

## 4. Oorzaak en oplossing schade

Datum: 14 april 2008

Bedrijf; Bureau voor bouwpathologie, te Montfoort

## Inhoudsopgave

1.0. Inleiding .....	3
2.0. Schade .....	4
2.1. Hinder of schade .....	4
2.2. Typische schade ten gevolge van grondtrillingen .....	4
2.2.1. Scheurvorming .....	4
2.2.2. Scheefstand .....	6
2.2.3. Schade direct uit trillingen .....	7
2.3. Vervolg schade.....	8
3.0. Eerste schade aan een gebouw .....	9
3.1. Afhankelijk .....	9
3.2. Typische eerste scheuren .....	10
3.2. Scheuren in beweging.....	11
4.0. Scheuren vertellen .....	13
4.1. Gedrag van een scheur. ....	13
4.2. Wat vertellen de scheuren? .....	13
5.0. Voorkomen van schade .....	16
5.1. Bodemverdichting. ....	16
5.2. Elastische mortel .....	16
5.3. Veren .....	16
5.4. Matten en zware fundering .....	18
5.5. Dilatatie.....	19
5.6. Dempers .....	20
5.7. Juiste materialen toepassen .....	21
5.8. Palen boren en damwanden trillen .....	22
5.9. Indelen in zones .....	22
6.0. Herstellen van schade.....	23
6.1. Herstelmogelijkheden.....	23
6.2. Voorbeelden .....	26

## **1.0. Inleiding**

Grondtrillingen kunnen een sterke invloed hebben op een gebouw. Of een gebouw schade zou ondervinden ten gevolge van trillingen kan geconcludeerd worden uit de trillingsmetingen en aan de hand van voor en na onderzoek. Zelfs na de meting is niet zekerheid vast te stellen of de schade door de trillingen zijn ontstaan, aangezien de theorie niet gelijk hoeft te zijn aan de praktijk ervaringen. Komt uit een andere richting een zwaardere trilling? Hebben die heiwerkzaamheden van vorige maand invloed gehad op de schade? Of was de oorzaak het spoor dat langs het gebouw loopt. Kan aan de hand van onderzoek naar schade worden vastgesteld of de schade is veroorzaakt ten gevolge van een bepaalde trillingsbron? Wanneer de trillingen al zijn geweest, is het moeilijker te bepalen of de trilling de oorzaak van de schade is? In sommige gevallen is dit moment echter lastig om de oorzaak te vinden, omdat de bron niet meer aanwezig is. Neem als voorbeeld hei- en sloopwerkzaamheden. In dit verslag worden aan de hand van subvragen de voorgaande vragen zo volledig mogelijk beantwoord.

Uit 3. Constructies is gebleken dat de grootste schade ontstaat in materialen die geen trekspanningen op kunnen vangen, metselwerk, zoals baksteen en KZS en beton.

Esther Stapper

## **2.0. Schade**

### **2.1. Hinder of schade**

Bouwwerken zijn continu onderhevig aan grondtrillingen van buitenaf. Deze trillingen worden bijvoorbeeld veroorzaakt door druk verkeer (auto, trein, water of vliegverkeer) of door bouwwerkzaamheden (zoals heien). De trillingen zorgen voor een wisselende belasting in de bodem. Wanneer de bodemlagen gaan inklinken, kan dit een oorzaak zijn van een scheur. Volgens de SBR is er een relatie tussen trillingen en hinder/schade en wanneer een trilling hinder/schade veroorzaakt, op verschillende gebieden;

- Schade aan gebouwen
- Hinder aan personen
- Schade aan apparaten/machines

In dit onderzoek wordt de nadruk gelegd op schade aan gebouwen. Gebouwen met een stalen en houten constructie kunnen trillingen lange tijd voortplanten. Dit zijn constructies opgebouwd uit een homogeen materiaal. Gebouwen met een betonnen of metselwerk constructie kunnen de trillingen voortplanten tot op een zekere hoogte. Dit zijn heterogene constructiematerialen.

De uiteindelijke meetwaarden uit de praktijk, eventueel vooronderzoek en de al dan niet opgetreden schade zullen bepalend zijn voor het antwoord op de vraag of er sprake is van schade.

Een gebouw steunt op een fundering. Maar de actiekrachten van de fundering moeten een reactiekracht hebben, dit is de draagbare bodem. Wanneer de fundering niet op de bodem kan steunen, ligt de oorzaak van de schade niet bij de fundering maar bij de ondergrond. Ten gevolge van grondtrillingen kan de bodem inklinken of ontstaat er een te grote negatieve kleef. Hierdoor raakt de fundering zijn ondergrond (reactiekracht) kwijt, het gebouw dat op de fundering steunt zal mee gaan zakken. Veel bouwwerken zijn niet ontworpen om trillingen op te nemen. Er bestaat daardoor kans op schade, afhankelijk van de constructiewijze van het bouwwerk, de snelheid, lengte en strekte van de trillingen en zettingen in de bodem waar de trillingen doorheen gaan.

### **2.2. Typische schade ten gevolge van grondtrillingen**

Het meest voorkomende schade ten gevolge van grondtrillingen is dat de fundering gaat zakken. Wanneer deze situatie zich voort doet is er een kans dat gebouwen die zich in de buurt van of boven de inklinking bevinden schade ondervinden.

Voorbeelden van schade zijn;

1. Scheurvorming
2. Scheefstand

De draagconstructie kan ook schade ondervinden direct ten gevolge van grondtrillingen:

3. Schade direct uit trillingen

#### **2.2.1. Scheurvorming**

Er zijn twee soorten schade volgens de SBR deel A;

1. Schade aan de draagconstructie
2. Schade aan overige delen van het bouwwerk.

Onderdelen die niet tot de draagconstructie behoren (scheidingswanden, plafonds, ornamenten etc..)

Onderdelen die geen dragende functie hebben en die de gebruikswaarde verminderen bij schade, zonder dat de veiligheid van personen binnen het gebouw in het geding komt.

In dit onderzoek houden we ons vooral bezig met de schade aan de draagconstructie.

Een scheur is in principe het gevolg van een te grote trekspanning in een materiaal. Dus hoort hij niet in dit rijtje thuis. Het is het gevolg van 2. Scheefstand en 3. Schade direct uit trillingen. Op een bepaald moment kan het constructieve element (muur, vloer, penant, kolom) zijn trekkrachten niet meer kwijt, waardoor het materiaal uit elkaar wordt getrokken en er scheuren ontstaan. Scheuren hebben ook een positieve werking, ze waarschuwen de mensen op eventueel instorting gevaar.

Ten gevolge van trillingen kan vervolgschade ontstaan;

- Scheuren in tussenwanden
- Scheuren in de buitengevel
- Scheuren in draagconstructie
- Lekkage ten gevolge van scheuren
- Verhoging van kans op vochtinslag in muren

#### Scheuren in tussenwanden

De eerste schade ontstaat in stijve elementen als de tussenwanden. Dit zijn in de meeste gevallen de meest zwakke elementen en kunnen dus de minste krachten (druk en trek) verwerken. In enkele gevallen staan de (gemetselde) tussenwanden tussen stalen kolommen. De kolommen zullen ten gevolge van trillingen gaan bewegen. Staal zal haast niet beschadigen, tenzij bij de bevestiging onder of boven. Staal zal druk uitoefenen op een (gemetselde) scheidingswand, deze kan die krachten niet verwerken en dus zullen scheuren ontstaan. Baksteen kan in eerste instantie drukkrachten perfect opvangen (B), maar wanneer de krachten nergens heen kunnen (A), zullen ze schade veroorzaken. (Fig. 2.1)

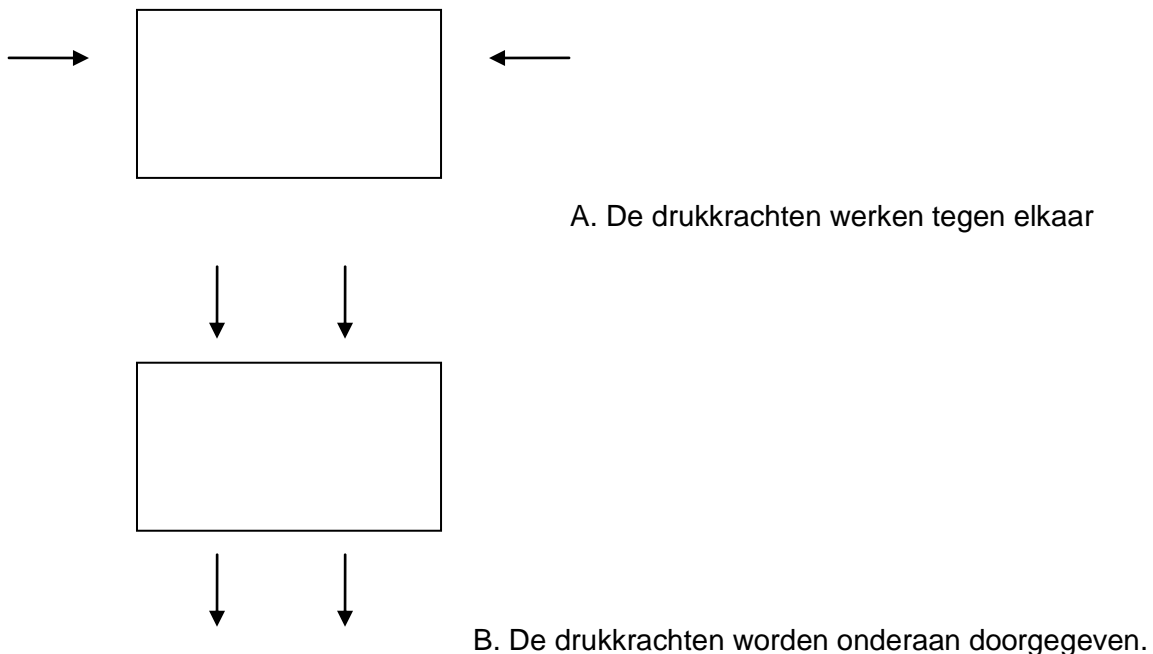


Fig. 2.1. Krachten kunnen nergens heen of ze worden doorgegeven.

#### Scheuren in de buitengevel

De tweede schade ontstaat o.a. in de buitengevel. De buitengevel bestaat met name in de woningbouw uit baksteen met een specie verbinding. De scheuren bevinden zich in de meeste gevallen in de voegen. De voegen kunnen de minste trekkrachten opvangen. Het metselwerk van tegenwoordig kan haast geen trekkrachten meer opvangen in tegenstelling tot het metselwerk van vroeger. Toen werd er meer kalk toegepast in de constructie waardoor het geheel elastischer werd. De eerste scheuren zullen op de zwakste plekken in de gevel ontstaan, deze plekken bevinden zich langs de gevelopeningen en bij penanten.

Op deze plekken heeft de gevel de minste stijfheid en stabiliteit. Wanneer de bodem in klinkt, zullen hier scheuren zullen ontstaan.

#### Scheuren in de draagconstructie

De meest relevante en risicovolle schade zijn scheuren in de draagconstructie. Wanneer schade ontstaat in de draagconstructie, kan de veiligheid en stabiliteit van het gebouw afnemen. De gevolgen van de trillingen in verschillende soorten materiaal in de draagconstructie zijn beschreven in "3. Constructie".

#### Lekkage ten gevolge van scheuren

De scheuren in de draagconstructie kunnen lekkages veroorzaken. Een betonnen vloer en wand waar de leidingen doorheen lopen kunnen minder trekkrachten opnemen dan de (koperen) leidingen. De krachten zullen de leidingen overmeesteren wanneer er scheuren en in wand en vloer ontstaat en scheuren in de leidingen veroorzaken.

#### Vochtinslag muren

Ten gevolge van scheuren in de buitengevel heeft het vocht de vrije had en zal deze in een iets grotere hoeveelheid in de gevel stromen, dan bij een onbeschadigde gevel. Er zal roest optreden omdat er een materiaal (geen RVS) is toegepast in combinatie met een te hoge vochtigheidsgraad.

### **2.2.2. Scheefstand**

Wanneer een trilling zich voort plant door de bodem, is een kans aanwezig dat de grond inklinkt. Met name de bodemsoorten met een grote hoeveelheid aan poriën zullen inklinken, zoals veen en klei. Daarom zal er in deze gebieden meestal geheid worden. Ten gevolge van een ongelijkmatige inklinking zal de fundering en het pand scheef gaan staan. Hierdoor ontstaan onverwachte krachten in het gebouw die eventuele schade kunnen veroorzaken.

Bij een fundering op staal zal de hele fundering inclusief de belasting op de fundering met de bodem meezakken. (Fig. 2.2.) De het zakken van de bodem zal extra beïnvloed worden door grondtrillingen. Deze verzakking ontstaat, omdat de fundering niet zijn eigengewicht plus het gewicht van het gebouw kan dragen. Het gewicht wordt door de draagkrachtige laag onder de fundering opgevangen. Wanneer deze draagkrachtige laag weg valt, zakt de bodem mee. Hierdoor komen de balk, de vloer en hiermee het hele gebouw scheef te staan.

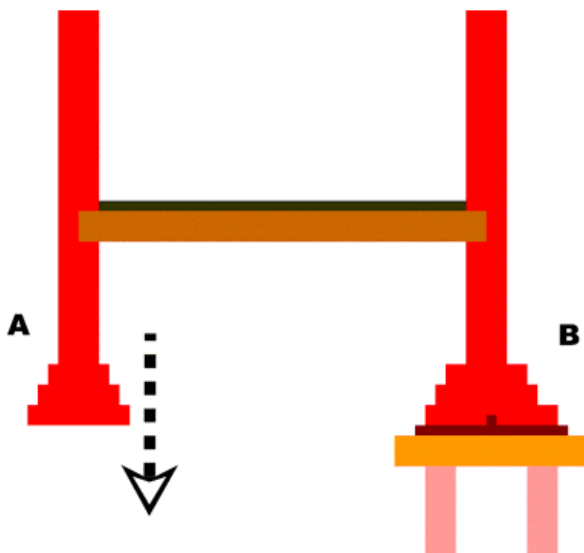


Fig. 2.2. Is een fundering op palen verstandiger?

- A. Fundering op staal
- B. Fundering op palen

Fundering op palen zullen beïnvloed worden door negatieve kleef. (Fig. 2.3.) Negatieve kleef is de wrijving van de grond rondom de funderingspaal door het zakken van het bodemmateriaal. Hierdoor wordt de paal als het ware naar beneden getrokken. Negatieve kleef zet zich door tot de eerste draagkrachtige zandlagen. De draagkrachtige zandlagen zullen positieve kleef veroorzaken, deze zal de negatieve kleef opheffen. Grondtrillingen kunnen het zakken van de bodem verergeren, waardoor de wrijving rondom de funderingspaal groter wordt en de negatieve kleef al dan niet groter zal worden dan de positieve kleef. Het gevolg hiervan is dat de paal zo sterk naar beneden wordt getrokken dat de positieve kleef niet voldoende reactiekracht kan maken en de paal plus het gewicht op de paal zal gaan zakken. De actie wordt groter dan de reactie.

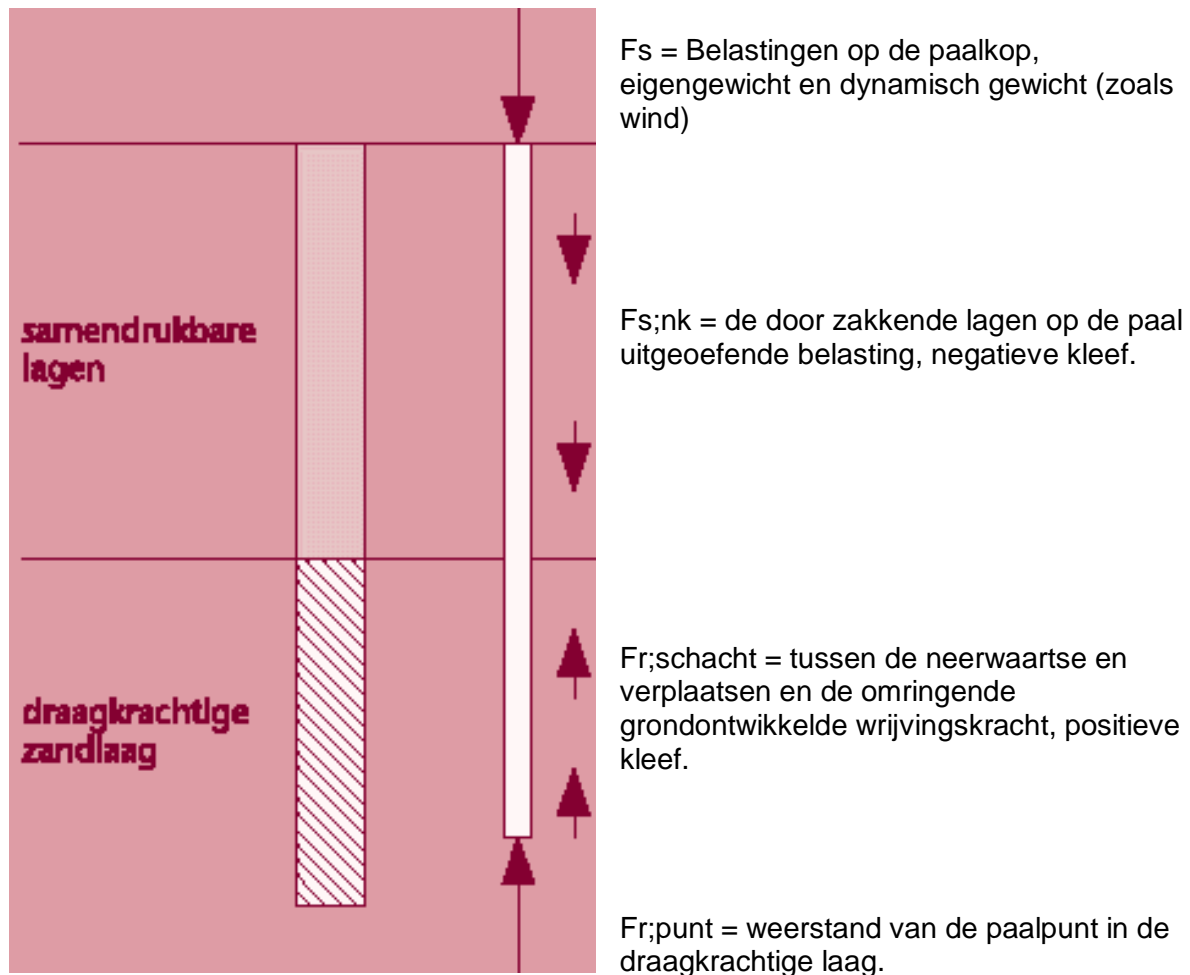


Fig. 2.3. Negatieve kleef rondom een funderingspaal.  
De pijltjes geven de bewegingsrichting van de grond ten opzichte van de paal aan.

### 2.2.3. Schade direct uit trillingen

Schade aan een gebouw kan ook ontstaan ten gevolge van directe trillingen op een gebouw. Hiermee wordt bedoeld dat niet de bodem beïnvloed wordt door de trilling, waardoor hij inklinkt, maar veroorzaakt de beweging die uit de trilling voortkomt schade in het gebouw. Trillingen die zich vanuit de trillingsbron voort planten, lopen door de bodem. Wanneer de trilling al dan niet voor het gebouw door de bodem is uitgedempt, kan schade aan het gebouw ontstaan ten gevolge van trillingen. Wanneer de trilling zich tot aan de fundering voort zet, zal hij zich in alle richtingen van het gebouw voort kunnen zetten. Wanneer de trilling zich omhoog voort plant loopt hij het gebouw in. Dit kan scheuren in het metselwerk of vermoeiing van het staal tot gevolg hebben, door de grote krachtveranderingen in de constructie.

### **2.3. Vervolg schade**

Schade is een verandering van eigenschap of positie van het gebouw. Schade ten gevolge van trillingen kunnen een of meer van de volgende gevolgschade veroorzaken;

- Verlies van functie van de niet dragende en met name dragende onderdelen.
- Vermindering van de functie van het bouwwerk, gymzalen, ziekenhuizen, verzorgingstehuizen
- Vermindering van de verwachte levensduur van een gebouw.
- Risico's voor de veiligheid van de mensen in het bouwwerk.
- Vermindering van economische waarde
- Vermindering van de gebruikswaarde, zoals bij scheurvorming in afwerkklagen of betegelingen.
- Vermindering van de esthetische kwaliteit.

### 3.0. Eerste schade aan een gebouw

#### 3.1. Afhankelijk

De locaties van de eerste schade is van een aantal factoren afhankelijk. De schade is afhankelijk van de funderingsvorm, trillingsrichting, het constructie materiaal en de situering van de gevelopeningen en penanten.

Fundering op staal en fundering op palen reageren anders op trillingen. Fundering op staal is met name onderhevig aan trillingen net onder het maaiveld, zoals bij de eerste heislagen op een heipaal, auto, water en spoorwegverkeer. Een fundering op palen reageert met name op trillingen net onder het maaiveld tot diep in de bodem waar de paalpunt zich bevind. (zie 3. Constructie, 4.1. Massa en funderingsmethode)

De trillingsrichting is van belang bij de eerste schade. De trilling kan zich horizontaal, verticaal en diagonaal verplaatsen. In veel gevallen zal de trilling zich in alle kanten voort planten. De snelheid en sterkte van de trilling is van belang, bij het beoordelen of er schade aan het gebouw ontstaat. Hoe sterker de trilling des te heftiger een element erop zal reageren, door dezelfde beweging te maken als de trilling, en des te meer schade een element eventueel zal ondergaan. De grens hiervan ligt bij een snelheid van 0,75 mm/s. Of het element reageert op de trillingsrichtingen wordt in de volgende opsomming beschreven. Er worden situaties met een heftige en eventueel schadelijke trilling beschreven.

- Fundering op staal:

- reageert op verticale trillingen wanneer de trillingsbron zich recht onder een funderingstrook bevind en dus de kortste afstand naar het element af legt. De trilling vervolgt zijn weg door de fundering het gebouw in. Wanneer de trillingsbron zich niet recht onder de funderingstrook bevind hebben funderingen op staal geen effect op de funderingsstroken.
- reageert alleen op horizontale trillingen wanneer de ze zich vlak onder het maaiveld voor doen. Wanneer de trillingsbron zich dieper dan de funderingstrook bevind, zal hij minder effectief op de strook reageren.
- reageert op diagonale trillingen, ook wanneer de trillingsbron zich niet onder de stroken bevind. De trillingen verplaatsen zich schuin naar boven, de stroken in. De fundering op staal zal niet reageren wanneer de diagonale trilling zich nog voor de stroken aan het oppervlak bevinden, en de fundering dus niet bereiken.

- Fundering op palen:

- reageert wel wanneer de trillingsbron zich recht onder de funderingspaal bevind. De verticale trilling vervolgt zijn weg, in en langs de paal. Hierdoor treed eventuele negatieve kleeft op. Wanneer de trillingsbron zich niet recht onder de funderingspaal bevind zullen de verticale trillingen minder effect hebben op de funderingspalen.
- reageert alleen op horizontale trillingen wanneer ze zich ter hoogte van de funderingspaal voor doen. Wanneer de trillingsbron zich dieper dan de palen bevind, zal hij minder effectief op de strook reageren.
- reageren op diagonale grondtrillingen, omdat ze zich schuin in alle richtingen, dus ook richting de palen, verplaatsen. Wanneer de trillingsbron zich onder de funderingspaal bevind kan hij alsnog effect hebben op de paal. Wanneer de trillingen voor de paal aan het oppervlak komen, zullen ze geen effect hebben op de palen

- Kelder

Een keldervloer reageert op verticale trillingen onder de kelder. De keldervloer ligt op zand, waardoor de trillingen die zich onder de kelder verticaal omhoog voort planten als eerste direct effect zullen hebben op het gebouw.

De kelderwanden reageren wel op de horizontale trilling wanneer de trillingsbron zich ter hoogte van de wand bevind. De keldervloer reageert wanneer de trillingsbron zich ter hoogte

van de vloer bevind. Wanneer de bron zich onder de kelder bevind, zullen de horizontale trillingen haast geen effect hebben op de kelder.

Diagonale trillingen kunnen effect hebben op de kelder vloer en kelder wanden. Hiervoor hoeft de trillingsbron zich niet onder de kelder te bevinden. Bronnen die zich onder de kelder bevinden, hebben kans dat ze geen effect hebben op de kelder.

- BG-vloer op zand:

- reageert wel op verticale trillingen die zich onder het huis bevinden. De trillingen die zich door het zand verticaal omhoog verplaatsen zullen direct uit komen in de begane grond vloer van het gebouw.

- reageert niet op horizontale trillingen, tenzij ze zich net onder het maaiveld bevinden.

- reageert op diagonale trillingen. Hiervoor hoeft de trillingsbron zich niet onder de vloer te bevinden. Bronnen die zich langs de vloerrand bevinden kunnen zich diagonaal naar de vloer verplaatsen.

- BG-vloer boven een kruipruimte

- reageert niet direct op verticale trillingen. De trillingen zullen zich niet door de kruipruimte voortplanten naar de begane grond vloer. Indirect kunnen ze wel effect hebben op de begane grond vloer. De trillingen planten zich via de fundering voor naar de vloer. In deze situatie zal de trilling verder uitgedempt zijn dan wanneer ze vanuit de bodem direct contact met de vloer hebben.

- reageert niet direct op horizontale trillingen. Ook bij deze trillingen zullen de funderingen ze door geven aan de vloer. De funderingen zullen vaker horizontale trillingen absorberen dan verticale trillingen, daarom ziet men vaker verticale scheuren in de gevel, dan horizontale. (zie hoofdstuk 4)

- reageert niet op diagonale trillingen worden net als verticale en horizontale trillingen via de fundering aan de vloer doorgegevens. De kruipruimte geeft geen trillingen door.

### 3.2. Typische eerste scheuren

Eerste scheuren zullen op twee belangrijk plekken in een gebouw ontstaan;

- Onderin het gebouw.

- De zwakke plekken, in de constructie.

Onderin het gebouw (Fig. 3.1)

In veel praktijkvoorbeelden zullen kleine scheuren in de onderste bouwstenen ten opzichte van het maaiveld ontstaan. In deze situatie zal niet de ingeklinkte bodem de oorzaak zijn, maar de trillingen die net onder of boven het maaiveld in de eerste gevelstenen uitdempen of juist verder in het gebouw doorzetten. De trillingen die de gevel bereikt hebben kunnen zich bij aankomst voort gaan planten in het gebouw, in de gevel (naar boven) of in de fundering. (naar beneden)

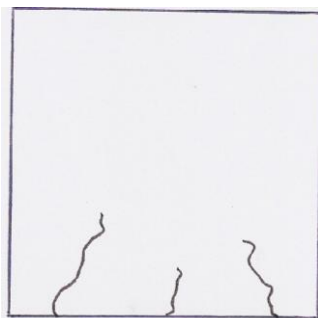


Fig. 3.1. Scheuren onderin het gebouw

De zwakke plekken in de constructie.

De meest zwakke plakken in de constructie zijn gevelopeningen (Fig. 3.2) en penanten. Hier zal de eerste schade optreden ten gevolge van trek. In de gevelopeningen hebben de scheuren de meeste kans om een begin te maken. Neem als voorbeeld een vel papier. Wanneer men een gat in het papier maakt en men gaat er aan beide kanten aan trekken, zullen de scheuren in de hoeken van het gat ontstaan. Dus wanneer er trek in een gevelopening ontstaat zullen scheuren in de hoeken ontstaan. Wanneer men aan een vel papier zonder gaten gaat trekken, is er meer kracht nodig wil er een eerste scheur ontstaan. Vandaar dat de scheuren op een gesloten wand vaak klein zijn, wanneer ze onderaan de gevel beginnen.

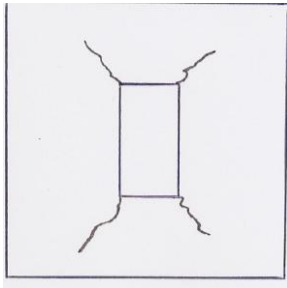


Fig. 3.2. Gevelopening

Penanten zijn zwakke plekken in de constructie. Het zijn smalle stroken in de gevels die. Stroken zijn minder stijf dan geveloppervlakken. Ook hiervoor kan een voorbeeld met een vel papier gegeven worden. Wanneer men een vel papier heeft met losse stroken, en bovenin een gesloten geveloppervlak, zullen de eerste scheuren in de stroken ontstaan, wanneer er onderaan het papier getrokken wordt. De penanten zullen het als eerste begeven.

### 3.2. Scheuren in beweging

Scheuren zetten zich langzaam steeds verder uit, maar wanneer is de scheur niet meer in beweging? en hoe kan men dit constateren? Zo zijn er verschillende manieren om te onderzoeken of een scheur nog in beweging is of niet. Hier kan een lange termijn overheen gaan aangezien de meeste scheuren zich langzaam uitzetten. Dit kan als oorzaak hebben dat ook de inklinking in de bodem een langzaam proces is.

En zijn enkele manieren om vast te stellen of een scheur zich wel of niet verder uit zet;

- Men kan de scheur vol smeren met gips. Wanneer er scheurtjes in het gisp ontstaat kan men zeggen dat de scheur nog in beweging is. De gips komt vast te zitten aan het baksteen. Vervolgens zal hij zich bij te grote krachten net als de voeg gedragen.
- Men kan een scheurwijdte meter bevestigen. Hiermee kan men zien hoeveel een scheur op een bepaalde termijn is toegenomen. Dit doet men door het ene plaatje, met roostertje aan de ene kant van de scheur te bevestigen en het andere plaatje (met een rood kruis) aan de andere kant. (Fig. 3.3) Het rode kruis wordt precies op het horizontale en verticale 0-lijn gezet. Wanneer de scheur uit gaat zetten zullen de plaatjes van elkaar af schuiven en ziet men in het roostertje welke kant en hoeveel de rode lijn op het over plaatje is verschoven.

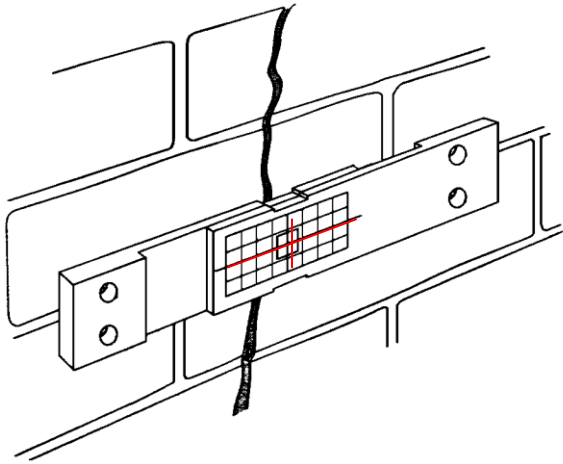


Fig. 3.3. Scheurwijdte meter

Wanneer men heeft vast gesteld dat de scheur nog werkt moet hier rekening mee worden gehouden bij het herstel. (zie 6.0. Hoe kan men schade herstellen?)

## 4.0. Scheuren vertellen

### 4.1. Gedrag van een scheur.

Scheurvorming is een gevolg van verzakkingen van de fundering, maar scheurvorming kan ook verwijzen naar de verzakking van de fundering. Scheuren vormen een bron van informatie over de soort verzakking die heeft plaats gevonden. De afmeting, vorm, helling, en ontwikkeling van de scheuren in draagmuren en vloeren verschaft belangrijke informatie om conclusies te trekken met betrekking tot de verzakking en de soort, richting en sterkte van de trilling. Elk constructiemateriaal heeft een elasticiteitsfactor. Dit stelt ze in staat zich tot op zekere hoogte zonder schade aan te passen aan een geringe inklinking of trilling. De inklinking van de bodem heeft invloed op de schade op het gebouw. Wanneer een te grote inklinking plaats vind, kan de constructie de krachten niet langer absorberen en is er kans op scheurvorming. Scheuren ontstaan in eerste instantie op de plekken die de minste weerstand bieden. Vervolgens verspreiden ze zich naar andere delen van het gebouw, zodat op een bepaald moment blijvende verzwakking van de draagconstructie wordt veroorzaakt. De elasticiteit is weg uit het constructiemateriaal. Een constructie kan een aanzienlijke zetting opvangen, maar zodra de eerste scheur eenmaal is opgetreden, ontstaan er andere situaties. De scheur gaat zich gedragen als een dilatatie voeg. Het idee van een dilatatie voeg is het opvangen van vervormingen. Aangezien het constructiemateriaal hier niet op is gemaakt zullen de scheuren groter, breder, dieper en langer worden wanneer de zetting aan blijft houden.

Trillingen kunnen een oorzaak zijn van inklinking, negatieve kleef of andere veranderingen van de bodem veroorzaken, zoals het schuiven van bodemlagen over elkaar. Het effect wordt sterker wanneer de bron van de grondtrillingen wordt gecombineerd met andere trillingsbronnen. (Fig. 4.1) Zoals auto's die langs beide kanten van een gebouw rijden. Naarmate de bronnen sterker zijn zullen de trillingen op een grotere afstand merkbaar zijn, omdat het langer duurt voordat ze uitgedempt zijn.



Fig. 4.1. Gecombineerde grondtrillingen

### 4.2. Wat vertellen de scheuren?

Scheuren zeggen iets over de trillingsbron. De breedte van de scheur kan al veel informatie verschaffen. Er kan gezegd worden dat een horizontale beweging heeft plaats gevonden, wanneer de verticale delen van een scheur groter zijn dan de horizontale delen. Andersom heeft er een verticale beweging plaats gevonden als de horizontale delen van de scheur groter zijn dan de verticale delen. (Fig. 4.2) Bij grondtrillingen zullen er daarom vaak verticale scheuren in de gevel te vinden zijn, omdat de bodem horizontaal het heftigste trilt.

Verder is daar waar de scheurbreedte het grootst is, zijn de krachten het grootst. Dus waar de meeste krachten op de constructie staan zal de scheur het grootst zijn en al dan niet een scheur veroorzaken.

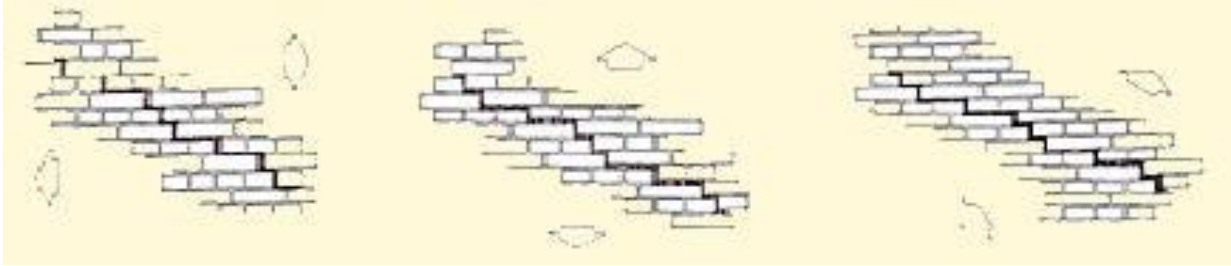


Fig. 4.2. Verticale, horizontale en diagonale trillingen, veroorzaken respectievelijk horizontale, verticale en diagonale scheuren in de gevel.

Scheuren die ontstaan ten gevolge van inklinking van de bodem, kunnen tot op zekere hoogte herkend worden in de wand. Ze lopen over het algemeen schuin ten opzichte van de gevelopeningen open van boven naar beneden, vaak onder een hoek van 45°. Enkele voorbeelden van scheurvorming in een gemetselde wand, laten zien hoe men de oorzaken van scheuren kan herkennen. Scheuren ten gevolge van inklinking van de bodem zullen met name vanuit de hoeken van de sparingen schade veroorzaken. (Fig.4.3.a.) Scheuren ten gevolge van de temperatuur deze zullen met name aan de Zuid-West gevel optreden, omdat daar de meeste zon op staat. En dus de grootste temperatuurveranderingen optreden ten opzicht van een warme zomer dag en een koele nacht. (Fig. 4.3.b.) Scheuren ten gevolge van sparingen, zullen optreden daar waar de trekkracht maximaal is. Ten gevolge van doorbuiging zullen de trek- en drukkrachten midden boven de sparing het grootste zijn. (Fig. 4.3.c)

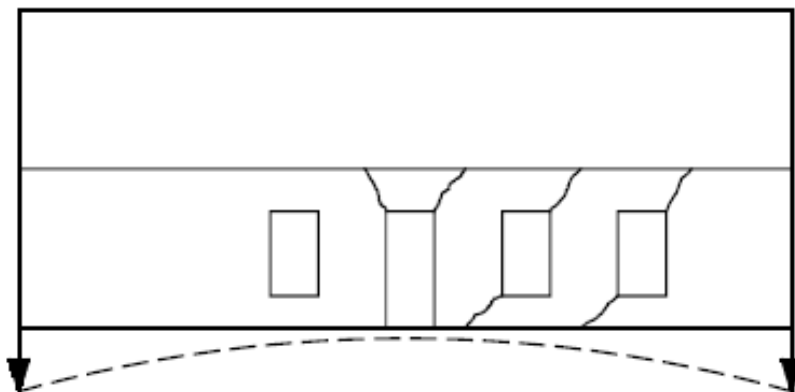


Fig. 4.3.a. Scheuren ten gevolge van inklinking van de bodem

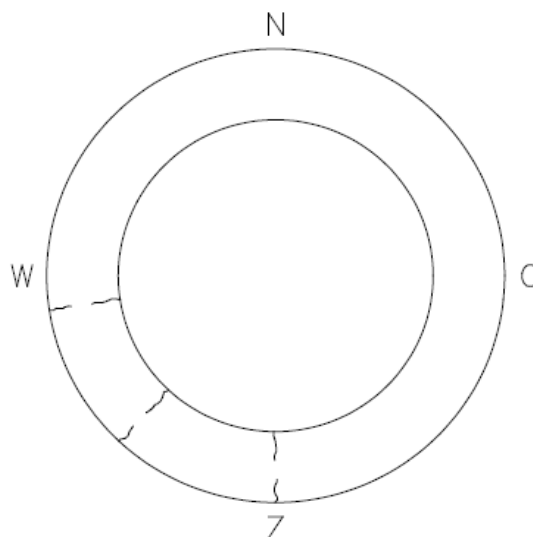


Fig. 4.3.b. Scheuren ten gevolge van de temperatuur

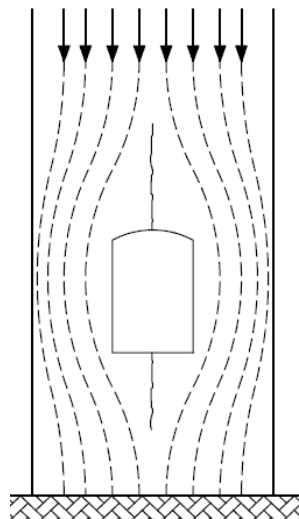


Fig. 4.3.c. Scheuren ten gevolge van sparingen

Trillingsschade wordt herkent aan de gesloten scheuren in het pleisterwerk of metselwerk. Vrij weinig in de draagconstructie. Ze zijn te herkennen aan open gesprongen naden langs plafonds en kozijnen en vaak ter plaatsen van hoeken kozijnen.

## 5.0. Voorkomen van schade

### 5.1. Bodemverdichting.

Zoals is gebleken, zal in veel gevallen de bodem zakken ten gevolge van trillingen. In deze situatie is de bodem niet bestand tegen deze trillingen in combinatie met het gewicht van het gebouw. Wanneer een pand wordt gebouwd dient de fundering op de eerste draagkrachtige laag gezet te worden. Bij fundering op staal zal de bodem eerst bewerkt moeten worden. Wanneer deze niet voldoende bewerkt is en de aannemer niet op de hoogte is van de poreusheid van de bodem, wordt de kans voor inklinking ten gevolge van trillingen groter. Bij fundering op palen is de kans op negatieve kleef om dezelfde reden aan de orde. In de meeste gevallen zullen de dieper gelegen lagen minder poreus zijn, omdat ze al jaren een groot gewicht aan bovenliggende lagen moeten dragen. Hierdoor zijn deze bodemlagen voor een groot deel in elkaar geduwd. Voordat de fundering op staal wordt geplaatst dient de bodem goed bewerkt te worden zodat er een draagkrachtige laag ontstaat waaruit de poriën zijn verwijderd. Op deze manier zullen geen onaangename verrassingen bij eventuele grondtrillingen optreden. Dit zal ervoor zorgen dat er geen zetting op zal treden. Het is een preventieve maatregel die de gevolgschade op langere termijn kan voorkomen.

### 5.2. Elastische mortel

In oude gebouwen wordt een mortel toegepast die een grotere elastische werking heeft dan de mortel van tegenwoordig. Wanneer er een mortel wordt toegepast die net iets elastischer is dan de mortel van vroeger, kan men die toe passen bij herstelwerkzaamheden en nieuwbouw. Deze mortel zorgt ervoor dat een gemetselde wand meer trekkrachten op kan vangen. De mortel dient niet te elastisch te zijn, anders zal de mortel van de steen af worden getrokken of er zullen scheuren in de stenen ontstaan.

### 5.3. Veren

Een voorbeeld van een preventiemogelijkheid met veren. Het appartementencomplex "Villa Mes" te Wijchen, heeft 4 verdiepingen en staat direct langs spoorlijn Nijmegen-Den Bosch. De bodem wordt door passerende goederentreinen in trilling gebracht. Om de hinder van de trillingen op het gebouw te voorkomen is gekozen voor het aanbrengen van stalen veren tussen de parkeerkelder en de woningen. De parkeerkelder wordt ter plaatse van de bouwmuren overspannen door grote betonbalken. De bovenzijde van de balk is voorzien van grote hoeveelheden veren waarop de breedplaatvloeren zijn geplaatst. (Fig. 4) De breedplaatvloer (300 mm) is in één keer gestort en fungeert als schijf. De gemetselde kopgevels zijn met geveldragers aan de bovenbouw gehangen. De veren kunnen per stuk 13 kN dragen. (Fig. 5.1)

Berekeningen toonden aan dat de betonnen balken van 1200 mm breed over de volledige lengte en over een breedte van 1000 mm vol gezet moesten worden met veren. De veren worden geplaatst op de beton balken. (Fig. 5.2 en 5.3)



Fig. 5.1. Veren tussen de balken en vloerplaten.



Fig. 5.2. Veren kunnen per stuk 13 kN dragen

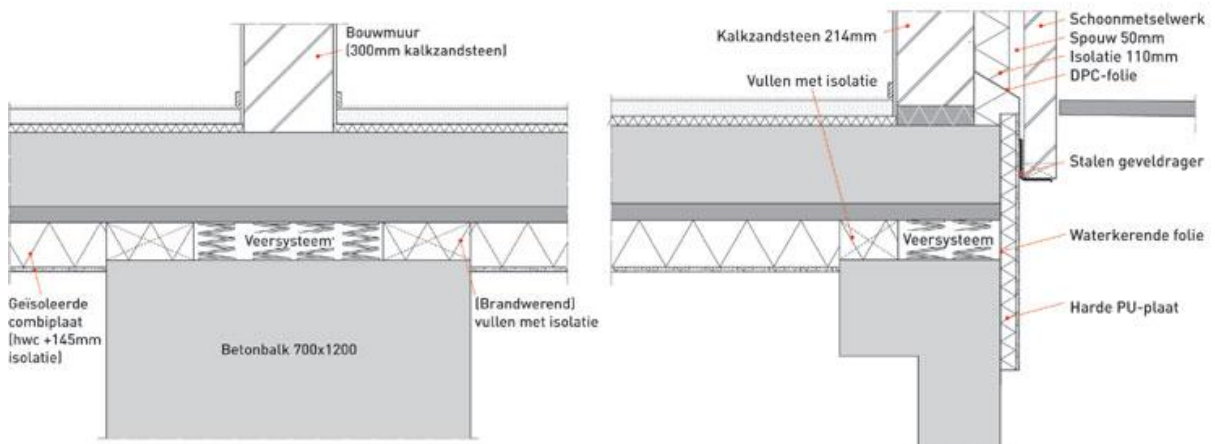


Fig. 5.3. Veren op stalen platen

De bovenplaat heeft aan de bovenzijde een rubber mat waarop de breedplaatvloer zonder verdere verankering wordt opgelegd. Een extra doekconstructie zorgt voor het opvangen van eventueel optredende horizontale krachten. In totaal zijn ruim 5000 veren gebruikt die bij plaatsing een hoogte van 170 mm hebben. Daarvan blijft bij volledige belasting 120 mm over en resteert er nog 20 mm veerruimte. Behalve op de bouwmuren zijn ook lokaal veren aangebracht op de lijn van de achtergevel. Dit vanwege puntbelasting van kolommen onder de balkons. Buiten de voorgevel zijn veerconstructies gemaakt voor de kolommen van de galerijen. (Fig. 5.4)

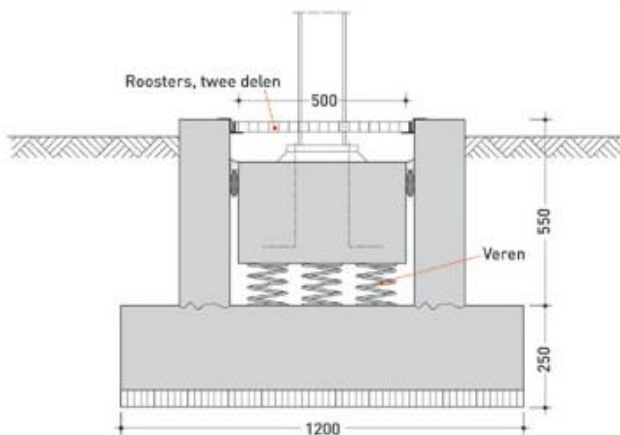


Fig. 5.4. Poeren ter plaatse van galerijen

Voordelen;

- Versoepelt de starre oplegging, hierdoor kunnen ze bewegingen van de trillingen opvangen.
- Niet zichtbaar na de oplevering.
- Voorkomt onnodige schade aan het gebouw.

Nadelen

- Inklinkende bodem kan niet opgevangen worden
- Duur, er moeten veel veren toegepast worden om schade in een appartementen complex te voorkomen. 13kN per veer is relatief weinig.

#### 5.4. Matten en zware fundering

Een voorbeeld bij het toepassen van matten en zware fundering. Woningbouwproject het Eemstroom ligt 15 m langs een spoorlijn. Matten en een zware fundering zijn een oplossing tegen trillingoverlast. Het werd een fundering op staal in plaats van fundering op palen. Een funderingsvloer onder de funderingsbalk verzwakt en verstijft de fundering.

Funderingsbalken en -sloven van alle woningen worden gekoppeld. (Fig. 5.5 en 5.6)  
Hierdoor gedragen de funderingen zich als een geheel met grotere afmetingen dan de golflengte van de trillingen. (Fig. 5.7.a/b)



Fig. 5.5. Funderingsvloer



Fig. 5.6. Matten

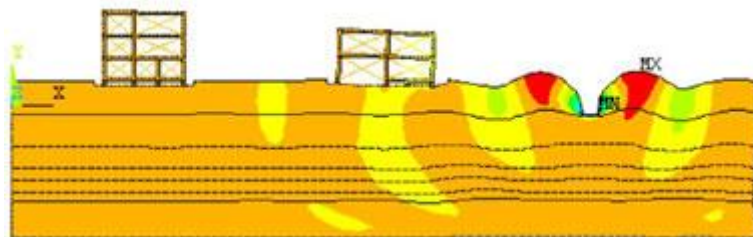


Fig. 5.7.a. Zonder trillingsisolatie.

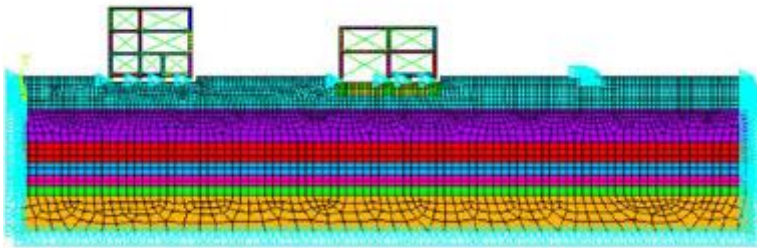


Fig. 5.7.b. Met trillingsisolatie.

De matten liggen in blokjes van 40 x 40 cm op de funderingsbalk. De tussenruimte is opgevuld met steenwol.

Door de grote afmetingen van de funderingssloof (1200 x 1000 mm) komen de onderzijde van de funderingssloof op draagkrachtige grond te liggen en zijn de funderingspalen overbodig. Een fundering op palen wordt op deze manier een fundering op staal. (Fig. 5.8)

De sloof is ongewapend en heeft betonkwaliteit B15. De funderingsbalk (B25, 400 x 470 mm) krijgt standaardwapening.

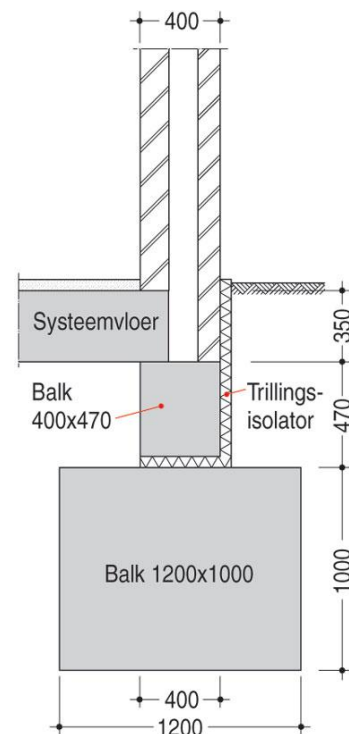


Fig. 5.8. Funderingdetail

Voordelen;

- Niet zichtbaar na de oplevering.
- Het weglaten van de funderingspalen levert een kostenbesparing op.
- Voorkomt onnodige schade aan het gebouw.
- Kortere bouwtijd door het weglaten van de funderingspalen.

Nadelen;

- De extra kosten bedragen in dit voorbeeld € 10.400 per woning.

## 5.5. Dilatatie

Voorkomt dat metselwerk een trekkracht te verwerken krijgt. Wanneer de bodem in klinkt ten gevolge van een trilling moet men ervoor zorgen dat het metselwerk geen trekkracht te op hoeft te vangen. Dit kan men bereiken door een groot aantal dilatatievoegen toe te passen. Beter te veel dan te weinig. Hierdoor zal het metselwerk tot op een zekere hoogte uit elkaar worden getrokken ten gevolge van de onvoorspelbare krachten. Dit komt overeen met preventie maatregel, 4.2. Elastische mortel. In deze situatie vallen de voegen meer op, aangezien ze uit een ander materiaal bestaat.

Voordelen:

- Voorkomt onnodige schade

Nadelen:

- Langere bouwtijd
- Vermindering van de esthetische kwaliteit van de muur
- Relatief dure oplossing
- Zichtbaar na de oplevering, dit hoeft geen nadeel te zijn wat betreft esthetica.

## 5.6. Dempers

Dempers worden met name in wolkenkrabbers toegepast (Anti Vibration Technologie zie Fig. 5.9). Wolkenkrabbers kunnen in de top ten gevolge van trilling tot een meter aan beide kanten uitwijken. Deze uitwijkingen ontstaan door wind, maar ook aardbevingen dus grondtrillingen. In Nederland zijn wolkenkrabbers en aardbevingen haast niet van toepassing. Toch is het de moeite om deze erbij te zetten. Deze constructie kan in Nederland eventueel op een kleine schaal toegepast worden, in risico gebieden als Zuid-Limburg en Groningen. De hoge frequentie die bovenin een wolkenkrabber kan ontstaan, nemen risico's als schade en instorting gevaar met zich mee.

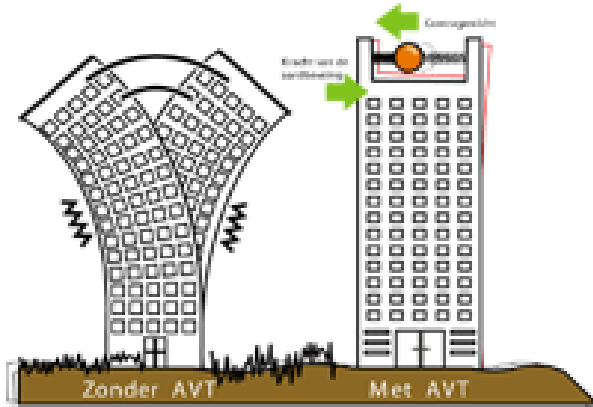


Fig. 5.9. Anti Vibration Technologie (AVT)

De werking van de dempers is als volgt.

Er zijn 3 soorten dempers:

- Passieve demper
- Actieve demper
- Semi-actieve demper

Een passieve demper. Deze dempers hebben geen stuursysteem nodig. Ze werken constant en vereist geen energie. Dit heeft voordelen én nadelen. Het voordeel is dat je er niet naar om hoeft te kijken. Het nadeel is dat je ze niet aan kan passen aan de omstandigheden. (Fig. 5.10) Dit is een buis met daarin een vloeistof. Als het gebouw in beweging komt, vervormd de staalconstructie. Door deze vervorming wordt de schokbreker ingedruwd en die houdt de beweging dan tegen. Natuurlijk moeten er wel méér dan eentje in een gebouw zitten.

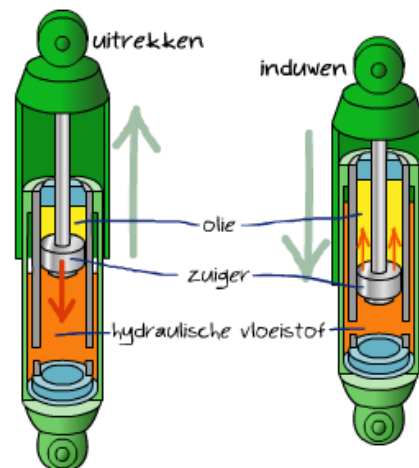


Fig. 5.10. Passieve demper

Een andere soort passieve demper. (Fig. 5.11) Hij bestaat uit afwisselend rubberen en metalen platen. Deze worden dan in de kelder van het gebouw in de fundering verwerkt. Als er een aardbeving is, beweegt de grond onder het gebouw. Maar door de flexibele rubberen platen kan de grond "onafhankelijk" bewegen van het gebouw en hef je een heel groot deel van de trillingen op. Deze is het meest interessant in dit onderzoek, aangezien deze demper het tegen de grondtrillingen op neemt.



Fig. 5.11. Passieve demper



Een semi-actieve demper. (Fig. 5.12) Het doel van deze dempers is de trilling van het gebouw op te heffen. Dit gebeurt door tegen de trilling van het gebouw in te bewegen. Het is een groot gewicht dat bovenin het gebouw hangt en onafhankelijk kan bewegen van de constructie. Als sensoren een trilling oppikken wordt dit blok of deze bol in beweging gebracht, meestal door hydraulische armen. Deze beweging gaat dan precies tegen de beweging van het gebouw in. (Fig. 5.13) De zwaarste TMD (Tuned Mass Demper) hangt nu in de Taipei 101. Het is een bol van 730 ton metaal en beton!

Fig. 5.12. Semi-actieve demper.

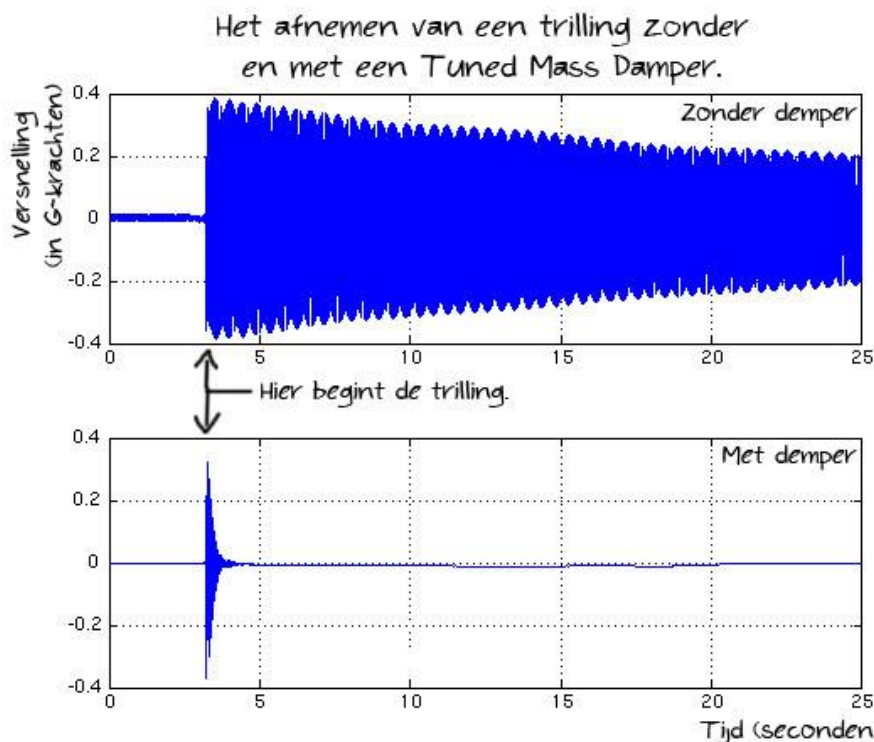


Fig. 5.13. Het gewicht gaat tegen het gebouw in, en creëert evenwicht.

Een actieve demper manipuleert het gebouw letterlijk. De nadelen van deze demper is dat hij erg duur is en veel energie nodig hebben. Om deze redenen worden ze in mindere mate toegepast. Een voordeel is dat deze demper aangepast kan worden aan de situatie. Bijvoorbeeld naar de sterkte van de trillingen.

### 5.7. Juiste materialen toepassen

Door op de juiste plaatsen de juiste materialen toe te passen, kan men overal in het gebouw de beste weerstand bieden. Staal kan de trekkrachten opvangen, metselwerk of beton de drukkrachten. Wanneer een juist evenwicht in de materiaal toepassingen gevonden kan worden, is een gebouw optimaal beschermd tegen trillingschade. Deze maatregel wordt ook vaak toegepast bij het ontwerpen van bruggen.

### **5.8. Palen boren en damwanden trillen**

Om trillingschade ten gevolge van het plaatsen van paalfunderingen te voorkomen zal men de fundering moeten boren. Zie 3. Constructie 3.3. Funderingsmethoden zonder trillingen. Bij damwanden zal men ze in de bodem moeten duwen in plaats van trillen.

### **5.9. Indelen in zones**

Door het gebouw in te delen in constructief onafhankelijke zones wordt per zone een onafhankelijk gebouw gecreëerd. Elk onderdeel steunt op een fundering onafhankelijk van elkaar. Een belangrijk voordeel hiervan is wanneer een deel van het gebouw gaat zakken ten gevolge van grondtrillingen, zullen de ontstane negatieve krachten geen effect hebben op de rest van het gebouw.

## 6.0. Herstellen van schade

Bij de keuze van een herstmethode is het van belang dat eerst de oorzaak van de schade wordt vastgesteld. Pas nadat de oorzaak is weggenomen, kan duurzaam scheurherstel plaatsvinden. Scheuren in metselwerk worden in allemaal veroorzaakt door trekspanningen die te groot zijn om door de elasticiteit van het metselwerk opgevangen te worden. De redenen hiervoor kunnen verschillend van aard zijn. In veel gevallen zijn de oorzaken gecompliceerd, omdat er sprake is van een samenloop van diverse omstandigheden en factoren. Men kan pas gaan herstellen wanneer men zeker weet dat de scheur enigszins gestabiliseerd is, zodat er geen verering van de situatie op zal treden.

### 6.1. Herstelmogelijkheden

#### 1. Bodem aanpakken tegen zetting.

Doordat er te veel poriën in de draagkrachtige laag onder het huis zitten, zal de grond gaan inklinken. Deze bodem laag zal vanaf de zijkant ingedrukt en direct opgevuld moeten worden met zand. Op deze manier worden de poriën in het bodemmateriaal onder het huis verwijderd. Tijdens deze bewerking zal het huis ondersteund moeten worden.

#### 2. Helibar ([www.helibar.nl](http://www.helibar.nl))

Helibar is een methode om niet alleen de scheur te verbergen, maar de muur ook extra constructief sterk te maken. Helibar wordt op de volgende manier toegepast;

1. De scheur voor het aanbrengen van de Helibar
2. Met een sleuvenfrees wordt ter hoogte van de scheur enkele voegen uit de gevel gefreesd.
3. De voeg wordt schoon gespoeld met water
4. Vervolgens wordt een krimpvrrije mortel aan te gebracht.
5. Op de krimpvrrije mortel kan de Helibar zich tot op 4 tot 7 centimeter afstand uit de sleuf gaan hechten.
6. Om het geheel muurvast te lijmen wordt de staaf afgedekt met een tweede laag mortel. De scheur wordt met een gekleurde mortel gerepareerd. Vervolgens wordt de behandelde voeg door een gespecialiseerd voegbedrijf in de juiste kleur afgewerkt.



1



2



3



4



5



6

Dankzij de wokkelvorm in de staaf wordt hij bij het inbrengen direct verankerd tussen de stenen. Daarom wordt buiten de mortel geen lijm gebruikt. Er ontstaat een soort verende wapening in de bakstenen gevel, waardoor de gevels elastisch blijft. Het principe is berust op de wapening in beton. De staven vangen net als in beton de trekkrachten op, waardoor het metselwerk onbeschadigd blijft.

Voordelen;

- De gevel blijft elastisch
- De Helibar wordt van buitenaf aangebracht waardoor plafonds en stucwerk niet verloren gaat.
- De frees is voorzien van een goede afzuiging waardoor niet veel stof vrij komt.

Nadelen;

- Kleurveranderingen van de mortel op langere termijn. (Fig. 6.1)



Fig. 6.1. Kleurverandering in de muur na herstel scheur

### 3. *R drie BV* ([www.Rdrie.nl](http://www.Rdrie.nl))

De scheur wordt geïnjecteerd en gestabiliseerd met minerale mortels. Hierna wordt de baksteen met tussenliggend voegwerk in kleur, vorm, oppervlaktestructuur, conform het origineel nageemaakt. (Fig. 6.2 en 6.3)

Voordelen;

- Kleurvast
- Elastisch

Nadelen;

- Constructief niet sterkt genoeg tegen eventuele nieuwe trekkrachten



Fig. 6.2. Hydraulische injectiemortel



Fig. 6.3. Modeleren, aangepaste hydraulische mortel

#### 4. Fundering opnieuw aanbrengen

Men kan de oude fundering vervangen door een nieuwe fundering aan te brengen. Dit wil niet zeggen dat de oude fundering eerste verwijderd moet worden. Maar het is eventueel nodig dat de paal dieper in de grond worden angebracht, zodat de positieve kleef de negatieve kleef op kan heffen. Een voorbeeld van een fundering op palen, is zoals in 3. Constructie, 3.1.1. Funderingsmethoden zonder trillingen, wordt beschreven, de stalen buispaal. (Fig. 6.4) Dit is een paal die vaak toegepast wordt bij heiwerk binnen een bestaand gebouw. De paal wordt opgebouwd uit ter plaatsen aan elkaar gelaste stalen buiselementen, aangezien een meters lange funderingspaal in de meeste gevallen niet in het gebouw past. In het eerste buiselement bevindt zich een grindprop. Op deze grindprop valt een heiblok, waarbij de buis zelf als geleiding voor het blok dient. Wanneer de buis op diepte is, wordt hij afgesneden op de juiste hoogte en gevuld met beton. Dit is een methode die haast geen trillingen veroorzaakt, omdat de grond onder de funderingspaal weg wordt gedrukt en niet in wordt de drukt.

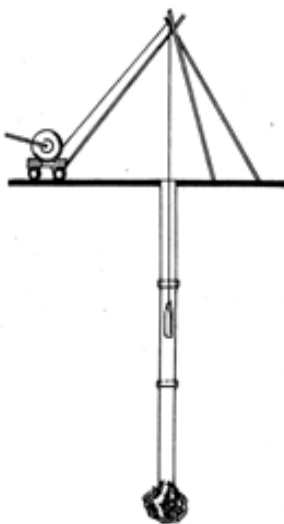


Fig. 6.4. Stalen buispaal.

## 6.2. Voorbeelden

Oorzaak;

Naar gelang de aard van de aanwezige grondsoorten in de bodem treden reacties en bewegingen op. Zo zal een veenlaag onder het gewicht van de constructie samengedrukt worden tot een dunnere laag. Andere grondsoorten kunnen onder invloed van de druk van het gebouw weggeperst worden. Wanneer de fundering van een gebouw op verschillende grondsoorten rust, kunnen ongelijkmatige zettingen optreden.

Herstel;

Verzakkingen en scheefstanden zijn niet altijd schadelijk, dus is het belangrijk om van te voren goed te bedenken of herstel noodzakelijk is. Bij voorkeur eerst afwachten tot de scheur stabiel is.

Wanneer de constructie voldoende stijf is kan ze door speciale technieken, zoals vijzel onder de fundering, weer op niveau worden gebracht.

Wanneer de fundering niet voldoende stijf is, kan men eventueel de fundering verbeteren.

Herstelkosten in euro's per m<sup>1</sup>

Regio	Binnenstedelijk gebied	Stedelijk gebied	Buitengebied
Midden	477	440	397
Noord	443	418	392
Oost	474	414	384
Zuid	446	416	387
West	603	461	431

Literatuur Fundering van huizen (1983) WTBC-Technische Voorlichtingsnota 147 Opgesteld door WTBC

**Schade;**

### **Scheuren in een constructie**

Oorzaak;

Doordat de fundering op staal zich op verschillende niveaus bevindt, worden de belastingen naar verschillende grondlagen overgebracht, die andere eigenschappen kunnen hebben. Hierdoor kan een verschil in zetting ontstaan, wat tot spanningen in de constructie zal leiden. Wanneer hierbij de materiaalsterkte wordt overschreden ontstaan scheuren.

Herstel;

Alvorens tot een ingreep over te gaan, nagaan of herstel opweegt tegen de kosten daarvan. Het gaat immers om moeilijke en dure ingrepen. Herstelmaatregelen bij voorkeur na stabilisatie treffen. Een extra fundering aanbrengen indien stabilisatie uit blijft.

Herstelkosten in euro's per m<sup>1</sup>

Regio	Binnenstedelijk gebied	Stedelijk gebied	Buitengebied
Midden	107	99	89
Noord	100	94	88
Oost	107	93	86
Zuid	100	94	87
West	136	104	97

**Schade;**

### **Scheurvorming in begane grond vloer**

Plaats gebrek;

Op zand gestorte begane grond vloer treedt scheurvorming op

Kenmerken;

Betonnen begane grond vloer toont scheuren en buigt door.  
Onlangs is op het belendende perceel heiwerkzaamheden uitgevoerd

Oorzaak;

Het heiwerk heeft trillingen veroorzaakt, waardoor het zandpakket onder de betonnen begane grond vloer is ingeklonken. De vloer heeft hierdoor zijn ondersteuning verloren en is vrijdragend geworden. Dit heeft geleid tot trekspanningen waartegen de vloer niet bestand was.

Herstel;

Herstel de ondersteuning van de vloer door de holle ruimte volledig op te vullen door het injecteren van schuimbeton of PUR-schuim

Preventie;

Voorkom trillingen of tracht deze tot een minimum te beperken  
Regelmatig controleren/inspecteren of zandpakket niet inklinkt  
En/of vloer vrijhouden van de wanden  
En/of de vloer ontwerpen / dimensioneren op trekspanningen.

Herstelkosten in euro's per m<sup>3</sup>

Regio	Binnenstedelijk gebied	Stedelijk gebied	Buitengebied
Midden	173	159	144
Noord	161	151	142
Oost	172	150	139
Zuid	161	151	140
West	218	167	156

Herstelkosten zijn gegeven voor het compleet herstellen. Alle bedragen zijn inclusief loon, materiaal, hulpmiddelen, exclusief container-, stort- en staarkosten en BTW.

**Schade;**

**Verstopping binnen riolering**

Plaats van gebrek;  
Diverse opstelpunten sanitair

Kenmerken;

Afvoer sanitair voldoet niet  
Optrekkend vocht in wanden begane grond  
Begane grond vloer is gestort op een draagkrachtig zandpakket  
Binnenriolering is aangebracht in zandpakket  
Sloop- en heiwerkzaamheden in directe omgeving

Oorzaak;

Het sloop- en heiwerk op een naburig perceel heeft trillingen veroorzaakt als gevolg waarvan het zandpakket onder de begane grond vloer is ingeklonken. Ook de binnenriolering is verzakt met rioleringen van de doorvoer in de bouwmuur. Hierdoor zijn spanningen ontstaan in de rioolleiding met breuk als gevolg. Het rioolwater sijbelt weg in het zandpakket en wordt als optrekkend vocht zichtbaar.

Herstel;

Herstel van rioolleiding. De nieuwe leiding ophangen aan de wanden en/of vloeren om plaatselijke verzakkingen te voorkomen.

Preventie;

Voorkom plaatselijke verzakkingen van de rioolleiding door deze te bevestigen aan vloeren en wanden. Bevestiging kan bijvoorbeeld plaatsvinden door middel van banden hart op hart, maximaal 2 meter.

Herstelkosten in euro's per m<sup>3</sup>

Regio	Binnenstedelijk gebied	Stedelijk gebied	Buitengebied
Midden	55	51	46
Noord	51	49	46
Oost	55	48	45
Zuid	52	48	45
West	70	54	50

Herstelkosten zijn gegeven voor het compleet herstellen. Alle bedragen zijn inclusief loon, materiaal, hulpmiddelen, exclusief container-, stort- en staartkosten en BTW.