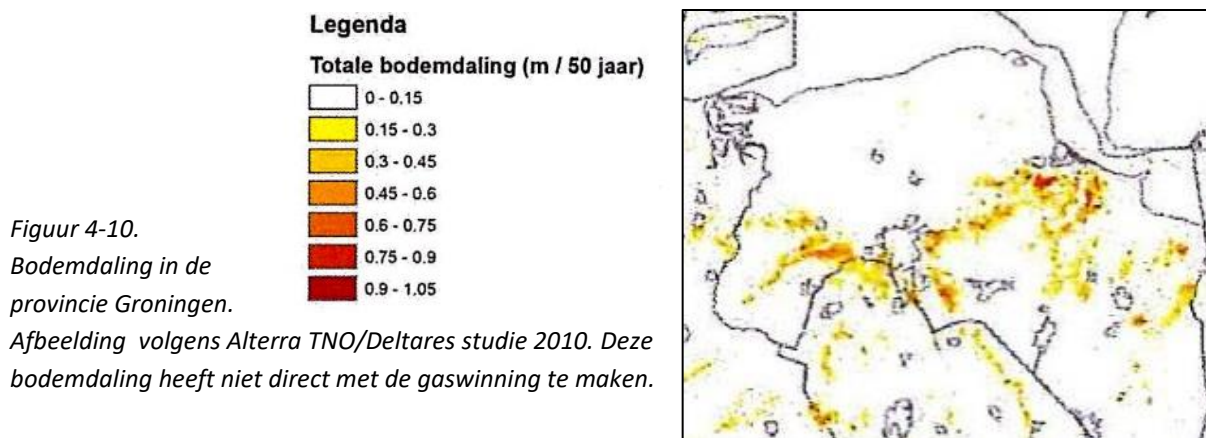
Het tweede en vierde punt kunnen allebei tot scheuren in de fundering resulteren van gebouwen die op de vaste kleigrond zijn gebouwd zonder een doorlopende gewapende betonnen funderingsstrook. Peilstijging van het grondwater (door komdaling of bodemdaling) kan verwatering van de grond onder de funderingen veroorzaken waardoor ook zetting kan optreden. Ook in dit geval zal de smalle stroken fundering sneller zakken dan de brede keldervloer. Ongelijke aanleg tussen de kelder en de rest van de fundering is een van de belangrijkste oorzaken van scheuren en zichtbaar langs de keldermuur, naar boven in de gevel, soms tot aan het dak.

¹¹ Zie RUG samenvatting met oorzaken: <http://www.scheurennietzeuren.nl/index2.php> en over grondwater: <http://www.google.co.uk/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0CCwQFjAC&url=http%3A%2F%2Fgemeente.groningen.nl%2Fnatuur%2Fdigitale-informatiefolder-over-grondwater&ei=kzHOU5y6OcaJOI3wgXA&usg=AFQjCNff7gOnrSFUfakXbL4nOib4LiEx9g>

¹² Zie voor dit rapport: http://www.commissiebodemdeling.nl/files/1202097-000-BGS-0003-r-Gebouwschade%20Loppersum_def_par_20110421.pdf

¹³ Relatieve peilverlaging gebeurt door plaatselijk de grondwaterstand te verlagen, wanneer deze eerder door bodemdaling hoger is komen te liggen ten opzichte van het maaiveld.

In een rapport van Arcadis¹⁴ wordt vermeld dat bij de herinrichting van de veenkoloniën in het zuiden van de provincie (regio's Hunze en Aa) tijdelijk grondwateraanpassingen van tussen de 32 cm tot 80 cm hebben voorgedaan, maar dat in de betrokken centrale regio van de provincie Groningen zijn geen noemenswaardige effecten van deze tijdelijke daling geconstateerd.



In aanvulling op het bovenstaande kan als resultaat van klimaatverandering tot 2050 zich in de strook van Groningen stad naar Delfzijl zich ook bodemdalingen gaan voordoen van 30 tot 50 cm (verdamping etc.). Dit betekent dat de grond daling t.g.v. klimaatverandering in bepaalde zones even groot zal zijn als de grond daling door de gaswinning. Voor de agrarische bedrijven bestaat de noodzaak om het grondwater op een bepaald peil te houden, hetgeen per agrarisch productieseizoen kan fluctueren. Aansprakelijkheid voor gebouwschade in een komdaling gebied waar verschillende oorzaken aanwijsbaar zijn is daarom moeilijk aan te tonen.

Uit het bovenstaande blijkt dat komdaling of bodemdaling vanwege compactie van de gas-houdende zandsteenlaag kan leiden tot hele geringe scheefstand en verhoging van de grondwaterstand, en tot de noodzaak van plaatselijk aanpassingen of verlaging in het grondwaterpeil. Dit kan eerst leiden tot verwatering en daarna tot opdroging en daardoor tot scheurvorming bij gebouwen die ongelijke fundering dieptes en ongelijke grondbelastingpatronen hebben.

Uit het uitgebreide Arcadis onderzoek komt de volgende conclusies naar voren:

(Quote): 2: Een **grondwaterstandsverlaging** kan ook leiden tot krimp en rijping van kleigronden. Deze verschijnselen treden op boven de grondwaterspiegel door het uitdrogen van de bodem. Bij veen kan tevens oxidatie ontstaan doordat zuurstof in de bodem kan toetreden. Door krimp, rijping en oxidatie kunnen op staal gefundeerde gebouwen grote schade oplopen.

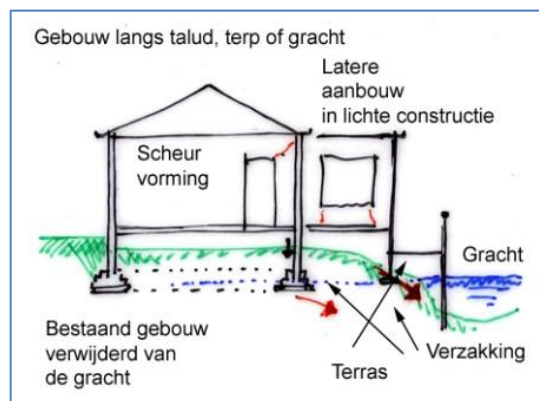
3. Als het waterpeil minder wordt verlaagd dan de opgetreden bodemdaling is er sprake van een relatieve **peilverhoging**. Door een relatieve peilstijging kan reductie van de draagkracht van een staalfundering optreden en daardoor een toename van de zettingen plaatsvinden. Alleen in zeer bijzondere gevallen zal dit tot schade leiden; het betreft dan: funderingen die vrijwel tot de uiterste draagkracht zijn belast, waarbij de grondwaterstand juist onder, op of boven het funderingsniveau staat. Hierbij moet worden bedacht dat een fundering die vrijwel tot de draagkracht is belast daardoor al relatief grote vervormingen heeft ondergaan.

¹⁴ Zie rapport Resultaten uit Alterra, TNO/Deltares studie, 2010. Bodemdaling tgv klimaatverandering. Fysieke bouwstenen voor de knelpuntenanalyse nieuwbouw en herstructurering. <http://www.nedmag.nl/sites/default/files/downloads/Samenvattend%20onderzoek%20Arcadis%20hoofdoorzaak%20gebouwschade.pdf>

Zetting-schade aan funderingen op de vaste en ongeroerde grond zal dus hoofdzakelijk voorkomen wanneer deze bij de bouw werden aangelegd op de grens van hun draagvermogen dat veelvuldig voorkomt bij gemetselde uitgetande of versneden funderingen uit de 18^e eeuw. Ook bij erg goedkope en snelle bouw van de periode vanaf 1954 tot 1966 is dit vaak het geval, omdat pas in 1965 de eerste Model-Bouwverordening (MBV) werd gepubliceerd die betere technische eisen aan de bouw stelde.

Plaatselijke daling van de grondwaterstand kan veroorzaakt worden wisselende waterstanden in een kanaal dat langs de bebouwing loopt, of waar de bebouwing in een later tijdstip in de richting van het kanaal is uitgebreid. Ook een nieuwe fundering kan dan extra zetting ondergaan.

Figuren 4-11. De aanbouw kan anders dan de woning verzakken. Dit is het geval wanneer deze aanbouw vlak langs het kanaal is gemaakt en anders is gefundeerd.



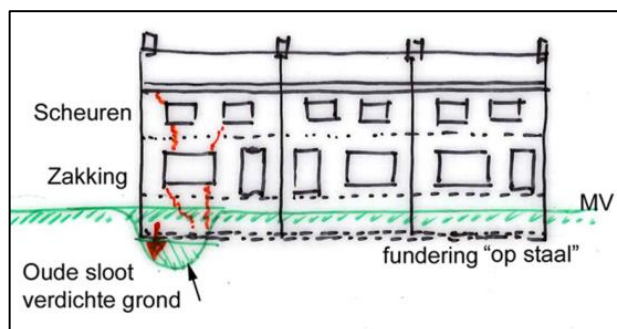
De bovenstaande schets met foto is een voorbeeld van wijzigingen in de gebouw-opzet en daardoor de belasting. De uitbreiding op een talud of langs de waterkant, waar van een andere grondrichtheid sprake is, is de oorzaak. Ofschoon deze aanbouw een lichtgewicht houten constructie is, trekt deze door zetting van de buitenfundering aan het oudere gebouw en veroorzaakt scheuren in het metselwerk van het oudere gebouw. Door aardbevingstrillingen of door het verder uitbaggeren van het kanaal kan de grond onder de uitbouw inklinken.

Figuur 4-12. Schade na uitbaggeren kanaal Almelo-De Haandrik. Ongeveer 300 woningen langs dit Twentse kanaal ondergingen verzakkingen door het uitbaggeren. De schade openbaarde zich langzaam over verschillende jaren. De schade veroorzaker is in dit geval ook verantwoordelijk voor het bouwkundig herstel. Foto Volkskrant februari 2020.



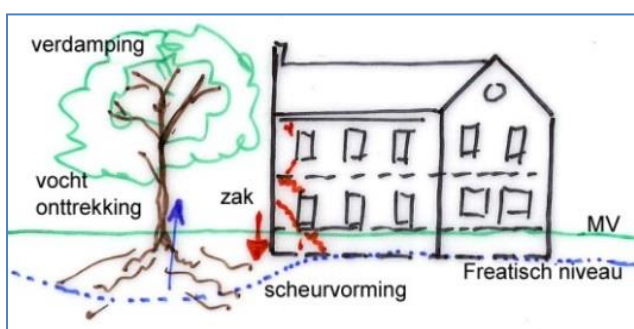
Tussen gelijke bouwdelen met een doorlopende fundering kan zetting ontstaan wanneer de grondslag niet homogeen is. Dit kan het geval zijn als er in de bouwkevel een oude, drooggelegde en ingevulde sloot ligt die niet herkend werd bij de planning of de uitvoering. De verminderde draagkracht van de grond onder het betreffende bouw gedeelte zal op de duur leiden tot plaatselijke verzakking en scheuren. Dit probleem kan echter ook door de uitvoering zijn veroorzaakt wanneer de aannemer de voorgeschreven grondverdichting niet heeft gerealiseerd.

Figuur 4-13. Plaatselijke verzakking kan ontstaan door oude sloot. Dit kan gebeuren wanneer de (opgehoogde) bouwgrond niet gelijkmatig is verdicht tot volledig gelijke draagkracht onder het hele gebouw.



Grondwaterstand kan erg plaatselijk veranderen door grote bomen die vlak bij de fundering staan. Bij oudere boerderijen die op een terp zijn gebouwd of waar rondom een sloot ligt komt het verzakken van de fundering vanwege dichtbij staande bomen die het vocht en voeding uit de bodem halen vaak voor. Dit is een regelmatig voorkomend schadegeval dat al gedurende vele jaren werd ontwikkeld.

Figuren 4-14. Verdroging en inklinking door bomen.



De boom of bomen onttrekken vocht en voeding aan de grond waardoor fundering vlak langs de bomen kunnen verzakken. De foto rechts geeft voorbeeld van een dergelijke situatie. De boom verwijderen helpt niet.



Figuren 4-15. Serie foto's van een oude boerderij op een terp met bomen. Overzicht en detailfoto's zijn van de linke gebouw hoek genomen. Door de kalkmortelvoegen is er eerst een vervorming ontstaan. Toen de vervorming te groot werd ontstonden er scheuren. In een vroeg stadium zijn de voegen dichtgesmeerd. Deze scheuren zijn groter geworden.

Bij sloten rondom boerderijen is het verzakken van funderingen een regelmatig voorkomend probleem. Daling en een lichte verdraaiing kanteling van de fundering veroorzaakt een horizontale scheurvorming over de gehele breedte van de gevel. Dit proces kan versneld worden door bomen die dicht bij het gebouw staan en vocht en voedingsstoffen uit de bodem halen (voorbeeld boven).

Figuren 4-16. Draaiing van de buitengevel door verzakking. De horizontale scheur in het midden duidt erop dat de fundering iets gedraaid is vanwege verzakking aan de slootkant.

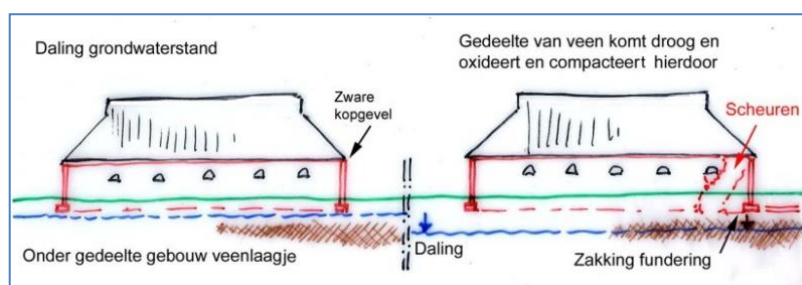


De midden lintvoeg scheur in de middelste foto boven is specifiek voor de draaiing in de fundering en beweging van het gebouw en in de richting van de sloot.

Bij gebrek aan een doorlopende plaat of balkfundering vindt dan plaatselijk verzakking of verwijding plaats. Wanneer een gebouw dergelijke gebreken heeft, is het verstandig eerst de hele fundering te verbeteren, voordat er andere kostbare verduurzamingen aan het gebouw worden uitgevoerd.

Het gronddraagvermogen kan in de provincie lokaal beïnvloed worden door kleine stukken laagveen en langdurige verlaging van het waterniveau. Hierdoor kan het laagveen uitdrogen en oxideren, waardoor krimp ontstaat. Om deze situatie te kunnen analyseren zijn **verschillende sonderingen** vlak langs de fundering van het gebouw noodzakelijk, en het opmeten van de funderingsaanleg.

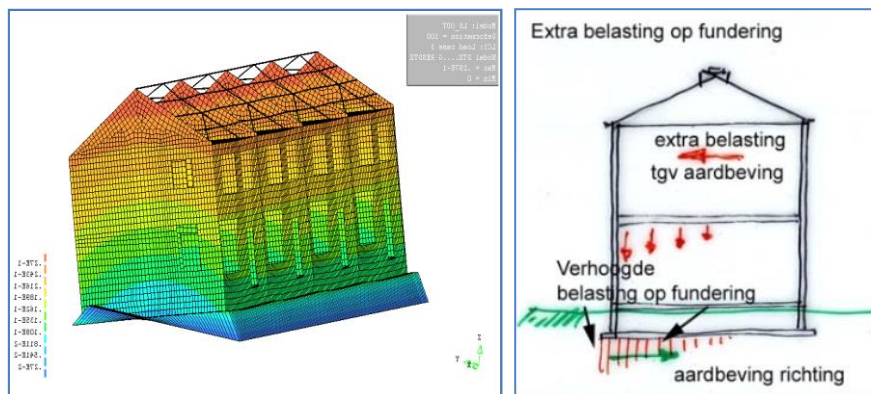
Figuur 4-17. Lange agrarische schuur op stuk veen. Hier is een gedeelte van de schuur op een andere grondslag gebouwd, wat tijdens de bouw niet zichtbaar was.



4.4. Veranderd fundering belastingpatroon door aardbeving

De horizontale schokbeweging van een aardbeving of andere trilling, die vanuit een zijwaartse richting komt, levert een extra funderingsbelastingen op die soms te vergelijken is met zware stormbelasting. De horizontale aardbevingsbelasting bij een PGAg 0,1 is ongeveer even groot als de maximale zijwaartse stormbelasting. Bij een nog hogere PGA zal door het kanteleffect een nog hogere verticale druk op de fundering komen. Hier moeten de funderingen van nieuwbouw op zijn berekend, maar bij oude gebouwen kan dat niet het geval zijn. Hoe hoger en zwaarder een gebouw is, hoe groter deze zijwaartse kracht en neerwaartse druk zal zijn.

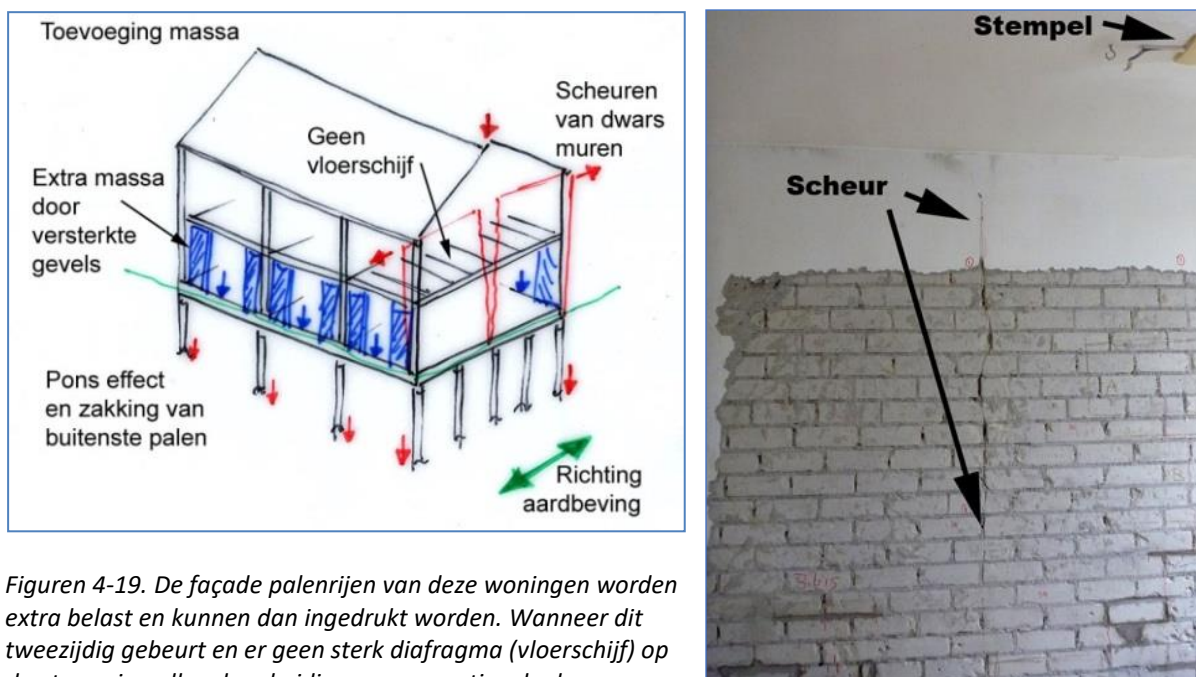
Figuren 4-18. Gekleurde computertekening en schets van belasting. Deze twee geven aan dat het gebouw een extra belasting oplevert aan de kant waar de aardbeving vandaan komt.



Bij betonnen etagevloeren in systeembouw, zijn de verticale belasting op de funderingen groter dan bij houten vloeren. Paalfunderingen kunnen bij hogere belasting verder ingedrukt worden. Wanneer de gevels van een gebouw zijn versterkt en daardoor eventueel verzwaard, zal deze versterking op een bredere fundering moeten staan.¹⁵ Dit geldt vooral voor paalfunderingen onder rijtjeswoningen. Als de draagkracht van deze gevelfunderingen niet wordt vergroot, kan het gebouw in de tussenmuren verticaal splijten wanneer de vloeren onvoldoende een sterk diafragma vormen met binding om de buitengevels bij elkaar te houden (houten balken, NeHoBo of prefab balkjes/broodjes of platen).

Bij een fundering op palen moeten er in de bovenstaande twee belasting gevallen (kanteling of verzwareng) extra palen onder de gevels worden bijgeplaatst. Bij een lichte vervorming (2 mm) van de funderingen zullen de muren boven de scheidingsmuur funderingsbalken gaan scheuren (ook 2 mm).

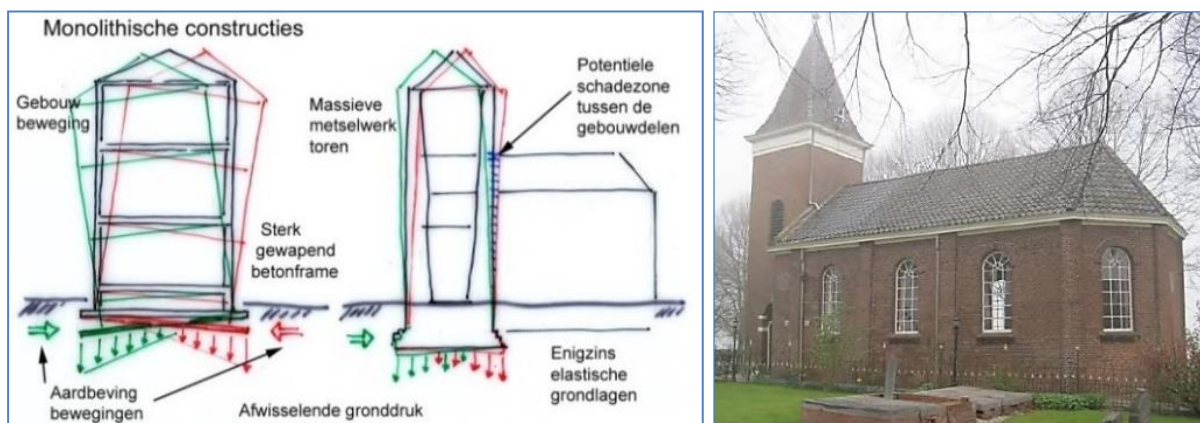
Bij oude woningwetbouw (1960-1970) staan de palen (beton of van hout met betonnen oplangers) ver uit elkaar en zijn de funderingsbalken vaak onvoldoende sterk om vervorming tegen te gaan. Zie onderstaand schadevoorbeeld van de Jarino woningen die uiteindelijk gesloopt werden.



Figuren 4-19. De façade palenrijen van deze woningen worden extra belast en kunnen dan ingedrukt worden. Wanneer dit tweezijdig gebeurt en er geen sterk diafragma (vloerschijf) op de etages is, zullen de scheidingsmuren verticaal scheuren.

¹⁵ Als men een gevel van een rijtjeswoning gaat versterken wordt bij voorkeur eerst het buitenspouwblad van het gebouw verwijderd (waardoor er eerst minder massa is), waarna er een versterkte vliesgevel en thermische isolatie wordt aangebracht. Hierdoor neemt de massa weer toe.

Bij monolithische en stijve gebouwen zal het gebouw als een geheel bewegen. Dit is bijvoorbeeld het geval bij momentsterke giet- of tunnelbouw constructies¹⁶, zware gewapend beton skeletbouw en bij massieve metselwerk constructies zoals kerktorens met hele dikke muren.



Figuren 4-20. Monolithische gebouwen zijn extra stijf waardoor de trilling-belasting direct terug naar de fundering wordt gevoerd en waardoor dit sneller tot zetting kan leiden. De hoge toren van de kerk is meer monolithisch dan het schip en heeft een andere trilling periode, waardoor het los zal scheuren van het schip.

In principe zal bij een dergelijke constructie de twee verschillende bouwvormen elastisch gedilateerd moeten worden, waarbij het dak dan niet vast aan de toren verbonden mag zijn.



Bij gebouwdelen met verschillende eigen massa, stijfte, hoogte of trillingsfrequentie, kunnen scheuren tussen deze gebouwdelen optreden. In dit geval moeten de delen gedilateerd worden of alles op *Base-isolation* gezet. Bij dunne en iets vervormbare funderingsbalken (woningwetwoningen), ongewapend metselwerk, gebrek aan doorlopende lateien boven de openingen, geen verankerde vloerdiafragma's en dergelijke, zal het metselwerk van een niet-monolithisch gebouw scheuren.

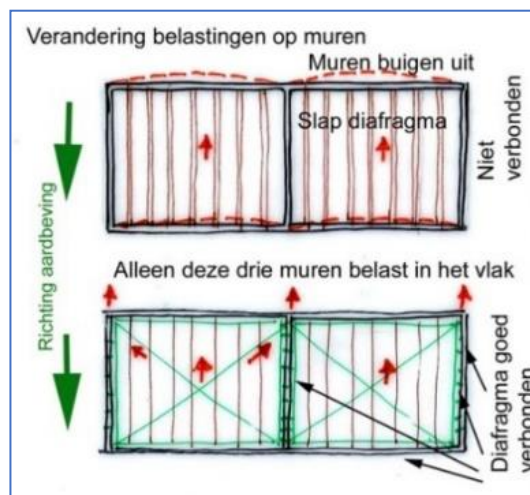
4.5. Verandering van het belastingpatroon door diafragmaversterking

In Nederlandse woningbouw, komen veel dragende binnenmuren voor. Deze zijn vaak dun (10 – 11 cm) en niet voldoende aan de houten vloeren verbonden; soms slechts om de andere balk op de kop en vaak nergens aan de parallel lopende muren.

Om deze gebouwen te verduurzamen door ze seismisch te versterken moeten de etage vloerdiafragma's sterker en stijver gemaakt worden, aan sterkere dragende binnenmuren verbonden worden én de funderingen verbreed.

¹⁶ Het gaat hier niet om het momentsterk maken van de verbinding, dat slechts voor komt bij de Nederlandse giet- of tunnelbouw of gewapend beton skeletbouw.

Figuur 4-21. Maken van een vloerdiafragma.
 De aardbevingsbelastingen bij een flexibele vloer, worden via de balken slechts op de balk-dragende muren uitgeoefend. Hierdoor buigen deze dragende muren uit in het midden (bovenste deel van schets). Deze muren zijn hiertegen niet bestand en zullen verticaal scheuren. Wanneer het diafragma stijf is en goed verankerd, zullen hoofdzakelijk de parallelle muren (aan de aardbevingsrichting) in hun vlak belast worden, waarbij deze de belastingen op de funderingen overbrengen. In de onderste schets krijgt de middelste muur in dit geval een 2x grotere belasting dan de buitenmuur, in vergelijking met de bovenste schets. De fundering moet dan daarop berekend zijn en verbreed worden.

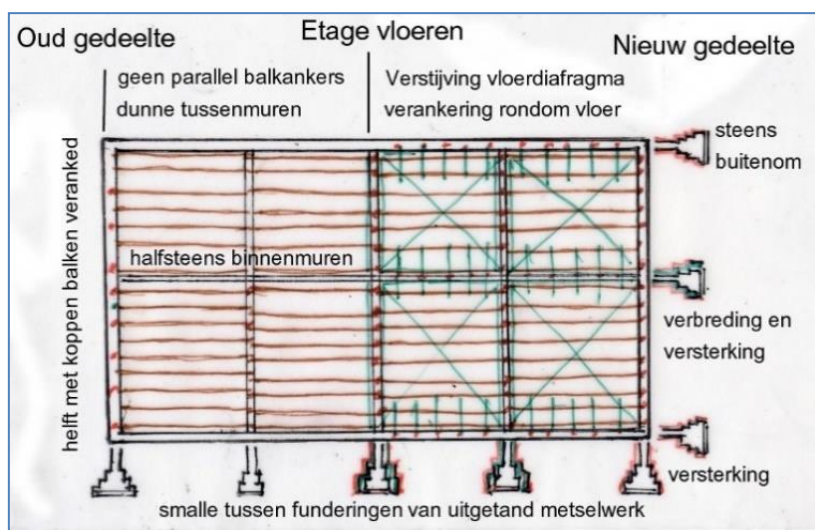


Door de vloerverstijving en verbinding van de etage vloerdiafragma's aan alle muren, verandert de aardbevingsbelasting op de onderliggende muren waar ze aan verankerd zijn en de belasting op de funderingen. De binnenmuren krijgen vanwege het stijve diafragma een hogere belasting en moeten daarom versterkt worden om die hogere aardbevingsbelasting naar de fundering over te brengen. De funderingen onder die tussenmuren moeten dan ook verbreed worden.¹⁷

Bij dunne binnenmuren (halfsteens = 11cm) dienen deze dan tweezijdig versterkt te worden met Glasvezel- of Carbontextiel, dat doorloopt naar de funderingen, én **moeten deze funderingen verbreed** worden. Alternatief kan aan de tussenmuur een houtskeletbouw verbonden worden en de fundering verbreed. Bij ongewapende funderingen zoals uitgetand metselwerk, dienen de verbrede funderingen tegelijkertijd versterkt te worden.

Het verstijven en verbinden van de etagevloer diafragma's bij oude gebouwen heeft dus direct invloed op de muren en funderingen, waardoor deze beide onderliggende bouwconstructies aangepast moeten worden. Het versterken van de fundering kan een eenvoudige of uitgebreide operatie zijn, afhankelijk van de fragiliteit van het gebouw, de grondsoort onder het gebouw, het gewenste versterking- of verduurzamingsniveau en de toegepaste techniek.

Figuur 4-22. Funderingen verbreden van tussenmuren.
 Om gebouwen (seismisch) te versterken is het verbeteren van de vloerdiafragma's en muren en funderingen belangrijk. Een verhoogde funderingsbelasting door het diafragma vereist een verbreding en versterking van die funderingen.



¹⁷ Hoofdstuk 6 geeft verschillende opties voor de versterking van muren.

Hoofdstuk 8 geeft verschillende opties voor het maken en versterken van vloerdiafragma's.

Bij oudere vooroorlogse gebouwen met houten begane grond vloeren¹⁸ kan een fundering verbreding in combinatie met een goed geïsoleerde vloer (met LTV) op vijf verschillende manieren worden gemaakt.¹⁹

- Verwijderen van houten vloer en aanleg van \perp balkjes met EPS-elementen met betontop.
- Behouden van houten vloer en alleen de fundering verbreden. Hierbij moet de kruipruimte voldoende hoog zijn en de dekvloer tijdelijk verwijderd om bij de binnenmuren te komen.
- Verwijderen van houten vloer, storten van isolerend schuimbeton, maken van een platform fundering met inkassingen en storten van een doorlopende gebouw-dragende betonvloer.
- Het aanleggen van een nieuwe gebouw-dragende fundering op perspalen.
- Een compleet *Base-isolation* systeem, hetgeen een dubbele fundering inhoudt.

De methode a) is het meest toegepast, waarbij voor renovatie vaak metalen I balkjes gebruikt worden vanwege het lage gewicht (duurder dan beton maar makkelijk hanteerbaar). Voor nieuwe funderingen worden meestal de goedkopere betonnen prefab \perp balkjes gebruikt.

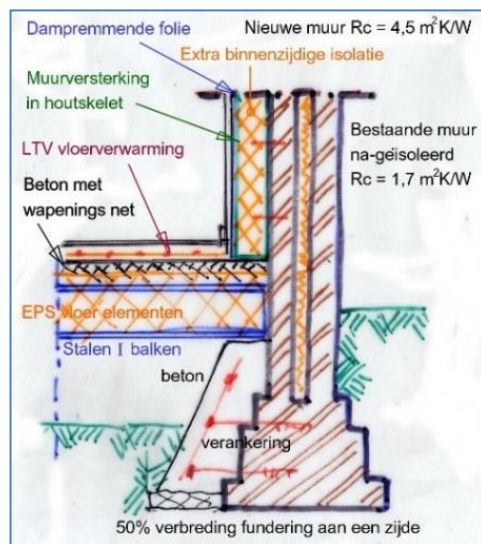


Figuren 4-23. Renovatie met verwijderde houten vloer.

Toepassing van een aangestorte plint en metalen \perp of I balkjes met EPS-isolatie elementen en beton druklaag.

Links. Combinatie van fundering verbreding, nieuwe EPS-vloer met LTV en versterking muur met houtskelet frame + isolatie.

Rechts: Betonnen \perp balkjes met EPS-vloer elementen bij renovatie en verduurzaming.



¹⁸ Met onvoldoende kruipruimte onder de vloer zal het moeilijk zijn om thermische isolatie aan te brengen. Houten vloeren kunnen houtrot hebben. Het isoleren van houten vloeren aan de bovenkant en het installeren van LTV vereist een degelijke houten vloer en aanpassing van de onderkant van de deuren (afzagen).

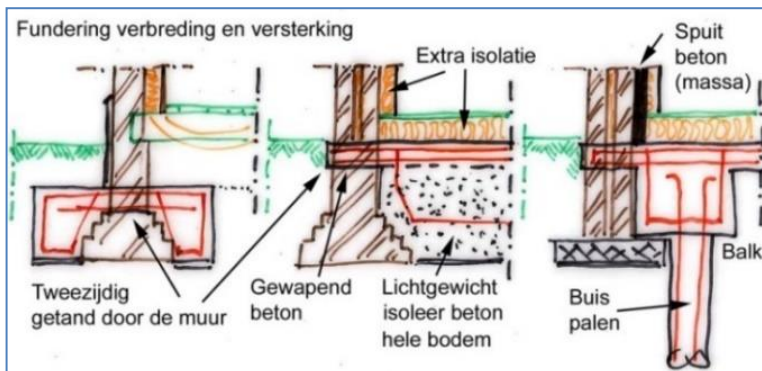
¹⁹ Voor gedetailleerde informatie zie: Voerisolatie op www.nienhuys.info

De toepassing van de andere methoden b), c), en d) zijn geschikt voor grotere verbredingen en versterkingen van de fundering, en afhankelijk van de gebouwomstandigheden en grondsoort. Geen van de methoden zal de aardbevingsbelasting op de fundering doen verminderen.

Figuur 4-24. Verbreding door toevoeging van een gewapende betonstrook.

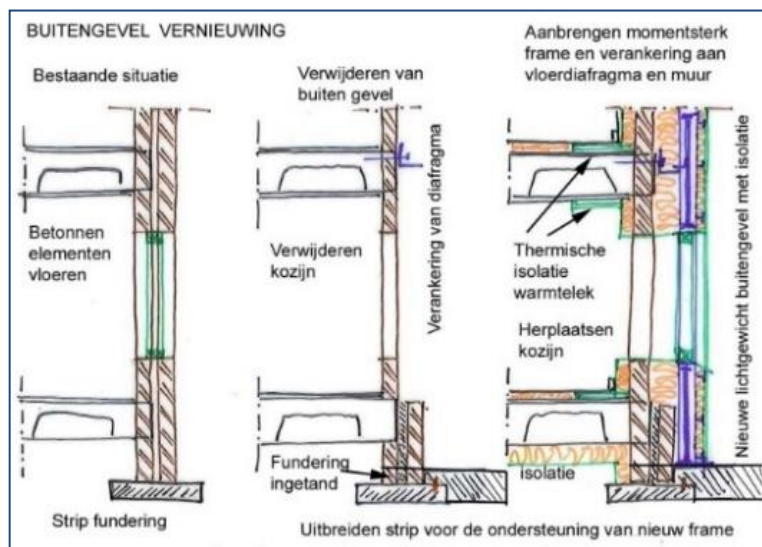
Deze wordt aan een of twee zijden van de bestaande fundering gestort. Midden. Platformfundering onder het gehele gebouw toegevoegd op een lichtbeton laag.

Rechts. Nieuwe gewapend betonvloer onder het hele gebouw met nieuwe buis/pers-palen onder de nieuwe betonbalken.



Bij het buitenzijdig versterken zou eerst het buitenspouwblad van na-oorlogse woningen verwijderd moeten worden. Dit verlaagt de massa en er wordt geen binnenruimte verloren door de isolatie. Bij vooroorlogse woningen met steens buitenmuren (22 cm) kan het buitenspouwblad niet verwijderd worden en zijn óf binnenzijdige isolatie óf buitenzijdige isolatie de opties.

Figuur 4-25. Buitenspouwblad verwijderen en dan versterken. Bij het buitenzijdig versterken van muren kan in veel gevallen het buitenspouwblad verwijderd worden en een nieuwe, sterke en goed geïsoleerde gevel teruggeplaatst, inclusief hoogwaardig geïsoleerde kozijnen of puien met triple glas. Hierdoor blijft de massa van de constructie gelijk en hoeft er minder aan de fundering veranderd te worden.



Bij kleine (rijtjes)woningen zal binnenzijdig muren versterken en isoleren relatief veel ruimte opeisen. Een trap of toilet kan niet smaller gemaakt worden, terwijl ook kleine slaapkamers te klein kunnen worden voor een 2 m bed. Voor monumenten waar niets aan de buitenkant gewijzigd mag worden is binnenzijdig isoleren en versterken vaak de enige oplossing. Dunne isolatieopties met hoogwaardig isolatiemateriaal zijn echter mogelijk, maar kosten meestal meer dan de dikkere en goedkopere isolatiematerialen²⁰. Bio-based isolatiematerialen vragen juist meer dikte. Bij fragiele monumenten zal een kostenberekening moeten uitwijzen of een dubbele fundering met *Base-isolation* een goedkopere oplossing is dan het hele gebouw versterken. Dit hangt af van het gekozen systeem. Naderhand zal het monument geïsoleerd moeten worden waarbij ook binnenruimte verloren gaat.

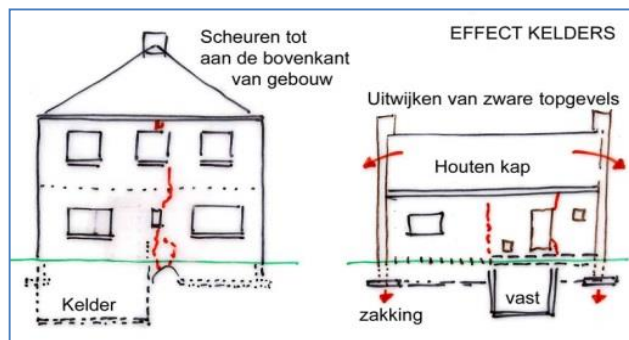
²⁰ Meer informatie over triple glas en DUNNE binnenzijdige isolatie zie 1^{ste} pag. website www.nienhuys.info

4.6. Kelders en gemetselde uitgetande funderingen

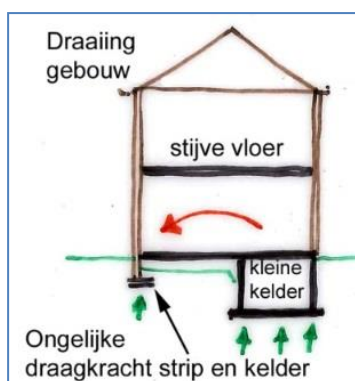
Oude woningen in de provincie Groningen zijn vaak 'op staal' gebouwd en hebben uitgetande metselwerk funderingen. Deze zijn per definitie het zwakste soort constructies. Deze funderingen dienen verduurzaamd te worden door ze te versterken. De oude 'op staal' gefundeerde gebouwen hebben onder de zwaarst belaste buitenmuren al bredere funderingen dan onder de lichter belaste binnenmuren, zodat de statische druk van het gebouw op de ondergrond gelijkmatig onder de hele fundering verdeeld is. Toch zullen deze gebouwen in de periode vlak na de nieuwbouw meestal enige zetting ondervinden. Dit is altijd het geval bij woningen die onder een gedeelte van het gebouw een kelder hebben. De dieper aangelegde kelder heeft niet alleen een bredere fundering, maar de grondslag is ook vaster.

Figuur 4-26. Woningen 'op staal' met een kleine kelder.

Bij woningen met een kleine kelder onder een gedeelte van de woning zitten boven die kelder bijna altijd scheuren die langs de zijkanten van de kelder in de gevels zichtbaar zijn. Vaak lopen die door tot aan het dak.



Scheuren vanwege dergelijke zettingen hebben geen consequentie voor de sterkte van het gebouw. Verdere verbreding van de scheuren kan voorkomen worden door de toepassing van lintvoeg wapening over de hele hoogte en over voldoende breedte.



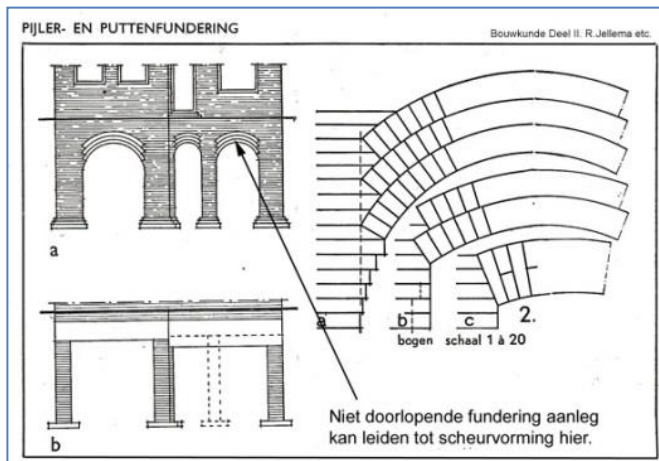
Figuren 4-27 Kelder scheuren Boven. Bij een stijve vloer in combinatie met een kleine dieperliggende kelder, zal het niet-onder-kelderde gedeelte van de fundering verbreed moeten worden vóórdat seismische versterking of verduurzaming van dat gebouw kan worden gerealiseerd.



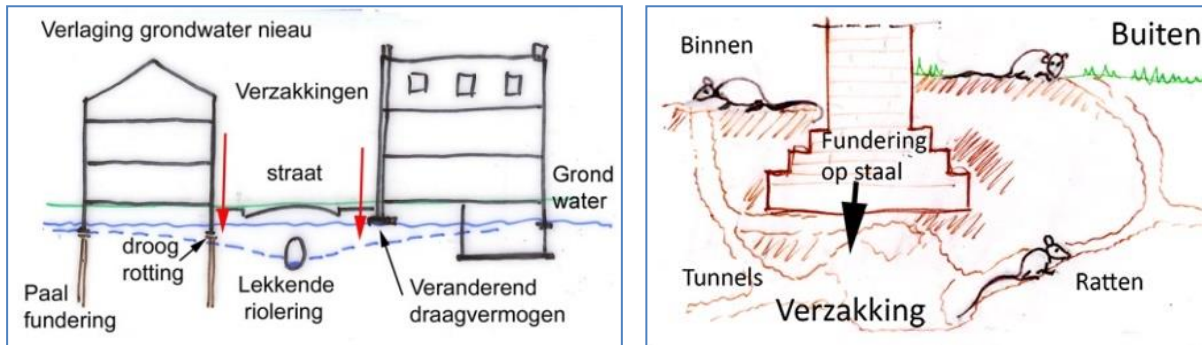
Rechts. Dit grote in kalkmortel gemetselde steens gebouw (> 100 jaar oud) met houten vloeren en plafond, heeft kelderramen in het trasraam (donkere kleur, hardere steen). Links is duidelijk de vervorming en zetting van de zijkant te zien, ten opzichte van het kelder gedeelte rechts. De oude scheuren zijn met een lichtere mortel ingevuld. Ook zijn er scheuren te zien boven het linker raam en middelste raam. Bij een aardbeving in het vlak van de gevel kan de linker gevel verder gaan wijken als er geen zolderdiafragma aanwezig is. Het gebouw valt dan uit elkaar.

Door boogconstructies toe te passen en de aanlegdiepte overal gelijk te houden tussen de kelder en de overige muren kan zettingsverschil vermeden worden. Echter, bij een volledige en overal dragende keldervloer is de gebouwdruk onder de keldervloer toch veel lager dan onder de muurfunderingen. Speciaal in vochtige kleigrond zal dat op de duur zetting opleveren, en dus scheuren. **Zonder doorgaande gewapend betonnen funderingsstrook en balk** blijft het mogelijk dat zettingen ontstaan, die dan weer leiden tot scheuren op maaiveld niveau.

Figuur 4-28. Fundering tekening uit Jellema Bouwkunde. Het is noodzakelijk dat de gronddruk onder elke kolom gelijk is en dat de toogconstructies geen zijwaartse krachten opleveren die buiten de fundering basis vallen. De buitenste fundering penanten zijn daarom extra breed.



Veel funderingen in de provincie Groningen zijn ontworpen of uitgevoerd op $\approx 50\%$ van het grond draagvermogen²¹. Door oorzaken zoals vocht en verkeerstrillingen kunnen deze funderingen verder gaan zetten, waardoor scheuren in de muren kunnen ontstaan. Ook door oorzaken zoals slechte regenwater drainage, verandering van het grondwaterpeil en begroeiing kunnen zettingen en scheuren ontstaan. Door aardbevingen kunnen deze zettingen en scheuren groter worden.



Figuren 4-29. Een kapotte hoofdriolering of ondergraving.

Links. Een lekkende hoofdriolering kan plaatselijk het grondwater doen dalen en een houten funderingen doen aangetasten. Bij verdroging van kleigrond kan enige zetting ontstaan. Rechts. Ondergraving van muizen en ratten kan de grond doen inklinken.

Het zijn vooral deze **oude funderingen die enerzijds extra verbreding nodig hebben**, en waarbij anderzijds **de hele funderingsstrook over de hoogte van ongeveer 1 m versterkt moet worden**, om het verder zetten en scheuren tegen te gaan²².

²¹ In de dorpen werden belendende nieuw te maken woningen van dezelfde hoogte en soort gebouwd op ervaring en de funderingen werden aangelegd overeenkomstig met wat men in dat dorp gewend was.

²² De hoofdstukken over scheuren in muren en lateien geven meer informatie over dit thema.

Figuren 4-30. Woningen van vóór 1970 hebben vaak gresbuizen.

De gres rioleringen lopen langs de fundering en voeren het regenwater en het rioolwater af naar het straatriool. Bij veroudering gaan de verbindingen tussen de korte stijve pijpen lekken. Het regenwater treedt uit de buizen en kan het draagvermogen van de fundering aantasten.



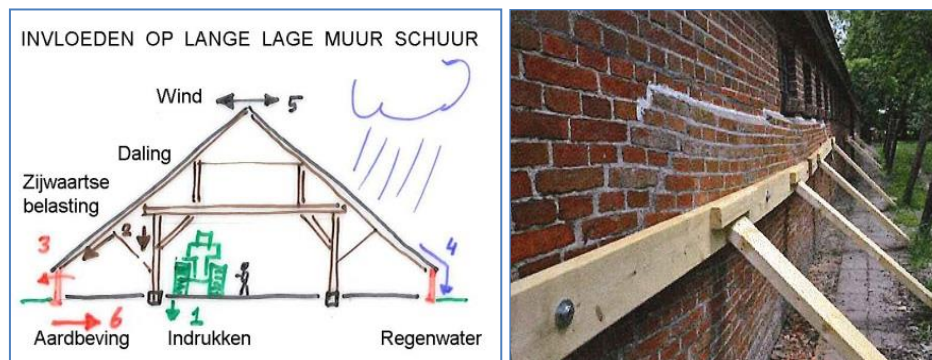
Een probleem, dat veelvuldig voorkomt bij grote schuren is de verzakking en kanteling van de lange buitenmuren van deze schuren die het gevolg zijn van de verzakking van de poten van de gebinten. Deze staanders zijn vaak op kleine losse funderingsplaten gezet.²³

Figuren 4-31.

Verzakking van staanders in grote schuur.

De staanders hebben een kleine fundering. Door zwaar verkeer (1) en windbelasting (5) kunnen ze zakken. De dak sporen drukken de lange zijmuren (3) naar buiten.

Regenwater (4) kan zonder goten de smalle funderingen.



De flexibele houten constructie van de grote gebinten schuur, in combinatie met een grote verkeersbelasting (1) en windbelasting (5) drukt de buitenmuren opzij. Verweking van de grond onder de fundering door niet afgevoerd regenwater (4) kan de meestal zeer kleine en ondiepe funderingen van deze lange zijmuren ondermijnen. Gebrek aan goten en gebrek aan onderhoud zijn hier dan de basisoorzaken.²⁴

Deze lage zijmuren van de grote schuren zijn nooit ontworpen als draagconstructies voor het dak, maar slechts als windafsluiting. In goede economische tijden werden deze zijmuren door de eigenaar periodiek (50-100 jaar) opnieuw opgebouwd. Omdat deze oude stallen **niet meer voor vee worden gebruikt, raken ze in verval**; bovendien is de provincie Groningen al jaren een economische krimpregio waar investeringen in deze oude gebouwen niet meer werd gedaan.²⁵

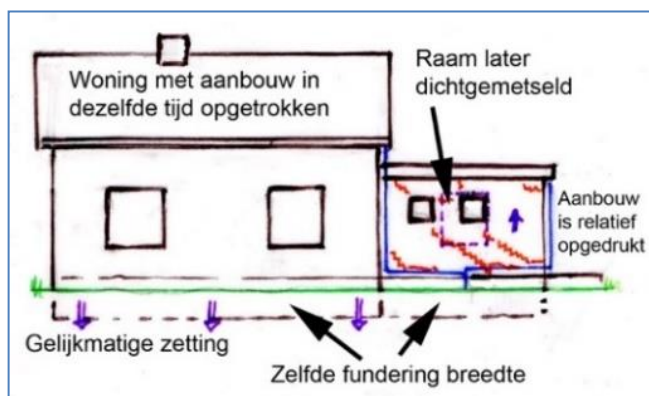
Er is sprake van een ontwerpfout²⁶ of uitvoeringsfout wanneer zowel het hoofdgebouw als de lichte aanbouw tegelijk zijn gebouwd (zelfde baksteensoort), en op dezelfde manier gefundeerd. Het zwaardere hoofdgebouw zal daardoor een paar mm méér zakken dan het lagere gedeelte.

²³ Zie ook Hoofdstuk 10 De Gebintenschuur.

²⁴ Gebrek aan goten kan ook veroorzaken dat bij oude daken asbest in de grond naast de fundering komt.

²⁵ Wanneer de agrarisch bestemming vervalt, kunnen ze voor andere doeleinden gebruikt worden en kan het de moeite zijn om ze constructief op te knappen en in gebruik te nemen.

²⁶ Meestal worden kleine aanbouwen niet ontworpen, maar door kleine aannemers uitgevoerd.



Figuren 4-32. Hoofdgebouw en latere aanbouw.

Het gedeelte van het woonhuis links (twee etages) is iets meer gezet dan de lage/lichte begane grond uitbouw rechts.

Boven. Een groot hoekraam van de destijds beschadigde uitbouw is in het verleden dichtgemetseld en de openstaande diagonale scheuren ingevuld.

Rechts. Het invullen van nieuwe scheuren die misschien na een aardshok zijn ontstaan geeft geen garantie dat er niet opnieuw scheuren zullen ontstaan.²⁷



Sinds het vaststellen van de eerste Woningwet in 1901 is het wegverkeer steeds intensiever en zwaarder geworden, bovendien zijn er sinds 1980-1990 in veel woonwijken verkeers- of snelheidsdrempels aangelegd. Zware voertuigen die snel over een verkeersdrempel of andere ongelijkheid rijden veroorzaken trillingen die zich als golven door slappe (klei)grond verplaatsen. Deze oppervlakte golven of Rayleigh golven bewegen de funderingen en deze kunnen daardoor op dezelfde manier scheuren veroorzaken als aardbevingstrillingen.²⁸ Vooral bouwwerken met smalle funderingen verzakken makkelijk door deze verkeerstrillingen.

Wanneer zwaar verkeer boven de toegestane snelheid over een verkeersdrempel rijdt, dan zullen gebouwen die binnen 50 m van die drempel staan een sterke beving ondervinden. Het is echter moeilijk om de mate van schade aan dat verkeer toe te schrijven, of chauffeurs te vervolgen. Wanneer de scheur groter wordt door geïnduceerde bevingen kan er wel een schadeclaim ingediend worden, echter de oorzaak ligt ook in het zware verkeer en de drempel. Door verkeerstrillingen kunnen spanningen in de muur zijn ontstaan die bij een aardbevingsschok dan in een barst resulteren.

Bij een beoordeling van een gebouwschade dient de schade-inspecteur met deze verschillende invloeden rekening te houden. Het bestuderen van de wegen en het soort verkeer uit de onmiddellijke omgeving is daarom belangrijk.

²⁷ Bij dit soort van deze en eerdere situaties kan veel discussie ontstaan over de oorzaak van de laatste schade en wie voor de reparatie kosten moet opdraaien. Door het gebrek aan een financieringsregeling kunnen deze kwesties lang onopgelost blijven en uiteindelijk heel veel geld kosten aan arbitrage.

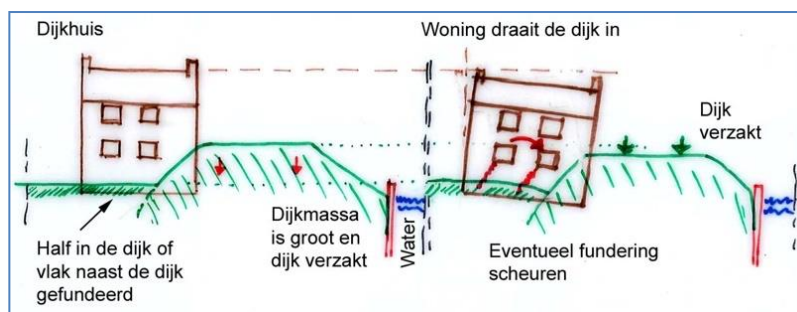
²⁸ Zie: <http://www.verkeerskunde.nl/internetartikelen/internetartikelen/verkeersdrempel-als-veroorzaker-van.37256.lynkx>



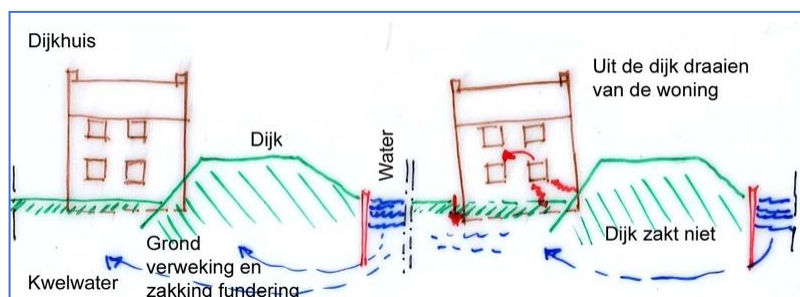
Figuren 4-33. In de aanvoerweg ligt hier een verkeersdrempel. Links. De rechterhoek van de schuur is verzakt vanwege de trillingen van zware vrachtwagens (van het eigen bedrijf?) die regelmatig vlak langs deze hoek rijden. Rechts. Aan de scheur is te zien dat deze vroeger al een keer is ingevuld. De verkeersdrempel heeft ook invloed op de andere verder weg staande boerderijgebouwen links.

Dijken hebben meestal een trapeziumvormige doorsnede, een breed fundament en een grote massa. De brede basis zorgt ervoor dat de grote, hoge grondmassa niet wegzakt in de zachtere ondergrond. Dat gebeurt meestal toch en wel met een tempo van tot wel 1 cm per jaar. Door trillingen van aardbevingen, de voelbare en de niet voelbare, kunnen de dijken en damwanden verder inzakken.²⁹

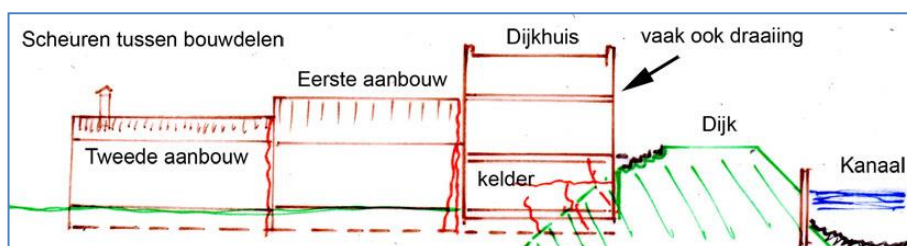
Figuur 4-34. Dijkwoningen die gedeeltelijk boven op het dijklichaam staan. Deze werden zowel in de dijk als gedeeltelijk ernaast gebouwd en zullen daarom **altijd** verschillende zettingen aan de voor- en achterkant van het gebouw ondervinden.



Figuur 4-35. Kwelwater en verweking van de grond achter de dijk. Hierdoor kan het achterste gedeelte van de fundering verzakken, waardoor de woning van de dijk af draait.



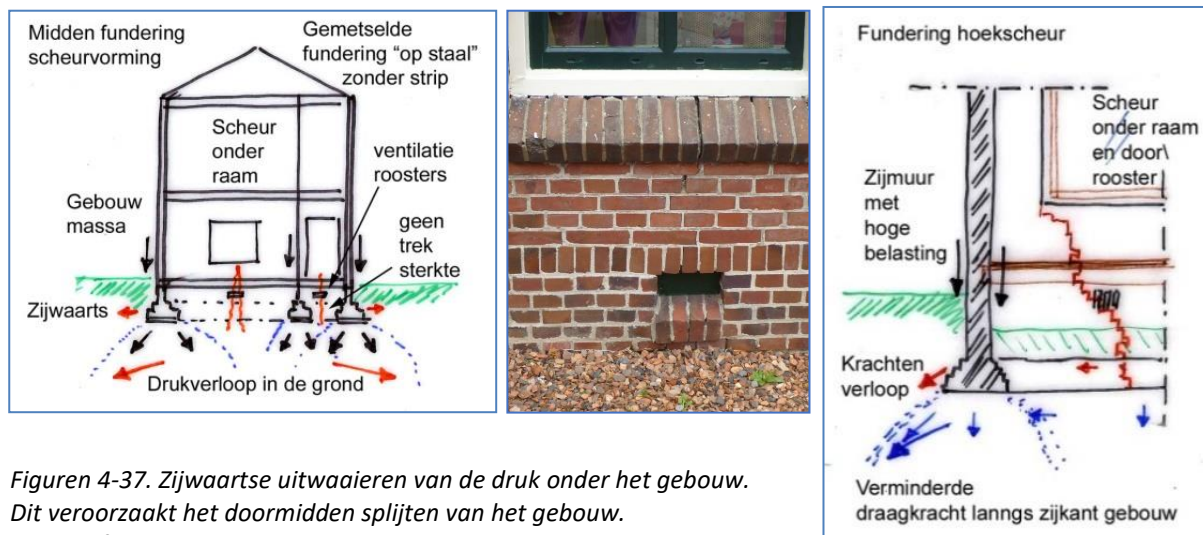
Figuur 4-36. Aanbouwen achter een dijkhuis. Bij latere aanbouwen kunnen makkelijk scheuren tussen de bouwdelen ontstaan wanneer ze niet goed gedilateerd zijn.



²⁹ Zie: <https://www.binnenlandsbestuur.nl/ruimte-en-milieu/nieuws/dijken-bij-groningen-trillen-door-aardbevingen.9060983.lynx>

4.7. Zijdelings wegdrukken van funderingen op staal

De cohesieve kleigronden³⁰ die onder constante funderingsdruk staan kunnen of zullen geleidelijk iets vervormen. De druklijnen onder de fundering waaieren naar weerszijden uit, maar de grondruk kan slechts naar buiten het gebouw verminderen, waardoor er een verbredende kracht onder het gebouw ontstaat. Dit is de oorzaak van kleine scheurvorming vanuit de fundering als er geen gewapend betonnen stroken fundering is toegepast met wapening in de lengte (dit is fase 1).



Figuren 4-37. Zijwaartse uitwaaiëren van de druk onder het gebouw. Dit veroorzaakt het doormidden splijten van het gebouw.

Midden foto. Het eerst zichtbare is de scheur in de rollaag onder het raam en door de ventilatieopening.

Rechtsboven. Aan de zijkant van de gevel zal de scheurvorming aansluiten op de raamopeningen.

Dit proces van verwijding en de scheurvorming kan zich naar boven toe uitbreiden, wat meestal boven deur- en raamopeningen gebeurt.

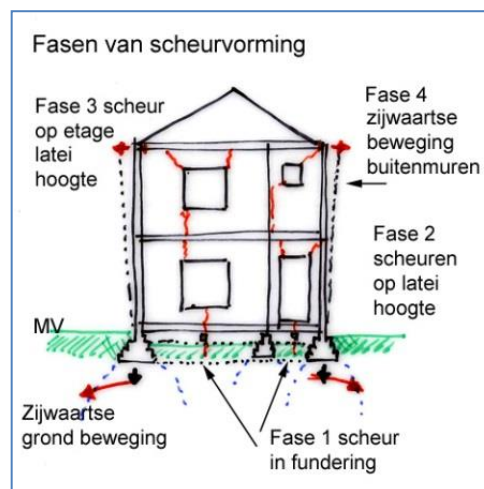
Een gebouw met steens-muren dat dit scheurpatroon heeft zal niet direct instorten, maar voor het technisch verduurzamen van dat gebouw zal de gehele fundering verbeterd (versterkt en/of verbreed) moeten worden.

In een fase 2 zullen de scheuren van de bovenkant van de ramen of deuren naar de zijkanten van de gevel lopen. Dit is vooral het geval wanneer er geen trek-vaste lateiconstructie bestaat en de latei een korte oplegging heeft. Dit is het geval bij bijna alle woningen, ook moderne. Zie ook paragraaf 4.9.

Figuur 4-38. Bij fase 2 gaan de scheuren naar boven in het gebouw.

Bij een lichte aardbeving zullen de scheuren ook naar boven doortrekken. Wanneer de scheuren eenmaal zijn gevormd kunnen ze niet meer dicht gedrukt worden omdat er gruis van de breuk in de scheur zal vallen.

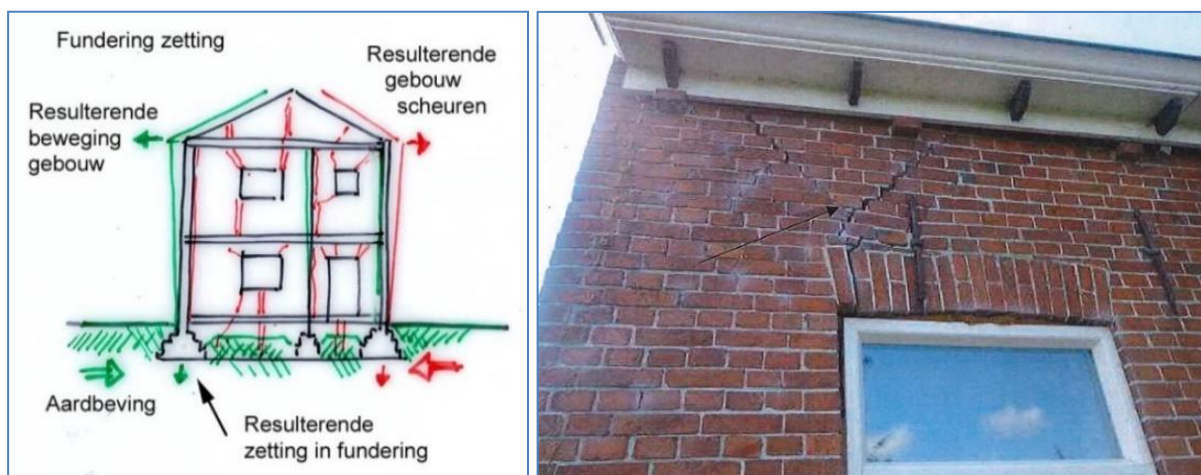
Bij fasen 3 en 4 is er een verdere verwijding te zien en steeds hoger in het gebouw.



³⁰ Zie: www.vliz.be/imisdocs/publications/264834.pdf door P. GEUZENS, grondmechanica.

Bij fase 3 zal ook de bovenliggende etage gaan scheuren vanuit de raamhoeken wanneer de bovenliggende vloer als **vloerdiafragma het gebouw niet bij elkaar houdt**.

In fase 4 kunnen de buitenmuren gaan verwijden, vanwege de zakking van de buitenmuren ten opzichte van de binnenmuren. Vooral bij lage woningen zonder trek-vaste muurplaat of diafragma op plafond niveau wordt deze verwijding waargenomen. Bij gebouwen met twee of meer etages dient het vloerdiafragma van de etagevloeren met goede verbindingen tussen de vloeren en de muren deze verwijdingskrachten op te nemen.



Figuren 4-39. Toename van scheuren door aardbeving.

Links. Door het kantelen van het gebouw tijdens een beving zal de funderingsdruk afwisselend toenemen en afnemen bij het toenemen kan de scheur verder ontwikkelen.

Rechts. In oude gebouwen zitten geen lateien; de togen krijgen scheuren op de hoeken en gaan dan verzakken. De toog produceert een zijwaartse druk die niet door de bovenliggende massa wordt weerstaan. In nieuwere gebouwen zijn de lateien te kort opgelegd om afschuiving te weerstaan, waardoor de muur boven de einden van de lateien scheurt.³¹

In de bovenstaande situaties zijn het de bouwnormen of de gangbare standaard van bouwen uit het verleden die tot dit type fundering hebben geleid en tot scheurvorming. Door zetting en verschillende externe oorzaken zoals verkeersdrempels of aardbevingen zullen deze scheuren groter worden.

Bij voortdurende bevingen zullen deze gebouwen seismisch versterkt moeten worden. Dat is dan niet alleen door het inbrengen van lintvoegwapening in de muren, maar ook in het verbeteren van de fundering, zodat deze niet meer verzakt. Dat kan een verbreding zijn, versterking, opdrukken en perspalen naar een vaster zandpakket. Bij perspalen is ook versterking van de fundering nodig.

4.8. Verduurzamingsopties voor funderingen

Bij scheuren in de buiten- en binnenmuren vanwege aardbevingen hebben een variëteit van bouwkundige omstandigheden die de vergroting van bestaande scheuren of de ontwikkeling van nieuwe scheuren faciliteren. Deze omstandigheden moeten beoordeeld worden en weggenomen om een gebouw te verduurzamen.

In de voorgaande tekst zijn de volgende punten toegelicht.

- Gebrek aan doorlopende en verbindende langs-wapening in alle funderingen.
- Verschillende aanlegdieptes en breedtes van sectoren in de fundering (kelders).
- Verschillende draagkracht van de ondergrond door invloed van vocht.

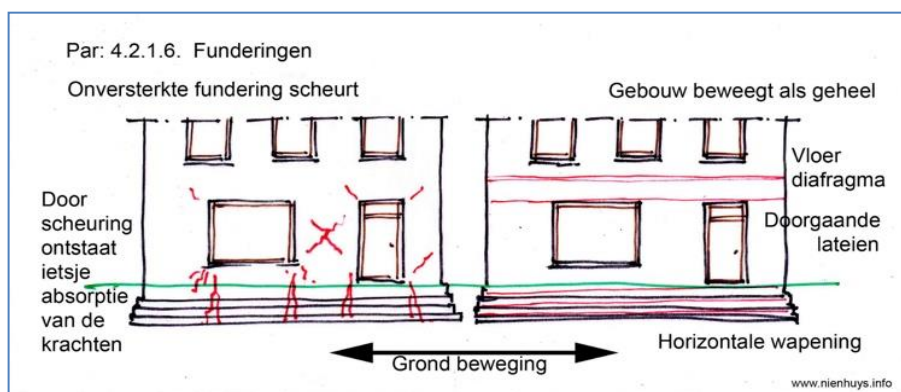
³¹ Zie Hoofdstuk 7 dat geheel gaat over de lateien en de aanverwante scheurproblemen.

- Verzakking of verweking van de grond onder het gebouw naast dijklichamen.
- Verschillende perioden waarin aansluitende funderingen zijn aangelegd (aanbouwen).
- Onvoldoende aanlegbreedte van de funderingen en daardoor te weinig draagkracht.
- Ongelijkmatige belasting op gelijksoortige funderingen, inclusief gewijzigd belastingpatroon.
- Gebrek aan scheidingen tussen gebouwdelen met hun funderingen.
- Zijwaarts wegdrukken van de grond naast het gebouw.

Het verduurzamen van oude gebouwen bij slechte funderingen 'op staal', of bij oude gebouwen (van vóór 1950) met beschadigde funderingen, houdt ook het seismisch versterken van deze funderingen in. Andere gebouwen die 'op staal' zijn gebouwd en geen gewapend betonplaat met doorlopende balk hebben, vereisen daarom twee belangrijke maatregelen.

1. Het verlagen (breder maken) en nivelleren van de gronddruk onder de funderingen inclusief kelders (of palen) waardoor er geen zetting meer kan optreden, ook niet onder de binnenmuren. Hierbij moet de eventuele wijziging van de bevestigingsbelasting van deze binnenmuren worden meegerekend, wanneer de vloerdiafragma's zijn verbeterd. Dit houdt meestal het verbreden van die binnenmuur funderingen in, of het toevoegen van palen.
2. Het aanbrengen van trekwapening in de lengterichting van de funderingen en over voldoende hoogte (in verschillende lintvoegen) zodat de funderingen plaatselijk niet zullen doorbuigen. Wanneer er *Base-isolation* wordt toegepast zullen beide op elkaar geplaatste funderingen aan dezelfde voorwaarden moeten voldoen.

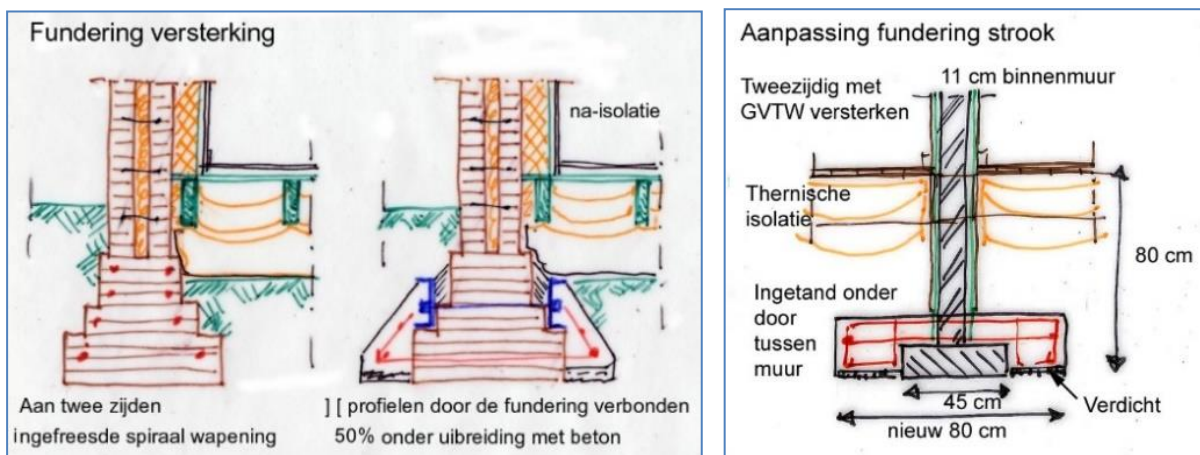
Figuur 4-40. Op etage hoogte moet er een ringwapening komen. Niet alleen de fundering, maar ook op de etage ter hoogte van de vloerdiafragma's zal het gebouw rondom versterkt moeten worden.



Het wapenen en versterken/verbreden van de fundering rondom het gehele gebouw. Door:

1. Aan beide kanten van de funderingsmuren en binnenmuren inbrengen van verschillende staven spiraalwapening in de lintvoegen; tenminste 1 doorlopende staaf per m¹ gebouwhoogte. Dit houdt echter nog geen verbreding van de fundering in.
2. Het aan weerszijden aanbrengen van hoge stalen U-profiel randbalken en deze door de muur met elkaar verbinden; de stijfheid van de balken is hier van belang.³² De balken kunnen voor de duurzaamheid ingepakt worden met beton. Dit houdt echter nog geen verbreding van de fundering in, maar dat kan wel van tevoren onder deze balken.
3. Door het aan één of twee zijden aanstorten van een gewapend betonrand. Deze moet intens aan de gemetselde fundering verbonden worden. Bij oud metselwerk is twee balken aan weerszijde aanbevolen; die kunnen goed met elkaar verbinden worden.

³² Bij het optillen van gebouwen voor het inbrengen van *Base-isolation* worden deze balken ook gebruikt.



Figuren 4-41. Opties voor verbreden van de funderingen.

Links. Alleen versterking wanneer de fundering geen scheuren heeft. Verbreding en versterking met ingestorte stalen U-profiel balken.

Rechtsboven. Verbreding met glasvezel versterking van binnenmuren.

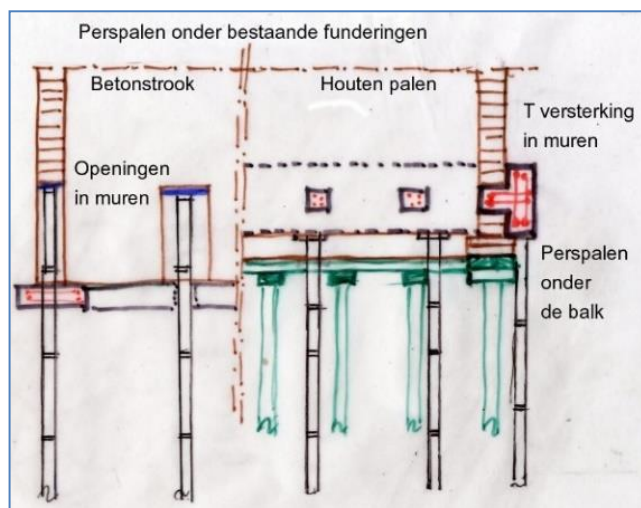
Rechts. Eenzijdige verbreding bij een steens-muur (niet te breed). Dit is nuttig bij het aanbrengen van extra isolerende buitengevel die dan op die buitenfundering komt te staan. Hierdoor is de kans op draaiing van de fundering verbreding minder.



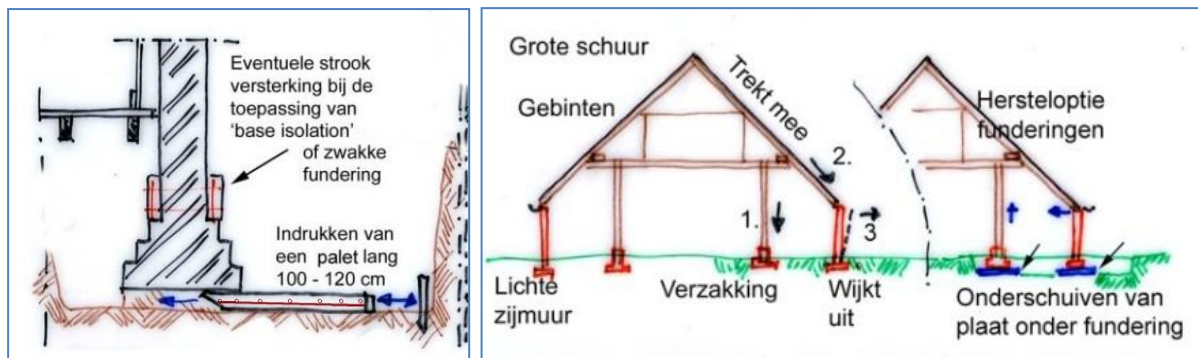
Bij een voldoende hoge en sterke funderingszone zal het gebouw meer als een geheel bewegen, maar de bestaande vervormingen in de gevel zijn daarmee nog niet verwijderd. Gevelherstel is dan nog nodig. Door beweging uit de gescheurde fundering te halen zal deze minder de schokken absorberen, waardoor er weer meer scheuren in het gebouw kunnen komen. Als alleen de draagkracht van de grond onder het gebouw de hoofdfactor is waarom er scheuren in de gevels zitten, kan in sommige situaties die draagkracht verbeterd worden door:

- Het verdichten van de grondslag door injecteren of stabiliseren van de grond onder het gebouw, waardoor de draagkracht van de grond verbetert en het effect heeft van een vaste kleine zandplaat onder het gebouw. Dit kan echter niet worden gegarandeerd in alle grondsoorten zoals klei en veen.
- Opvijzelen van alleen het verzakte gedeelte, wanneer de rest van het gebouw goed gefundeerd is. Dit is meestal niet het geval en kan gedeeltelijk opvijzelen andere scheuren veroorzaken.
- Perspallen onder de hele fundering.

Figuur 4-42. Extra palen onder de fundering. Gespecialiseerde bedrijven (e.g. De Waalpaal) hebben zowel perspallen, buispalen, schroefpalen als heipalen. Afhankelijk van de situatie moet de fundering eerst versterkt worden, en het metselwerk boven de draagpunten. Perspallen veroorzaken geen trillingen. Het heien in dit soort situaties moet altijd afgeraden worden.



- d. Het verbreden van de fundering door onder de fundering brede funderingsplaten in te brengen. Dit moet gefaseerd gebeuren terwijl de het gebouw plaatselijk ondergraven wordt. Dit nieuwe ontwerp kan voor veel gebouwen een praktische oplossing zijn.

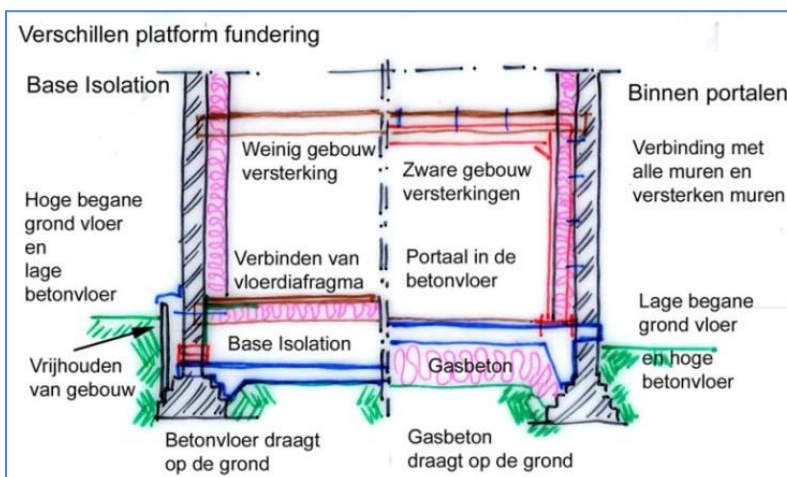


Figuren 4-43. Verbreding van de fundering met vulpaletten.

Het onder de fundering gefaseerd aanbrengen van een bredere plaatconstructie kan een optie zijn wanneer er alleen een bredere fundering nodig is om het draagvermogen van de fundering te verbeteren. De toepassing van lichtgewicht vulpaletten die met beton-groot worden vol geperst is een. De HDPE onderschuif elementen kunnen in verschillende afmetingen gemaakt worden.

- e. Het dieper aanleggen van de rest van de fundering tot op dezelfde diepte van de fundering van de kelder, maar met voldoende brede fundering aanleg, zodat gelijke draagkracht wordt verkregen in vergelijking tot de bestaande kelder.³³
- f. Het aanbrengen van een volledige platformfundering onder het hele gebouw. Hier dragen dan de muren op en wordt het draagoppervlak van de grond aanzienlijk vergroot en kan tegelijkertijd goede isolatie worden aangebracht bij toepassing van schuimbeton. Platformfundering kan ook ondersteund worden met perspalen en een goede basis voor *Base-isolation*.

Figuur 4-44. platformfundering in combinatie met Base-isolation. Bij deze optie is weinig bouwversterking nodig. Rechter deel. Platformfundering met muur/diafragma versterking. Voor verduurzamen met lichte versterking kan dat houtskeletbouw zijn, ingevuld met thermische isolatie.



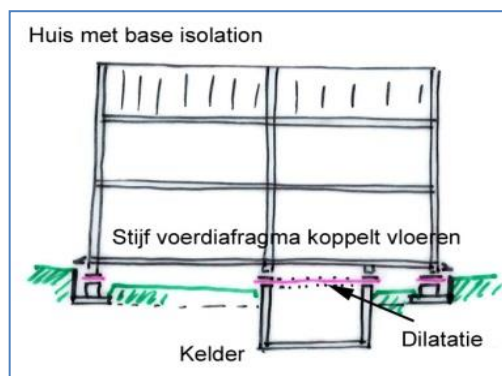
- g. Het aanleggen van een Base-isolation door middel van het verstevigen/verbreden van de bestaande fundering en het verstevigen van de basis van het gebouw als **een tweede fundering**³⁴, en daartussen het plaatsen van de *Base-isolation*, waarna het hele gebouw ter hoogte van die *Base-isolation* doorsneden kan worden, en los op die *Base-isolation* komt te staan.

³³ Dit levert ook meer woonruimte op. Een gelijke grondbelasting is belangrijk om scheuren te voorkomen.

³⁴ De aanleg van een tweede fundering is een van de redenen waarom traditionele *base-isolation* een hele dure operatie is voor lage gebouwen. Bij het versterken van de bestaande fundering kunnen met een nieuw, klein en lokaal geproduceerd *base-isolation* systeem de kosten veel lager zijn dan bij geïmporteerde systemen.

Figuur 4-45. De onderste fundering mag geen verzakkingen ondergaan.

Bij Base-isolation zal het noodzakelijk blijven dat de onderste fundering absoluut geen zakkingen kan ondergaan. In veel gevallen zal bij oude gebouwen daarom eerst de bestaande fundering versterkt of verbreed moeten worden voordat er een Base-isolation met tweede fundering eronder kan worden aangelegd.

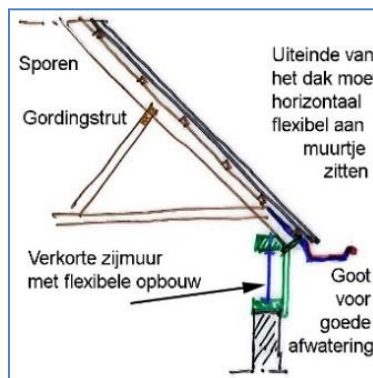


h. Herstel van oude lange stalmuren.

Dit is een aparte categorie vanwege hun functie als buitenmuur zonder dragende functie en verbonden aan de grote flexibele schuur. De dunne zijmuur kan geen weerstand bieden tegen een zijwaartse belasting van het dak. De gebinten van de daken zakken, omdat de poeren onder de staanders te licht gefundeerd zijn en vaak omdat ze niet ontworpen zijn voor het moderne zware verkeer in de schuren. Zie Hoofdstuk 10 De Gebintenschuur.

Figuren 4-46. Verzakken van staanders van gebinten.

Door het zakken van de gebinten worden de lage muren naar buiten gedrukt. De basis oplossing is om de muren los te koppelen van het dak en rechtop te zetten.



In dit geval moet de muur geheel losgekoppeld worden van de kapconstructie. Daarna kan de muur rechtop gezet worden en de fundering verbreed. Apart moeten de funderingen van de poeren onder de gebintpoten verbreed worden. Daarnaast is goed regenwaterafvoer van het dak belangrijk zodat de funderingen niet worden aangetast. Oude zijmuren die al heel erg scheef staan kunnen beter afgebroken worden en opnieuw op een bredere fundering weer opgemetseld worden.³⁵



Figuur 4-47. Lage buitenmuren moeten losgekoppeld worden.

Bij monumentale schuren, waarbij aan de buitenzijde niets mag worden veranderd, bestaat de mogelijkheid om de muur los te koppelen van de dakconstructie, zodat deze niet meer tegen de muur drukt. Daarna regels aan de binnenzijde met chemische ankers aan de muur schroeven en aan de binnenzijde een steunconstructie te maken.

³⁵ Dit is een al eeuwenlang bekend probleem. Lang voordat er van aardbevingen sprake was, moesten de eigenaren van de oude gebinten schuren deze lange zijmuren al vaak na een generatie of 50 jaar opnieuw opmetselen vanwege het weggedruken door de kap en verzakkingen vanwege slechte gebinten funderingen.

4.9. Verticale scheuren in rijtjeswoningen

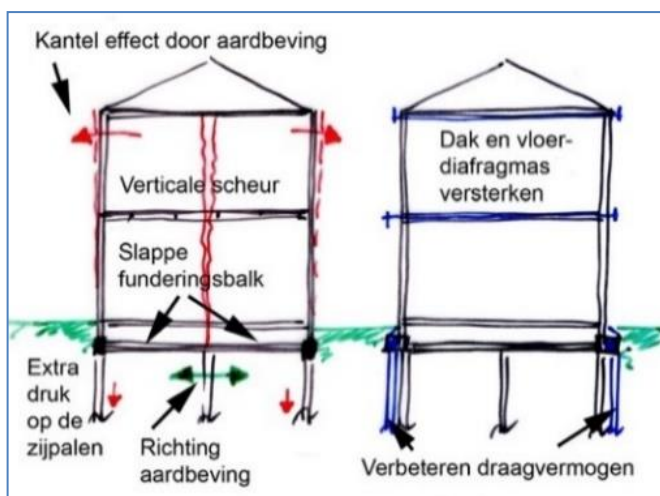
Door de horizontale grondversnelling van de aardbeving neemt de dwarsbelasting door de gebouw-inertie toe. Hierdoor treedt er een kanteffect op dat de belasting op de buitengevels verhoogd. Hoe hoger of zwaarder het gebouw, hoe groter die additionele belasting zal zijn. Wanneer een fundering gebaseerd is op een gelijkmatige verticale belasting en onvoldoende samenhang heeft kan dit scheuren opleveren. Hoe hoger in het gebouw hoe breder de scheuren zijn.

Omdat de funderingsbalken gedimensioneerd waren op slechts de statische belasting, en het gebouw geen vloerdiafragma's heeft die de buitengevels (voor- en achterkant) bij elkaar houden, konden de scheuren ontstaan. Het seismisch versterken zou een extra rij palen inhouden en het versterken van de vloerdiafragma's.

Figuur 4-48. Verticale binnenmuur scheur bij slappe fundering.

Voorbeeld van de rijtjeswoning (Jarino, gesloopt). De midden-paal in combinatie met zwakke funderingsbalk en kanteffect veroorzaakt de midden-scheur.

In theorie is het mogelijk om aan de buitenzijde een rij palen neer te zetten en zelfs de gevel op te drukken. Bij de beoordeling van de te nemen maatregelen moet de waarde van het oude gebouw vergeleken worden met de kosten. Bij jaren '70 rijtjeswoningen is dan vaak sloop en nieuwbouw de uitkomst.



Bij dit type rijtjeswoningen bestond de etagevloer uit betonplaten die op de woning-scheidende muren droegen, maar onderling geen verbinding hadden. Bij het maken van een vloerdiafragma moet in dat geval de voorgevel met de achtergevel verbonden worden zodat de vloer een geheel wordt. Dit kan bijvoorbeeld door verbindingstaven in de vloer te frezen of carbon fibers op de vloer te plakken.³⁶

Bij een verduurzamingsprogramma zouden de huidige voor- en achtergevels verwijderd kunnen worden (lichter) en een nieuwe geïsoleerde en sterke buitengevel op de extra palenrij kunnen worden toegevoegd.³⁷ In het geval van dit type rijtjeswoningen met grote glasgevels dient de nieuwe buitengevel ook de aardbevingskrachten in de lengterichting van het huizenblok op te kunnen vangen. Dit kan door sterke glaspanelen toe te passen of portalen in de nieuwe gevel te maken.

Na het seismisch versterken/verstijven van vloerdiafragma's en de verbinding met de draagmuren rondom bij vrijstaande woningen, zal ook het belastingpatroon op de binnenmuren veranderen; in de meeste gevallen zal dit groter worden en dus ook de fundering belasting van die binnenmuren. Om midden onder een bestaande midden fundering extra palen te plaatsen kan alleen als de hele begane grond vloer eerst verwijderd wordt.

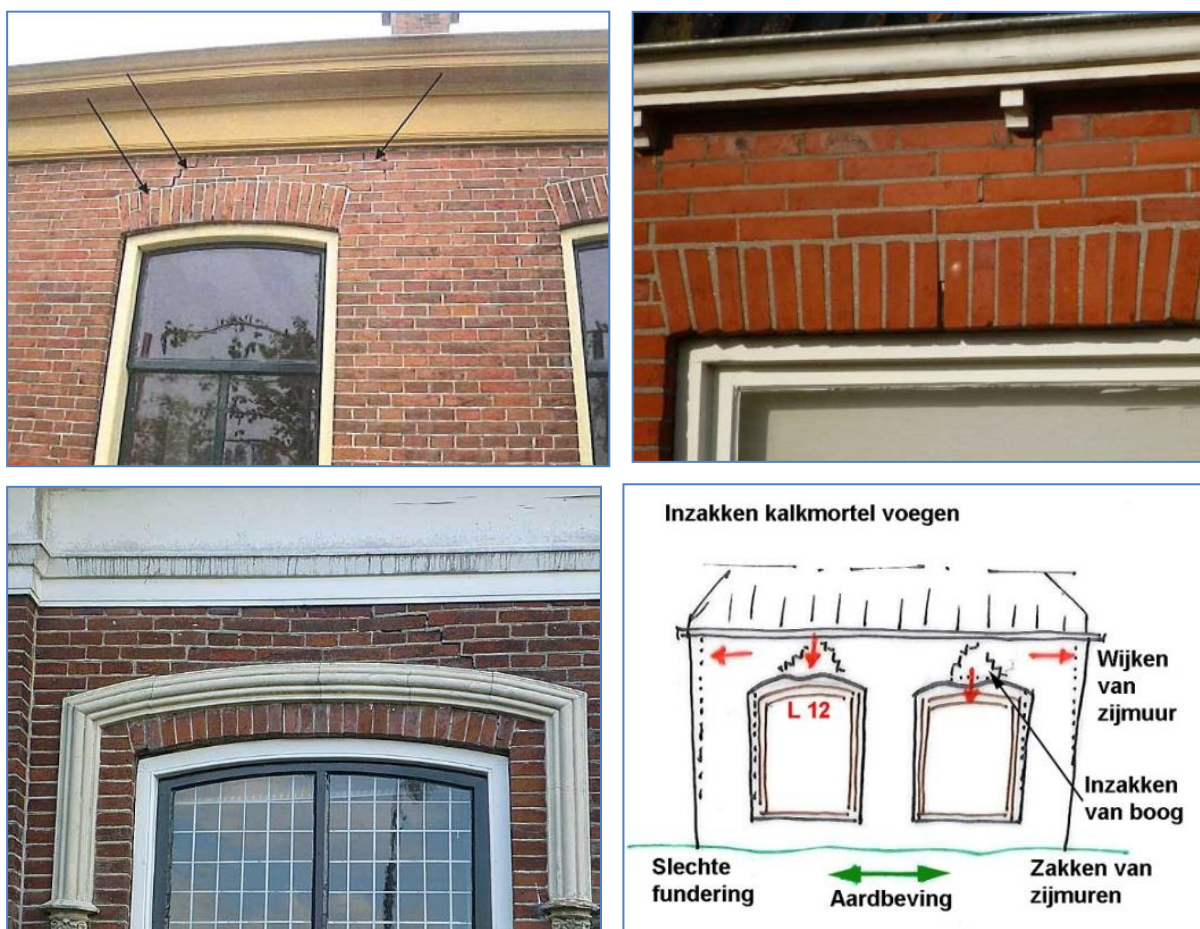
³⁶ Verschillende van deze toepassingen werden in testwoningen gedemonstreerd. Deze woning was een van de testwoningen, maar hier werd geen nieuwe sterke buitengevel toegepast.

³⁷ De betreffende Jarino woningen van de afbeelding hadden meer structurele problemen en konden niet op economische wijze hersteld en duurzaam gerenoveerd worden. Deze werden gesloopt en vervangen door goed geïsoleerde nieuwbouw. De bewoners werden tijdelijk ergens anders ondergebracht.

4.10. Verwijding van buitenmuren bij lage woning

De verwijding (uit elkaar bewegen) van de buitenmuren ontstaat ook wanneer de grond onder de funderingen van de zware steens buitengevels van een gebouw iets meer inklinkt dan de funderingen van lichtere binnenmuren. Wanneer de vloer- en plafondverbindingen (diafragma's) op de etage of zolder onvoldoende sterk en stijf zijn om deze zijgevels vast te houden, kunnen de gevels aan de bovenkant gaan wijken/splijten. Bij gebouwen van vóór 1930 zijn vaak **geen lateien** aanwezig en zal de toog of hanenkam dan openscheuren.

Door de schuin naar beneden gerichte belasting van het dak op de muren³⁸, zal de zijdelingse vervorming bij trillingen groter worden. Het verduurzamen en seismisch versterken van deze gebouwen zal een combinatie moeten inhouden van een optillen/verbreding/versterking van de fundering en het verbinden van de muren aan het zoldervloer- en dak diafragma.



Figuren 4-49. Voorbeelden van het wijken van de gevel boven de ramen. Dit gebeurt vanwege het zakken van de funderingen onder de zijgevels en het gebrek aan zoldervloer diafragma's. Zware schoorstenen en daken met sporen op de muurplaat kunnen dit proces verergeren. Door verwijdering zakt het metselwerk boven het raam in, maar de kalkvoegen zijn iets vervormbaar.

In de Nederlandse (ook moderne) woningbouw zijn de lateien slechts kort (10-20 cm) opgelegd waardoor de muur langs het uiteinde van de lateibalk kan scheuren. Bij gebrek aan treksterkte in het baksteen metselwerk en tussen de lateien treden hier scheuren op.

³⁸ Deze situatie komt voor als de dakspanten verouderd zijn en ook iets wijken en wanneer daksporen direct op de zijmuren of de borstwering op zolder zijn geplaatst.

De methode om deze situatie te voorkomen is om boven de lateien een doorgaande trekwapening in de lintvoegen worden ingebracht. Doorgaand betekent rondom het hele gebouw. In het Hoofdstuk 7 Lateien wordt verder ingegaan op deze problematiek.

Het bovenstaande impliceert dat er een verband is tussen de zwakte van de fundering en de schade die boven het maaiveld in de muren, bij de lateien en bij de dakrand zichtbaar is.

4.11. Het verdichten van de ondergrond van het gehele gebouw

Een verbetering van de draagkracht van de grond onder de fundering van modernere gebouwen met een sterke funderingsbalk-plaat combinatie is vaak voldoende om verzakkingen en daarmee scheuren in de muren te voorkomen. Door de draagkracht en samenhang van de bovenste laag van de grond, direct onder een fundering 'op staal', groter te maken, wordt daaronder de druk over een groter oppervlakte verdeeld. Dit kan gedaan worden door injecteren van een cementmortel of een twee-componenten materiaal dat in de grond verhard. Sommige materialen hebben ook een expanderende werking, waardoor vloeren omhoog gedrukt kunnen worden. Dit werkt echter niet met een fundering of zware boven-belasting of in alle grondsoorten.



Figuren 4-50. Uretek met injecties van een expansiehars (epoxy).

Links. Deze hogedruk injecteermortel zet uit onder een verzakkende vloer (en kan deze optillen), en zal de grond onder een fundering verdichten, maar meestal niet de fundering optillen.

Rechts: Uretek [DeepInjection® methode](#) met cementmortel. Dit is niet mogelijk in natte kleibodems of veen.

In slappe, cohesieve kleigronden of veen werken deze twee methoden niet. Per grondsoort en fundering dient er een gedetailleerd grondonderzoek plaats te vinden. Deze methoden zijn vooral interessant op zand- en droge gronden waar het grondwater weinig invloed heeft op het draagvermogen van de bestaande fundering.³⁹

Figuur 4-51. Uretek Powerpile®.

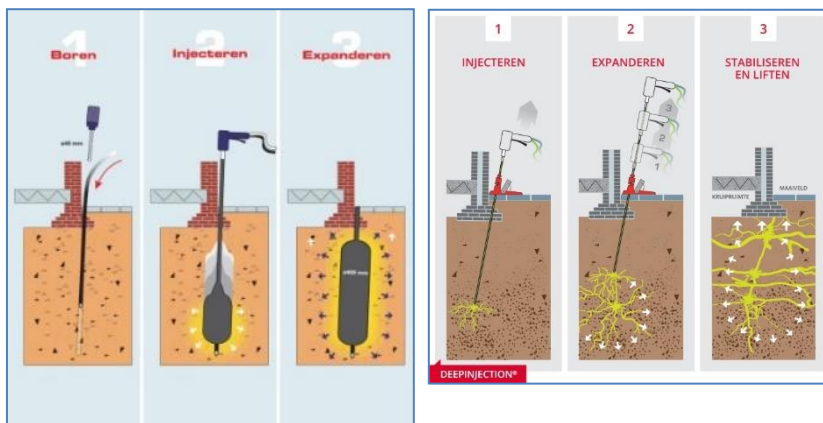
Naast het gebouw komen in de grond gevormde epoxy palen tot een diepte van ongeveer 7m.



³⁹ Zie de Youtube filmpjes Funderingsherstel". <http://uretek.be/methoden/verzakte-fundering>

Figuren 4-52. Uretek opblaas powerpiles.

Links. Deze opvul- en verdichting optie met opblaaszakken van Powerpiles® kunnen wel in klei- en veengrond worden toegepast. De huidige maximale diepte voor dit systeem is echter beperkt tot ongeveer 8,5 m. Echter, in Groningen ligt de zandlaag vaak op 10m diepte. Rechts. Injecteren/verdichten.



Injectiepalen met beton grout onder de bestaande funderingen of fundering stroken. Bij deze methode van Uretek komt de gebouwbelasting op in de grond gevormde palen te dragen. De funderingsbalk moet voldoende sterkte hebben om de afstanden tussen de palen te overbruggen. Bij een zwakke fundering kan met extra palen de overbruggingsafstand klein gehouden worden.

4.12. Extra funderingspalen, buis, schroef, pers

De toepassing van schroef- of perspalen direct onder een bestaande fundering, vereist dat deze palen onder alle draagmuren worden geplaatst. Bij elke paalmethode moet voorkomen worden dat er verschillende funderingstechnieken onder een gebouw zitten, en dat er grote verschillen bestaan tussen de belasting per paal. Met palen tot aan een vaste zandlaag kunnen hoge puntweerstand worden bereikt. Perspalen hebben een kleine diameter, waardoor er meerdere palen nodig zijn.



Figuren 4-53. Voorbeelden van buis-perspalen (de Waal) Deze worden direct onder een muur geplaatst worden. Hiervoor wordt er een sleuf uit de muur gezaagd.

Rechts is een voorbeeld waarbij een doorlopende balk buitenom de muur over de perspalen wordt gestort. De balk zit ingekast in de draagmuur van de woning.



Het is belangrijk dat boven de palen **voldoende stevige muurvlakken** aanwezig zijn om de belasting te spreiden. Eventueel kunnen die muren versterkt worden door het inbrengen van spiraalwapening. Dit betekent dat het niet zonder meer geschikt is voor gebouwen met grote en hoge raamopeningen. Met de buis-palen in en onder de draagmuren, moet enig kantel-effect vermeden worden. Het versterken van het begane grond vloerdiafragma is dan vaak nodig.

Figuren 4-54. Schroefpaal of boorpaal wordt langs de gevel ingebracht.

Rechts een nieuwe en afgewerkte fundering balk rondom het gebouw.



Figuur 4-55. Basis voor een isolerende buitengevel. Op de betonbalk rondom kan eventueel een nieuwe geïsoleerde en sterke buitengevel kan worden geplaatst. Bij een extra buitenzijdige isolatie moet soms het dak-overstek en de goten worden aangepast.

Bij dit oude karakteristieke voorgebouw kunnen ook de binnenmuren versterkt worden met Hout Skelet Bouw (HSB) en goed geïsoleerd.



De pers-buispaal wordt in een uitsparing in de buitenmuur geplaatst, of naast de draagmuur waarover dan een betonbalk wordt gestort die in die draagmuur is ingekast. Het draagvermogen van de buispalen is beperkt door de kleine diameter. Deze methode is hoofdzakelijk geschikt voor lichte gebouwen. Bij het plaatsen van buispalen onder dunne dragende binnenmuren zullen deze **binnenmuren eerst tweezijdig versterkt** moeten worden omdat bij een vloer diafragramversterking de binnen draagmuren zwaarder belast worden tijdens een aardbeving.

De optie met alleen extra palen buitenom is onvoldoende wanneer er dragende binnenmuren aanwezig zijn; deze moeten ook gelijkmatig over de hele lengte ondersteund worden. Het ondersteunen van de binnenmuren is mogelijk wanneer de hele vloer vervangen wordt door een systeemvloer. Wanneer houten binnen vloer van de begane grond toch wordt vervangen door **I** balken met EPS-elementen is de operatie vrij eenvoudig.

Figuur 4-56. Verbreding van de fundering bij binnenmuren. In combinatie met de toepassing van metalen of betonnen I balken met EPS invul-elementen. Hierover komt een druklaag van gewapend beton en daarover heen een LTV- vloerverwarming met afwerking.

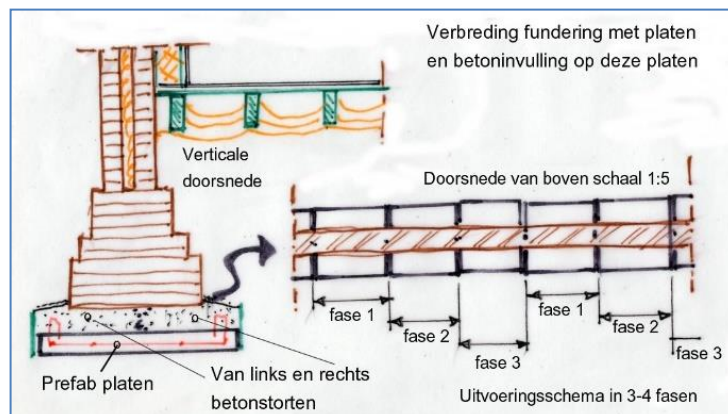


4.13. Verbreden fundering met platen of vulpaletten

Voor de toepassing van prefab betonplaten wordt de fundering tweezijdig uitgegraven en in drie of vier fasen ondergraven om de brede prefab-plaat onder de bestaande fundering te plaatsen, waarna deze van twee zijden wordt aangestort. Deze operatie wordt gefaseerd uitgevoerd zodat er elke keer maar een klein stukje van de fundering ondergraven wordt. Het trasraam van het gebouw moet dan voldoende sterk zijn om die overbrugging te kunnen hebben, anders moet er eerst een lintvoegwapening in de muren onder de ramen en deuren worden aangebracht.

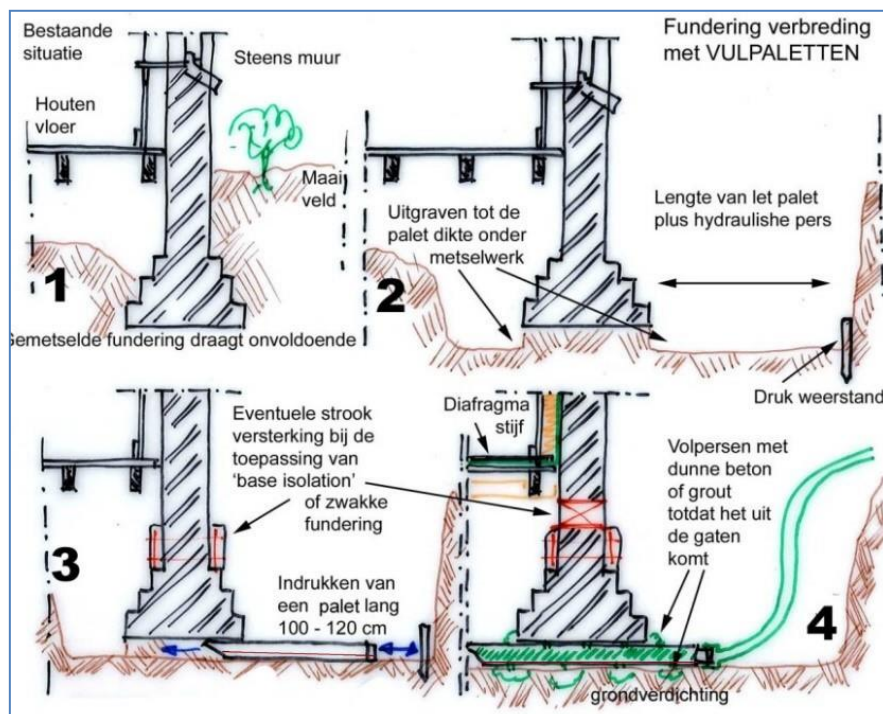
Figuur 4-57. Plaatsen van betonplaten onder fundering.

Deze werkwijze is mogelijk wanneer het gebouw voldoende ondersteund blijft door de nog niet vrij gegraven delen. Eventueel kan de muur ter plaatse eerst worden versterkt met in gefreesde spiraalwapening. Het beton vulmateriaal moet iets uitzetten om zetting te voorkomen.



Als alternatief op deze methode kunnen in plaats van zware prefab betonplaten ook **lichtgewicht HDPE⁴⁰ vulpaletten⁴¹** worden ondergeschoven. Na het van slechts één kant onderschuiven van deze cassettes of pallets, worden ze volgepompt met krimprijke beton-grout. Hierdoor ontstaat er een goede druk onder de fundering die voorkomt dat er na deze verbreding zetting ontstaat

Figuur 4-58. Toepassing van Nienhuys vulpaletten. In fasen worden de holle pallets van buitenaf onder de fundering geschoven en met krimprijke beton-grout vol geverst. Met openingen onder in de palletten zal er bij het inpersen van het grout druk op de grond ontstaan. Bovenop, met openingen in het midden, zal de ruimte tussen pallet en fundering strak worden opgevuld. Hierdoor kan er geen zetting ontstaan.



⁴⁰ Hoge Dichtheid Polyethyleen (HDPE) wegen < 10 kg en kunnen in verschillende maten worden gemaakt.

⁴¹ In de testwoningen zou het uittesten van deze methode mogelijk zijn. Pallet fabrikanten konden het voorgesteld werk leveren. Met grout oppompen op dezelfde manier als de Uretek Powerpiles.

De cassettes zijn breder dan de fundering en kunnen in verschillende maten worden gefabriceerd. Deze methode is veel lichter (gewicht ongeveer 15 kg) en sneller werken dan het onderschuiven van betonplaten (> 50 kg) en voorkomt latere zettingen van die verbreedde fundering.

Figuur 4-59. HDPE-pallets worden massaal geproduceerd. De productie kan in twee delen en in verschillende vormen. Door de raster openingen van het vul-pallet wordt het beton-grout onder de gemetselde fundering en in de grond geperst.



Wanneer er verzakking/doorbuiging van de oude fundering kan optreden door het uitgraven onder de fundering, moet eerst de bestaande funderingsstrook met trekwapening versterkt worden. Dit kan door het infrezen van lintvoegen en daar spiraalwapening in te verlijmen. Op de uitstekende delen van de vulpalletten zijanten kan tegen de fundering een versterking van de fundering worden aangestort. Pallets kunnen worden gemaakt van een bodem en deksel van HDPE (*High Density Polyethylene*) dat tot 15 kg kan wegen.⁴² In de pallet kan aan de onderzijde betonwapening worden toegepast tegen het doorbuigen van de betonplaat.

Dit systeem is **geschikt voor fundering verbreding in heel Nederland**. Als nieuw bouwelement is er na de aardbevingen in Groningen dus blijvend een grote markt voor vulpallets.

4.14. Plaat- of platformfundering 'op staal'

Een volledige plaat- of platformfundering onder het hele gebouw zal de gronddruk van het gebouw erg laag houden. In deze platformfundering kunnen kolommen voor de verdere versterking van het gebouw verankerd worden (portalen). Smalle penanten tussen grote raampartijen kunnen aan de binnenzijde vanuit de platform fundering versterkt worden met stalen frames. Hierdoor kan een stijve en goed samenhangende gebouwconstructie verkregen worden. Door de verstijvings- en versterkingsprofielen aan de betonvloer te verankeren en met chemische ankers aan de binnenmuren, ontstaat een versterkte structuur die niet meer zal scheuren. De staalprofielen lopen door tot aan het plafond/vloer diafragma. Dunne binnenmuren kunnen met houtskelet of glasvezeltextiel versterkt worden. Deze versterkingsoptie is bijvoorbeeld geschikt voor de lichte notaris- of rentenierswoning.

Figuur 4-60. Volgorde van werken voor platformfundering.

a. Houten begane grondvloer verwijderen.

b. Eventueel muurversterking aanbrengen

c. Grond egaliseren en gasbeton storten.

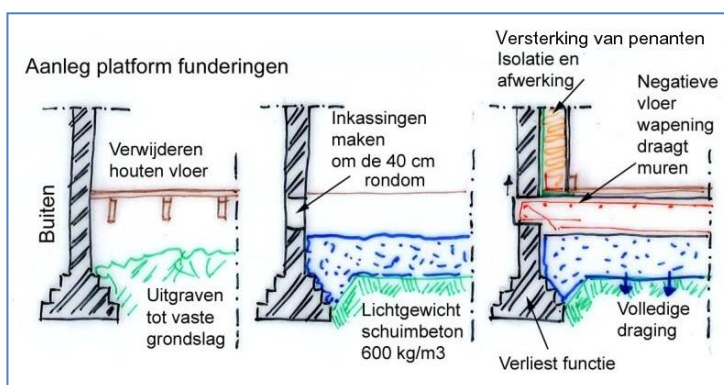
d. Inkassingen rondom in de bouwmuren maken voor de gewapend betonvloer.

e. Verankering stellen voor stalen frames voor de versterking van raampenanten.

f. Betonvloer storten.

g. Frames aan de betonvloer ankers verbinden. Muren verankeren met chemische bouten. De frames moeten de muurpenanten rondom de ramen voldoende versterken.

h. Thermische isolatie aanbrengen en LTV voor de vloer aanbrengen.

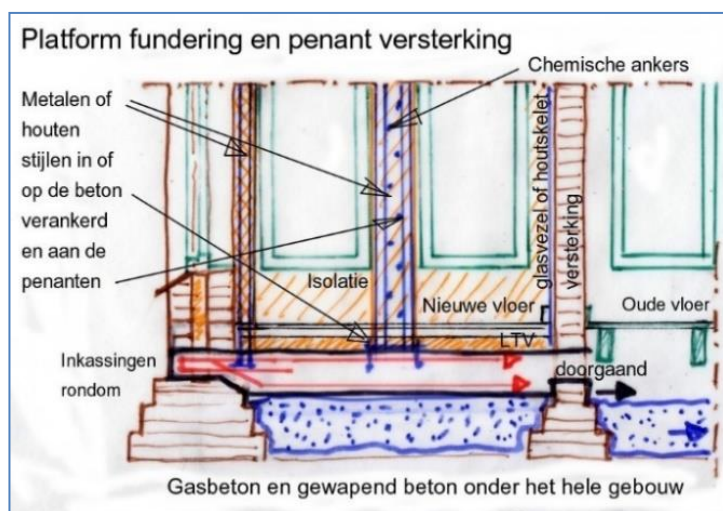


⁴² Fabrikanten van kunststof pallets hebben aangegeven dat ze dit HDPE-model makkelijk kunnen produceren. Door het in twee delen te fabriceren kan er ook wapening in worden gelegd, dan afgesloten, onder de fundering geschoven en dan met bestaande apparatuur vol-geperst met beton-grout, simpel.

Figuur 4-61. Kleine woningen en smalle funderingen op staal versterken. Bij kleine woningen die al verwijding van de bovenste geveldelen tonen, is een platvormfundering een goede oplossing in combinatie met een versterking van de smalle muurpenanten. Deze versterkingen kunnen dan sterk in de nieuwe fundering worden aangebracht.



Figuur 4-62. Zonder de toepassing van sterke glaspanelen. Wanneer sterke glaspanelen niet als gevelversterking kunnen worden toegepast geeft de nieuwe betonvloer een solide basis voor de verankering van de versterking van de muurpenanten. Het is wel aanzienlijk duurder.



Bij een platformfundering wordt een uitstekende optie geboden om frames of portalen aan de betonvloer te verbinden. Trillingen uit de ondergrond blijven echter via de platformfundering in het gebouw doordringen. De platformfundering kan ook als basis voor een *Base-isolation* erboven dienen.

Slechts in de situatie waar er binnen in een oud en zwak gebouw geen muurversterkingen en/of diafragma versterkingen kunnen of mogen worden uitgevoerd is een *Base-isolation* een optie om trillingen vanuit de ondergrond te reduceren.



Figuren 4-63. Volgorde aanleggen van een platformfundering.

Links. Na het verwijderen van de (houten) begane grond vloer de grond egaliseren voor gasbeton storten.

Rechts. Rondom gaten door de hele muur maken overeenkomstig het draagvermogen van het metselwerk.



Figuur 4-64. Aanbrengen van de wapening op de gasbetonvloer.

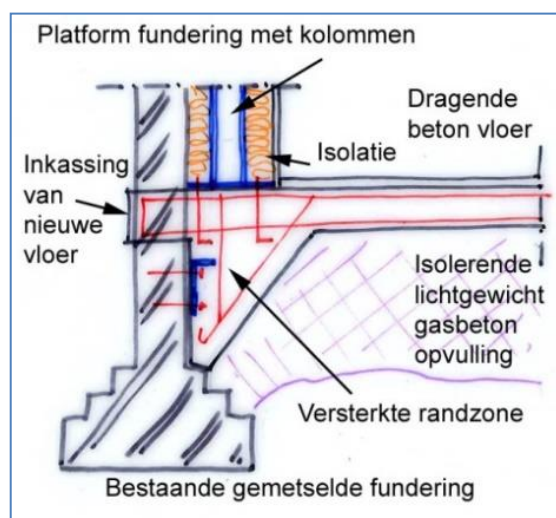
Afhankelijk van het gebouwgewicht dient de negatieve randwapening te worden aangepast.

Bij kleine kelders onder een gedeelte van het gebouw moet deze kelder vervallen.

Bij een kleine kelder kan deze ook vergroot worden tot onder het hele gebouw. In dat geval moet de platformvloer onder de kelders komen.

Op de platformvloer kan de wand versterking en isolatie geplaatst worden.

Na de wand isolatie kan de vloerisolatie en de LTV-vloerverwarming geplaatst worden.



Bij de toepassing van een *Base-isolation* boven op de platformfundering zullen horizontale trillingen vanuit de grond nauwelijks invloed hebben op het gebouw.⁴³ Zie Hoofdstuk 5 Base-Isolation.

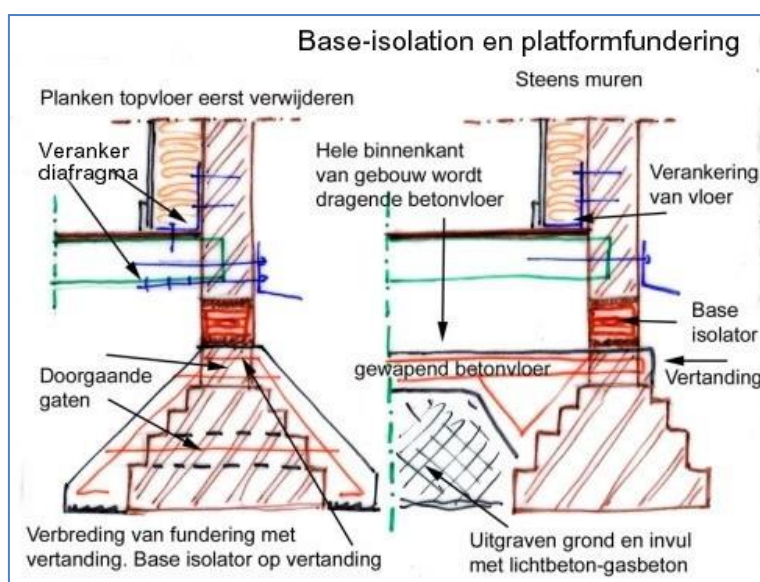
Figuur 4-65. Combinatie platformvloer en Base-Isolation.

Bij Base-isolation moet de onder fundering stabiel en niet-vernormbaar zijn. Bij een platformfundering met

Base-isolation kan de muurverstijving niet op de betonnen plaat worden verankerd, maar moet op het stijve vloerdiaphragma worden vastgezet.

Links. Versterking van de fundering met zijdelings aanstorten.

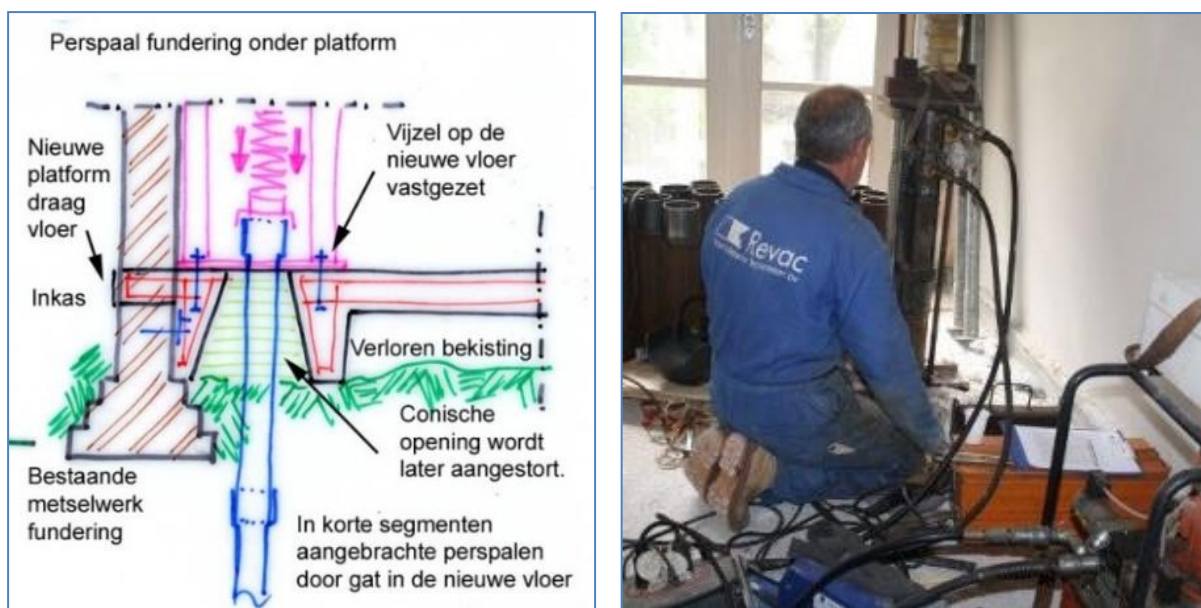
Rechts. Versterking van de fundering met betonvloer.



⁴³ Wanneer de *Base-isolation* 90% van de horizontale belasting opvangt, zal ook de horizontale dwarskracht op het gebouw ten gevolge van een aardbeving met 90% verminderen.

Vanwege de werking van een licht rollend *Base-isolation* systeem is een grote versterking van de binnenmuren bij fragiele monumenten niet meer noodzakelijk. In plaats van een volledig metaal of houtskelet constructie aan de binnenzijde kan aan de buitenkant of binnenkant horizontale lintvoegwapening worden toegepast, met aan de binnenzijde glasvezeltextiel en de extra isolatie.

Om een na-geïsoleerde spouwmuur ($R_c = 1,7 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$) op te waarderen tot $R_c \geq 4,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ is tussen de 10 cm en 15 cm dikte noodzakelijk afhankelijk van de gebruikte isolatiematerialen.⁴⁴ Onder een platformfundering kunnen ook perspalen worden toegepast. Dit is bijvoorbeeld een optie wanneer onder een gedeelte van het gebouw een kelder zit.



Figuren 4-66. Toepassing van perspalen door uitsparingen in een platformfundering. De platformfundering moet speciaal ontworpen worden om perspalen toe te passen. De palen worden gedrukt door een tijdelijk vastgezette vijzelinstallatie. Rechts. Perspaal aanbrengen. Revac foto.

4.15. De toepassing van *Base-isolation* bij een bestaande palenfundering

Bij een bestaande fundering op betonpalen zijn er drie opties om *Base-isolation* toe te passen:

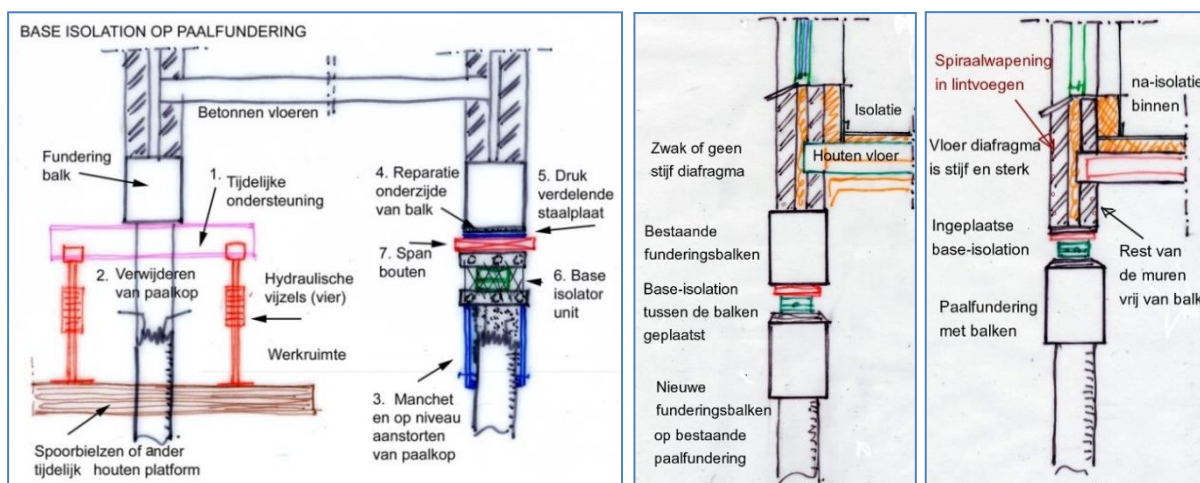
- Bij zeer stabiele betonpalen die NIET horizontaal kunnen bewegen, wordt de paalkop verlaagd en op de nieuwe kop een *Base-isolation* element onder de fundering of ringbalken geplaatst.
- Bij iets minder stabiele betonpalen kunnen de paalkoppen meer verlaagd worden en aangestort met nieuwe rondlopende funderingsbalken. Op deze nieuwe balken en onder de al bestaande balken worden dan de *Base-isolation* elementen geplaatst.
- Bij gebouwen op een betonnen balk en die voldoende plinthoogte hebben onder de begane grond vloer, en die een voldoende stijf en sterk begane grond vloerdiafragma hebben, kan in de plint onder de vloer en op de funderingsbalk de *Base-isolation* worden geplaatst. Hier moet het metselwerk een versterkte zone hebben om de afstanden tussen de *Base-isolators* te overbruggen zonder dat het metselwerk doorzakt/scheurt.

Het bijzetten van perspalen voor extra draagkracht is een extra optie voor de laatste twee.

⁴⁴ Dunnere isolatie is mogelijk, maar is duurder per m^2 . Duurzame natuurlijke isolatiematerialen vereisen een grotere dikte. Voor technische details voor DUNNE binnenzijdige gevelisolatie zie www.nienhuys.info

Figuur 4-67. Toepassing van Base-isolation op een funderingsbalk.

Foto impressie van de toepassing van een kleine en later ingebouwde mini Base-isolation op een funderingsbalk. De balk geeft voldoende stijfheid onder de Base-isolation. De muur direct boven de Base-isolation is versterkt met doorlopende lintvoeg wapening en het aan de muur gekoppelde begane grond vloer diafragma. Deze optie is hier mogelijk omdat men goed onder het gebouw kan komen. Met een fundering op staal is het erg moeilijk werken.



Figuren 4-68. Opties voor de plaatsing van mini Base-isolation op palen.

Links: Ondersteuning van balken, nieuwe paalkop, stellen van mini Base-isolation, opspannen tot oude draagvermogen. *Midden:* ondersteuning van balken, nieuwe funderingsbalk., *Rechts:* Maken van gat boven de balk, plaatsen mini Base-isolation, versterken gebouw plint, doorzagen van gevel tussen Base-isolators. Bij zwak metselwerk moeten er meer units geplaatst worden of meer muurwapening.

4.16. Youtube filmpjes fundering herstel systemen

- 01 Funderingsherstel REVAC filmpje: Door Robine Hillen.
<https://www.youtube.com/watch?v=ikhafe06VXg&> Duur 2:01 min. Datum: 29 mei 2013.
- 02 Reus Funderingsherstel Verzakt huis.
<https://www.youtube.com/watch?v=N80LnNf2oaM> Duur 3:43 min. Datum: 27 april 2011
- 03 Vijzel controller systeem van DS Bouw. Zie www.funderings-herstel.nl
<https://www.youtube.com/watch?v=sz4DoJAa2Bw> Duur 1:00 min. Datum: 22 sept. 2011
- 04 Stalen buispalen trillingvrij aanbrengen.
<https://www.youtube.com/watch?v=TynzlgS7JHE> Duur 0:59 min. Door Puckijskes.
- 05 Stalen buispalen worden geheid nadat de heimachine door het raam is gegaan.
<https://www.youtube.com/watch?v=LpeB83wleDU> Duur 0:38 min. Datum: 16 nov. 2011
- 06 Nederland Bouwt Funderingsherstel. www.nederlandbouwt.nl
<https://www.youtube.com/watch?v=xK8F32yqlpg> Duur 5:01 min. Datum: 25 februari 2009
- 07 Terracon - Terr-Econ-Buispalen met betongrout injectie.
https://www.youtube.com/watch?v=W1SHFxl_Bi0 Duur 2:30 min. Datum 25 mei 2010
- 08 Uretek. Herstel van verzakte funderingen. URETEK Deep Injection®
<https://www.youtube.com/watch?v=UPjQIDnsmDQ> Duur 3:35 min. Datum 25 juli 2011.
