



NEN

Position Paper December 2017

Beperking schade door aardbevingen in Noord Oost Nederland

Normalisatie: de wereld op één lijn.

Voorwoord

In de provincie Groningen is veel schade aan bestaande gebouwen ontstaan doordat deze werden belast door een seismische belasting, waarop zij niet waren ontworpen. Inmiddels is de NPR 9998 gepubliceerd, waarin wordt aangegeven welke seismische belastingen op welke locatie en met welke waarschijnlijkheid kunnen optreden. Op deze wijze is het mogelijk geworden de kans op bezwijken van gebouwen in de regio vast te stellen. Bij het ontwerpen van nieuwe gebouwen kunnen deze belastingen als uitgangspunt worden genomen. Bij bestaande gebouwen kan worden nagegaan of de constructie aan de eisen van constructieve veiligheid voldoet en of, en zo ja welke, maatregelen noodzakelijk zijn om aan de eisen ten aanzien van constructieve veiligheid te voldoen.

Inmiddels worden echter veel claims gelegd ten aanzien van geobserveerde schade aan gebouwen, toegeschreven aan aardbevingen, waarbij de constructieve veiligheid niet direct in het geding is. Het kan hierbij bijvoorbeeld gaan om scheuren in metselwerk, maar ook om schade aan niet-constructieve elementen, zoals de afwerking van wanden en plafonds.

De Nationaal Coördinator Groningen heeft daarom aan NEN gevraagd een adviesrapport te schrijven over de vraag "in hoeverre schadepreventie momenteel is opgenomen in de NPR". Daarbij betreft het een praktische toepassing van de NPR gerelateerd aan het voorkomen van schade.

NEN heeft daarop de taak op zich genomen om ten aanzien van deze vraagstelling een "Position paper" te schrijven. De taakgroep, die zich met deze taakstelling heeft beziggehouden, bestond uit de volgende personen:

Prof.dr.ir.Dr.h.c. J.C. Walraven (vz)

Dr.ir. C. P.W.Geurts, TNO

Prof.dr.ir. J.G. Rots, TUD

Dr.ir. N. P.M. Scholten, ERB

Ir. P. C. van Staalduinen (Van Staalduinen Management en Advies)

Ir. M. Lurvink, NEN

Het "Position paper" is vastgesteld door de NEN werkgroep 351 001 01 01 "Aardbevingen".

Inhoud

1	introdactie/probleemstelling	4
2	schade in metselwerk door aardbevingen en andere oorzaken	5
2.1	definitie van schade.....	5
2.2	herkennen van schadebeelden	5
2.3	schade optredend door niet-dynamische belasting	6
2.3.1	ongelijkmatige zettingen van het gebouw	6
2.3.2	temperatuureffecten	6
2.3.3	combinaties van materialen met verschillende uitzettingscoëfficiënt.....	8
2.3.4	drogings- of verhardingskrimp.....	8
2.3.5	foutieve detaillering van spouwankers	8
2.3.6	ontwerp- en uitvoeringsfouten	8
2.4	schade optredend door dynamische belasting	9
2.5	beoordeling van schadebeelden	10
3	indeling van schade in schadeklassen.....	10
3.1	classificatie van schade.....	10
3.2	schade door aardbevingen volgens de european macroseismic scale 1998	10
3.3	classificatie van schade aan metselwerk en ongewapend beton volgens bre (british research establishment) [2] voor voornamelijk niet-dynamische belasting.....	14
3.4	beoordeling van trillingen en de kans op schade volgens sbr richtlijn a	17
3.5	indeling in schadetypen volgens het cvw	18
4	rapportage van schade.....	19
5	schadepreventie in bouwnormen	21
6	overwegingen ten aanzien van schadepreventie bij het ontwerpen van nieuwe constructies....	22
7	duurzaam repareren van bestaande constructies	23
8	conclusies.....	25
9	aanbevelingen	26
10	referenties	28

1 Introductie/probleemstelling

De gaswinning in Groningen leidt tot beweging van de bodem. Enerzijds gaat het hierbij om een geleidelijke bodemdaling door volumevermindering van de bodem. Anderzijds treden aardbevingen op, veroorzaakt door plotselinge verschuivingen in de diepere ondergrond. Hierdoor ontstaan spanningen en krachten in de constructie die kunnen leiden tot verschijnselen als scheurvorming in wanden, verschuivingen, klemmen van deuren en ramen en het loslaten van bevestigingen. Dit soort verschijnselen kunnen leiden tot een gevoel van onveiligheid bij gebruikers/eigenaren van een gebouw, zelfs indien constructief in ruime mate aan de veiligheidseisen ten aanzien van instorting is voldaan. Uit een studie van de Rijksuniversiteit Groningen [7] komt naar voren dat bewoners ten gevolge van dit soort schades zelfs gezondheidsproblemen kunnen oplopen.

Een belangrijke vraag is wanneer een verschijnsel als “schade” mag worden geclassificeerd. Er is een grote kans dat een gebouw zich na verloop van tijd niet meer in de initiële conditie bevindt. Dit kan worden veroorzaakt door een veelheid van factoren die niet exact voorspelbaar zijn. Kleine schades worden daarom, althans buiten Groningen, als onoverkomelijk en niet hinderlijk gezien en worden geaccepteerd. De kans op grote schades, door diverse oorzaken, is daarentegen klein, maar een grote schade heeft meer consequenties, zoals kosten, noodzakelijk voor een reparatie. Als er kosten aan schadeherstel verbonden zijn is de logische vraag wie daarvoor verantwoordelijk is. Dit kan leiden tot een schadeclaim.

Bij het bouwen wordt uitgegaan van officieel vastgestelde normen. Als de bouwer zich hieraan onvoldoende houdt, en hierdoor schade ontstaat die de waarde van het gebouw vermindert (zoals door functieverlies of aangetast uiterlijk) is sprake van nalatigheid en kan hierop aangesproken worden. Als de schade te wijten is aan onverantwoordelijk gedrag van een derde partij kan deze hierop aangesproken worden. Het is ook mogelijk dat één type schade kan worden veroorzaakt door verschillende factoren. Dan moet, zo mogelijk, vastgesteld worden welke van deze factoren in het beschouwde geval maatgevend was.

De NPR 9998 richt zich vooral op het voorkomen van de grenstoestand Near Collapse en bezwijken van niet-seismische constructieve elementen. Uit de reacties van de bevolking in Groningen blijkt echter dat ook het ontstaan van schades aan gebouwen een verschijnsel is met een significant maatschappelijk belang. De vraag is daarom hoe hiermee moet worden omgegaan. Daarbij gaat het om schadepreventie bij nieuwbouw en versterking, en het vaststellen van de oorzaak van de schade in bestaande bouw. Een te rechtvaardigen vraag is daarom of in de NPR een op schadebeperking toegesneden grenstoestand moet worden ingevoerd, of dat schadepreventie op een andere manier moet worden aangepakt. In deze notitie wordt hierop ingegaan. Om deze vraag te kunnen beantwoorden komen de volgende zaken aan de orde:

- Welke soorten schade kunnen optreden in gebouwen, en wat is hiervan de oorzaak? Hierbij wordt vooral aandacht besteed aan gebouwen uitgevoerd in ongewapend metselwerk, waarvan er veel in Noord-Oost Nederland voorkomen.
- Zijn er voorbeelden van indeling van schade in schadeklassen ?
- Hoe wordt in bouwnormen omgegaan met het voorkomen van schade en tekortkomingen die de gebruikswaarde van het gebouw negatief beïnvloeden?
- Hoe wordt schade in schaderapporten vastgelegd ?
- Hoe kan schadepreventie bij nieuw te bouwen constructies worden vormgegeven en welke rol zou hierbij voor de NPR 9998 kunnen worden ingeruimd

- Hoe kan schadepreventie bij het repareren van bestaande, beschadigde gebouwen worden nagestreefd en ligt hier een rol voor de NPR?
- Samenvatting en conclusies

2 Schade in metselwerk door aardbevingen en andere oorzaken

2.1 Definitie van schade

Voor de definitie van schade kan worden aangesloten bij de huidige praktijk van het beoordelen van trillingsschade. Onderstaande beschrijving is overgenomen uit de SBR Richtlijn A "Schade aan bouwwerken door trillingen" (laatste uitgave 2010).

Onder schade aan een bouwwerk wordt verstaan een verandering van de eigenschappen of van de positie van (een onderdeel van) een bouwwerk verstaan, met één van de volgende gevolgen:

- a. Een verlies van functie, zoals het bezwijken van dragende onderdelen waardoor mogelijk de constructieve veiligheid in het geding komt;
- b. een vermindering van de integriteit van het onderdeel of van het bouwwerk als geheel met betrekking tot zijn dragende functie, waarbij sprake is van een significante vermindering van de veiligheid op de korte of langere termijn (vermindering van de verwachten levensduur);
- c. bezwijken van onderdelen van het bouwwerk die weliswaar niet tot de draagconstructie behoren (zoals niet-dragende scheidingswanden, plafonds, ornamenten en dergelijke), maar waarvan het bezwijken de veiligheid van personen die zich in of nabij het bouwwerk bevinden in gevaar brengt;
- d. een vermindering van de economische waarde of van de gebruikswaarde, zoals bij scheurvorming in metselwerk, bekledingen van constructiedelen, afwerkklagen of betegeling zonder dat daarbij de veiligheid van personen die zich in of nabij het bouwwerk bevinden, in gevaar komt.

Schade aan een bouwwerk kan de veiligheid en/of de levensduur van het bouwwerk beïnvloeden, of leiden tot een vermindering van de gebruikswaarde of de economische waarde van het bouwwerk. De bovengenoemde schadevormen *a*, *b* en *c* hebben invloed op de (constructieve) veiligheid van het gebouw en zijn daarom te beschouwen als constructieve schade. De schadevorm *d* heeft geen betrekking op de constructieve veiligheid van het gebouw en wordt daarom gezien als niet-constructieve schade. Het vergroten van bestaande schade valt ook aan te merken als schade.

2.2 Herkennen van schadebeelden

Schade kan optreden ten gevolge van een veelheid van factoren. Dit hoeft dus niet per definitie een aardbeving te zijn. Dit wordt toegelicht aan het voorbeeld van constructies in ongewapend metselwerk. Het overzicht is bedoeld als illustratie en heeft niet de intentie compleet te zijn. Verder wordt hoofdzakelijk schade aan constructieve elementen behandeld. Bedacht moet worden dat ook veel schademeldingen gerelateerd zijn aan niet-constructieve delen.

2.3 Schade optredend door niet-dynamische belasting

Scheuren in constructies ontstaan doordat optredende trekspanningen, die door verschillende oorzaken kunnen ontstaan, de treksterkte van het materiaal bereiken. In sommige materialen wordt op scheurvorming geanticipeerd door het aanbrengen van wapening (gewapend beton). Metselwerk in Nederland is daarentegen meestal ongewapend, waardoor minder, maar wel wijdere scheuren optreden. Vaak is er meer dan één oorzaak aan te wijzen voor het optreden van scheurvorming. In het volgende overzicht worden een aantal mogelijke oorzaken genoemd, waarbij metselwerk centraal staat. In figuren 1 a-i worden deze oorzaken in samenhang met de veroorzaakte scheurvorming geïllustreerd ([6] en [8]).

2.3.1 Ongelijkmatige zettingen van het gebouw

Alle bouwconstructies zijn onderhevig aan zettingen. Als deze gelijkmatig zijn gaat dit niet gepaard met spanningen. Wanneer echter een deel van het gebouw meer zakt dan de rest van het gebouw treden schuifspanningen op, en daardoor tevens trekspanningen in het metselwerk. Dit kan gebeuren als een deel van het gebouw zwaarder is dan de rest en daardoor dieper in de grond zakt. Ook is het mogelijk dat binnen een gebouw verschillende typen fundering worden gecombineerd (gedeeltelijk gefundeerd op staal, gedeeltelijk op palen). Zettingen treden al op tijdens de bouw, maar ook in de jaren daarna. Ongelijkmatige zettingen van een gebouw kunnen worden veroorzaakt door een verlaging of verhoging van de grondwaterstand, slechte afwatering van de grond rondom het gebouw, of zelfs een dicht in de buurt staande boom die eenzijdig water aan de grond onttrekt. Een andere oorzaak kan een plaatselijke grondophoging zijn, of een ontgraving bij het maken van een bouwput.

Vaak is de grond samengesteld uit verschillende grondsoorten, die van elkaar afwijken in eigenschappen, zoals samendrukbaarheid en waterdoorlatendheid. Hierdoor kunnen zelfs na vele jaren nog ongelijkmatige zettingen ontstaan die tot trekspanningen in het metselwerk en scheurvorming leiden. Soms worden sloten gedempt en daarbij aangevuld met aarde, die onvoldoende wordt verdicht. Ook hierdoor kunnen zettingsverschillen ontstaan.

Een andere reden voor ongelijkmatige zettingen kan liggen in een te ondiepe fundering, of materiaaldefecten die ontstaan gedurende het heien (zoals paalbreuk). Daarnaast kan sprake zijn van rot in houten palen of verlies van draagvermogen in metselwerk-funderingen door lange duur kruipvervorming. Ook kan de ondergrond plaatselijk zetten door trillingen.

2.3.2 Temperatureffecten

Metselwerkwanden zetten uit als de temperatuur stijgt en worden korter als de temperatuur daalt. Als deze vervormingen vrij kunnen optreden ontstaan geen trekspanningen. Dit kan worden bereikt door op niet al te grote afstanden dilatatievoegen aan te brengen. Zijn de afstanden te groot, of zijn in het geheel geen dilatatievoegen voorzien, dan kunnen de optredende trekspanningen tot scheuren leiden. Naast temperatureffecten kunnen ook vochtwisselingen tot vervormingen leiden. Deze hebben een soortgelijk effect als temperatuurvervormingen. Uitsluitende repareren van schade aan metselwerk die veroorzaakt is door temperatuurbewegingen heeft weinig zin, als de oorzaak van deze bewegingen (bijvoorbeeld door achteraf alsnog te dilateren) niet wordt weggenomen. Soortgelijke scheuren treden dan na korte of langere tijd toch weer op.

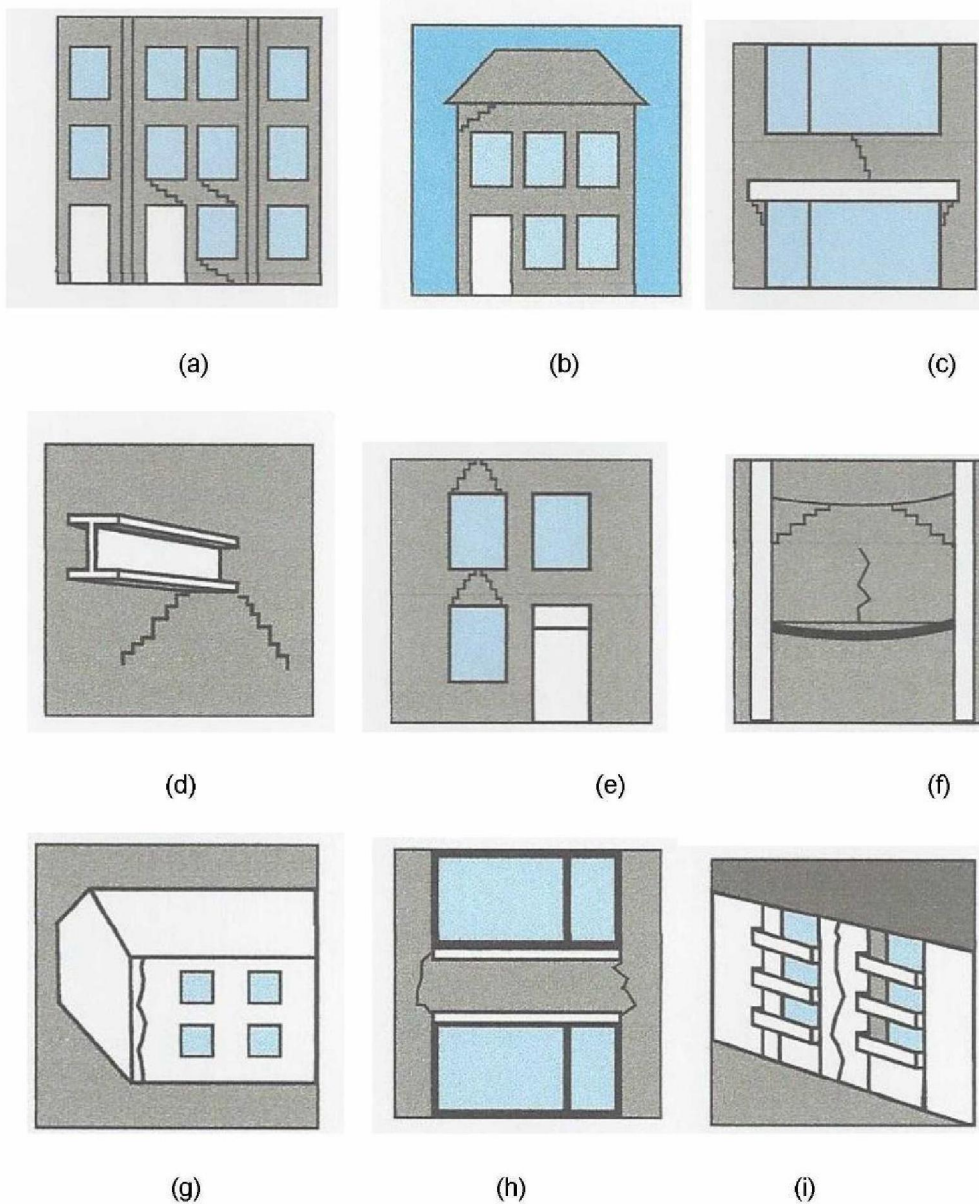


Fig. 1

- a. Scheurvorming door ongelijkmatige zetting (linker deel gebouw zwaarder dan rechter deel)
- b. Scheurvorming door temperatuur effect (dak zet meer uit dan wand)
- c. Scheurvorming door combinatie van materialen (betonlatei zet meer uit dan metselwerk)
- d. Scheurvorming door trekspanningen veroorzaakt door de inleiding van een grote puntlast
- e. Scheuren door latei met onvoldoende buigstijfheid
- f. Scheurvorming door te grote doorbuiging vloer
- g. Scheurenvorming door effect spouwankers te dicht bij hoek
- h. Scheurvorming door verhardingskrimp
- i. Scheurvorming door onvoldoende dilatatie (monoliet buitenspouwblad voorlangs gedilateerde constructie)

2.3.3 *Combinaties van materialen met verschillende uitzettingscoëfficiënt*

Verschillende materialen hebben verschillende uitzettingscoëfficiënten, waardoor temperatuur en vochtwisselingen tot verschillen in vervorming leiden. Zo is de uitzettingscoëfficiënt van beton bijna tweemaal zo groot als die van baksteen. Als bouwelementen bestaande uit verschillende materialen aan elkaar zijn verbonden ontstaan verschillen in vervorming die zich uiten in spanningen. Dit komt vaak voor bij de overgangen van een betonnen latei naar metselwerk. Een ander soms geobserveerd probleemgeval wordt gevormd door tegen het buitenspouwblad doorgestorte betonnen vloeren of balken, die door uitzetting (vocht, temperatuur) een zijwaartse kracht op het metselwerk uitoefenen, hetgeen kan leiden tot scheurvorming. In het bijzonder zijn daken gevoelig voor uitzettingen en verkortingen door relatief grote temperatuurverschillen tussen dag en nacht. Bij verbinding met metselwerkwallen kunnen scheuren optreden. Evenals bij temperatuureffecten geldt hier dat het uitsluitend repareren van de schade weinig zin heeft, als de oorzaak van de schade niet wordt weggenomen. Hierbij kan gedacht worden aan scheiding door middel van een glijfolie of bitumenstrook en het vullen van een kitvoeg met blijvend plastische eigenschappen.

2.3.4 *Drogings- of verhardingskrimp*

Drogings- of verhardingskrimp treedt voornamelijk op in de fase direct na het vervaardigen van nieuw metselwerk. Daarbij is verhardingskrimp irreversibel, in tegenstelling tot krimp door uitdroging en vervorming door temperatuurverschillen. Het repareren van scheuren door verhardingskrimp is effectief, omdat deze krimp irreversibel is. Dat geldt niet voor schade door uitdrogingskrimp, die bijvoorbeeld kan optreden als metselwerkwallen doorlopen tot onder de grond. Het deel onder de grond droogt minder snel uit. Vocht in metselwerkwallen kan optreden door bouwvocht, regen, optrekkend vocht uit de grond, lekkende leidingen of goten, waterdamp en condensatie.

2.3.5 *Foutieve detaillering van spouwankers*

Spouwankers die te dicht bij hoeken of raamopeningen zijn geplaatst kunnen leiden tot verhinderde beweging bij temperatuurvariaties. Hierdoor ontstaan trekspanningen in het metselwerk die tot scheurvorming kunnen leiden.

Schade kan ook optreden door te weinig spouwankers, of door roestvorming ineffectief geworden spouw- of kozijnankers. Hierdoor kan het buitenspouwblad door een excentrisch ingeleide normaaldrukkracht of buigend moment, bijvoorbeeld veroorzaakt door wind, worden beschadigd. Dit is de reden voor het aanhouden van een minimale slankheid van metselwerkwallen in combinatie met een minimum aantal spouwankers per m² uit roestvrij staal.

2.3.6 *Ontwerp- en uitvoeringsfouten*

Schade kan ook ontstaan doordat onvoldoende rekening is gehouden met het optreden van grote trekspanningen door in het metselwerk ingeleide geconcentreerde drukkrachten. Dit komt bijvoorbeeld voor bij lastinleiding bij de oplegging van dakspanten, of bijvoorbeeld door doorbuiging van balken en vloeren, waardoor het oplegvlak voor de lastinleiding sterk wordt verkleind. Andere vaak voorkomende detailleringfouten betreffen het niet voorzien van lateien boven gevelopeningen of het aanbrengen van lateien met onvoldoende stijfheid. Hierdoor ontstaan diagonale scheuren in het metselwerk. Een klassieke fout is het aanbrengen van lateien die over zowel het binnenblad als het buitenblad dragen. Hierdoor ontstaan thermische bruggen die de scheurgevoeligheid door temperatuureffecten vergroten.

2.4 Schade optredend door dynamische belasting

Trillingen die optreden in de nabijheid van constructies kunnen leiden tot beschadigingen. De meeste bouwwerken zijn daarop niet expliciet ontworpen, waardoor kans op schade ontstaat. Trillingen kunnen enerzijds leiden tot spanningen in een constructie die de sterkte van het materiaal bereiken zodat schade optreedt, anderzijds kan het aspect vermoeiing een rol spelen. Trillingen in gebouwen kunnen bijvoorbeeld optreden door:

- Heien van palen voor de fundering van een gebouw;
- In- of uit-trillen van damwanden;
- Sloopwerk;
- Dagelijks verkeer, bouwverkeer en verkeersdrempels;
- Breuk, breken van asfalt;
- Machines
- Geluid, van een kerkklok of een concert
- Explosies, botsingen, aardbevingen, wind.

Voor de mate van schade aan een gebouw specifiek veroorzaakt door een aardbeving zijn de volgende parameters van belang:

- Amplitude (maximale uitwijking), de maximale snelheid of de maximale versnelling;
- Frequentie (aantal trillingen per seconde);
- Richting van de trilling (horizontaal, verticaal, invalshoek t.o.v. het gebouw).

Naast deze invloedsfactoren aan de belastingkant spelen ook de eigenschappen van de constructie een rol, zoals de gebruikte constructiematerialen, de geometrie en de plaatselijke bodemcondities.

Fig. 2 toont een mogelijk schadebeeld in een kop-hals-romp boerderij (alleen kop- en hals- gedeelte weergegeven), ontleend aan [8]. Typierend zijn de diagonale scheuren in twee richtingen.

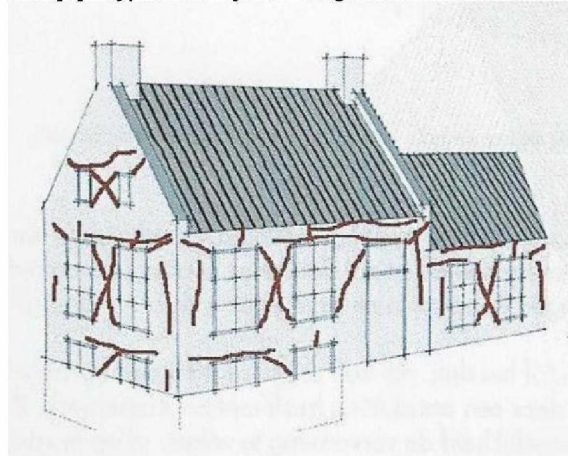


Fig. 2. Mogelijk schadebeeld ten gevolge van een aardbeving bij de kop en hals van een kop-hals-romp boerderij [8]

Door de grote variaties in geometrie, constructief systeem, materiaal en detaillering zijn wel tendensen in scheurontwikkeling aan te geven, maar deze zullen van geval tot geval toch weer aanzienlijk kunnen verschillen.

Veel schadeclaims hebben verder betrekking op schade aan niet constructieve elementen , zoals

- Scheuren in pleisterwerk of stucwerk
- Loslatend pleisterwerk
- Scheurvorming tussen kozijnen en aansluitende muur
- Scheuren in plafonds
- Scheuren door wandtegelwerk en voegen

Vaak wordt in Nederland bij de beoordeling van door mensen veroorzaakte trillingen, gebruik gemaakt van SBR Richtlijn A "Schade aan bouwwerken door trillingen". Deze richtlijn werd uitgebracht vóóordat de aardbevingsproblematiek in Groningen een rol begon te spelen. De vraag ligt daarom voor de hand of de relaties in deze richtlijn ook voor aardbevingen representatief zijn. In de toelichting op de SBR Richtlijn wordt aangegeven dat deze richtlijn betrekking heeft op de beoordeling van de invloed van de trillingssterkte in het frequentiegebied van 1 tot 100 Hz. De dominante frequenties voor de aardbevingen liggen tussen de 1 en 10 Hz, dus ruim hierbinnen. De SBR richtlijn is daarom ook toepasbaar voor aardbevingen.

2.5 Beoordeling van schadebeelden

Geconcludeerd kan worden dat er veel verschillende oorzaken voor scheurvorming zijn. Om dit onderscheid te kunnen maken is gedegen vakkennis nodig. Een complicatie wordt gevormd door scheuren, die door combinaties van oorzaken zijn ontstaan, of al bestonden en door een andere oorzaak (bijvoorbeeld een aardbeving) zijn verergerd. Vaak is de exacte oorzaak van scheuren daarom niet eenduidig te traceren.

3 Indeling van schade in schadeklassen

3.1 Classificatie van schade

Gebouwen verschillen van elkaar in vele opzichten. Een daarvan is de schadegevoeligheid. Het is van belang om de schadegevoeligheid van een gebouw te kunnen inschatten indien in de nabijheid trillingen worden verwacht. De schade-ongevoeligheid van een gebouw, ofwel de "robuustheid", valt niet af te leiden uit incidentele waarnemingen van schade. Er zijn verschillende manieren om het kwaliteitsniveau van een beschadigde constructie uit te drukken in meer globale zin. Hiertoe zijn schadeklassen gedefinieerd. Daarbij wordt gekeken naar de typen beschadiging, de frequentie van optreden van deze verschillende typen en de graad van hun ontwikkeling.

Een kort overzicht wordt daarom gegeven van enkele schade-classificatie systemen waarmee ervaring is opgedaan.

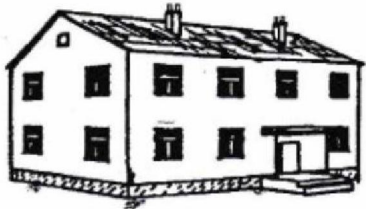

3.2 Schade door aardbevingen volgens de European Macroseismic Scale 1998

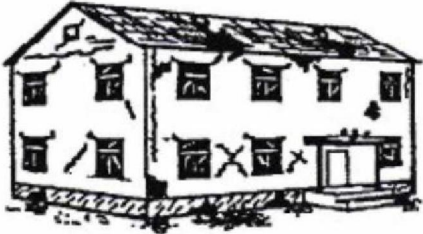

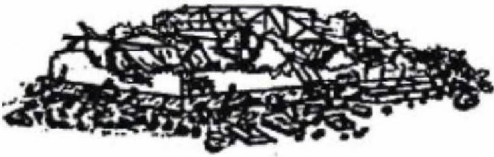
Bij de beoordeling van de gevolgen van een aardbeving wordt de intensiteit van een aardbeving bepaald. De intensiteit wordt beschreven in termen van het effect op mensen, objecten en schade aan gebouwen. Zij is een maat voor de hevigheid waarmee een aardbeving aan het aardoppervlak wordt gevoeld, niet te verwarren met de magnitude (schaal van Richter), die de sterkte van de beving ter plaatse van het ontstaan van de beving weergeeft. De intensiteit is plaatsgebonden, afhankelijk van

de magnitude, diepte en afstand tot het epicentrum. Verder weg van het epicentrum zal de intensiteit lager zijn dan dichterbij. In Europa wordt voor de intensiteit de EMS98 schaal gebruikt. Binnen deze schaal worden schade en kwetsbaarheid als gevolg van een aardbeving geïdentificeerd en geclassificeerd. De EMS98 schaal maakt gebruik van 5 Damage Grades. Aan de hand van omschrijvingen in deze Damage Grades kan een beschadigd gebouw in een categorie worden ingedeeld. In het kader van de analyse van schade wordt ook wel van Damage States gesproken, waarmee hetzelfde wordt bedoeld als met Damage Grades. De tabellen I en II geven uitwerkingen hiervan voor gebouwen, zowel van metselwerk als van gewapend beton. Enkele aspecten van deze indeling zijn:

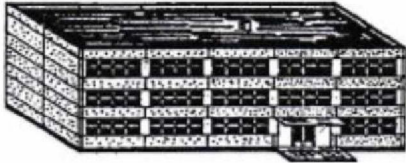

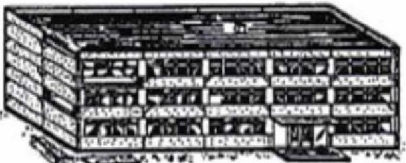
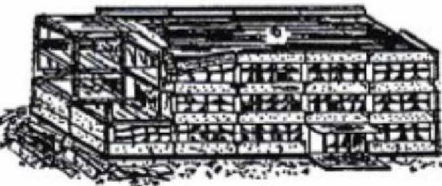
- In de omschrijving worden de begrippen constructieve en niet-constructieve schade gebruikt
- Per Damage Grade worden verschillende schadetypen omschreven
- De criteria voor indeling zijn kwalitatief of semi-kwantitatief.
- De classificatie gebeurt op gebouwniveau.

Tabel I. Schade categorieën in gebouw uit metselwerk

Schadebeeld	Schadecategorie (Damage Grade)
	<p>DG 1: Verwaarloosbare tot lichte schade (geen schade aan constructieve elementen, lichte schade aan niet-constructieve elementen.</p> <p>Haarscheurtjes in slechts enkele wanden. Kleine stukjes pleisterwerk zijn losgekomen. In slechts enkele gevallen stukjes steen gevallen van bovendeeel gebouw</p>
	<p>DG 2: Gematigde schade (geringe schade aan constructieve elementen, matige schade aan niet-constructieve elementen)</p> <p>In veel wanden scheuren. Flinke stukken pleisterwerk komen los. Gedeeltelijk instorten van schoorstenen</p>

Schadebeeld	Schadecategorie (Damage Grade)
	<p>DG 3: Aanzienlijke tot zware schade (matige schade aan constructieve elementen, aanzienlijke schade aan niet-constructieve elementen)</p> <p>Aanzienlijke scheurvorming in de meeste wanden. Dakpannen komen los. Schoorstenen breken af ter plaatse van aansluiting aan het dak. Breuk van individuele niet-constructieve elementen (scheidingswanden, gevels).</p>
	<p>DG 4: Zeer zware schade (zware schade aan constructieve elementen, zeer zware schade aan niet-constructieve elementen). Instorting van wanden, partieel constructief bezwijken van daken en vloeren</p>
	<p>DG 5: Verwoesting (zeer zware constructieve schade). Totale of grotendeelse instorting</p>

Tabel II Schadecategorieën in gebouw uit gewapend beton

Schadebeeld	Schadecategorie (Damage Grade)
	<p>DG 1: Verwaarloosbare tot lichte schade (geen schade aan constructieve elementen, lichte schade aan niet-constructieve elementen).</p> <p>Fijne scheuren in pleisterwerk op onderdelen van constructief draagsysteem, of bij de oplegging van wanden. Fijne scheurvorming in scheidingswanden en vulwanden (infills)</p>
	<p>DG 2: Matige schade (lichte schade aan constructieve elementen, matige schade aan niet-constructieve elementen).</p> <p>Scheurvorming in kolommen en balken in raamwerken en in constructieve wanden. Scheurvorming in scheidingswanden, en vulwanden. Loskomen en vallen van stukken plafond en pleisterwerk. Loskomen en vallen van voegmortel tussen wandelementen</p>
	<p>DG 3: Substantiële tot zware schade (matige schade aan constructieve elementen, aanzienlijke schade aan niet-constructieve elementen).</p> <p>Scheurvorming in kolommen en balk-kolom aansluitingen bij raamwerken aan de basis en voegen tussen gekoppelde wanden. Loskomen van de betondekking, knik van wapeningstaven. Wijde scheuren in scheidingswanden en vulwanden, bezwijken van individuele vulwanden.</p>
	<p>DG 4: Zeer zware schade (zware schade aan constructieve elementen, zeer zware schade aan niet-constructieve elementen). Wijde scheuren in constructieve elementen gepaard gaande met verbrijzeling van beton en breuk van wapeningstaal: verankeringbreuk van staven in balken, scheefstand van kolommen</p>

Schadebeeld	Schadecategorie (Damage Grade)
	DG 5: Verwoestende schade (zeer zware schade aan constructieve elementen). Instorting van gedeelten van het gebouw

3.3 Classificatie van schade aan metselwerk en ongewapend beton volgens BRE (British Research Establishment) [2] voor voornamelijk niet-dynamische belasting

Een ander manier om schades in te delen (los van de schadeoorzaak) is door de repareerbaarheid als uitgangspunt te nemen. Door BRE is in BRE Digest 451 (1995) een classificatie opgenomen, die sindsdien in meerdere publicaties en richtlijnen is overgenomen. Deze indeling betekent dat in een gebouw met schade verschillende categorieën kunnen voorkomen. Enkele kenmerken zijn:

- Er is geen onderscheid gemaakt naar constructief of niet-constructief
- Scheurvorming is een belangrijke (maar niet de enige) parameter
- De scheurwijdte wordt als kwantitatieve maat gedefinieerd.
- De beschrijvingen gelden voor een beoordeelde muur.
- De classificatie kan worden gebruikt op het niveau van het gebouw, bouwdeel of zelfs een individuele scheur

Zie verder Tabel III

Tabel III. Indeling in schadecategorieën volgens de British Research Establishment (BRE)

Schade-categorie	Beschrijving
0	Haarscheuren met een wijdte van minder dan 0,1mm die als verwaarloosbaar kunnen worden beschouwd
1	Fijne scheuren die gemakkelijk kunnen worden weggewerkt. Deze schade is meestal beperkt tot de afwerking van wanden. Scheuren zijn zelden zichtbaar aan de buitenzijde van metselwerk. Typische scheurwijdte tot 1 mm
2	Scheuren die eenvoudig kunnen worden gevuld. Terugkerende scheuren kunnen worden verborgen onder een geschikte lining. Deze scheuren zijn niet zichtbaar aan de buitenzijde. Soms zal een lichte bewerking nodig zijn vanwege de waterdichtheid. Deuren en ramen kunnen in lichte mate klemmen en moeten worden bijgesteld. Typische scheuren hebben een wijdte tot 5 mm

Schade-categorie	Beschrijving
3	Scheuren die een verder openhakken vereisen en kunnen worden weggewerkt door een metselaar. Opnieuw voegen is nodig en mogelijk moet een deel van het metselwerk worden vervangen. Deuren en ramen klemmen. Leidingen kunnen breken. Vaak treden problemen op met waterdichtheid. Typische scheuren hebben een breedte van 5 tot 15mm, of bundels van scheuren treden op met een breedte in de orde van grootte van 3mm
4	Aanzienlijke schade treedt op waarbij wanddelen moeten worden uitgedragen en vervangen, speciaal boven deuren en ramen. Ramen en deurstijlen zijn ontworpen, en de vloeren vertonen een duidelijk helling. Wanden staan scheef en buigen uit. Hellingen treden op in wanden en vloeren (vanaf 1/150 ongewenst)
5	Constructieve schade die forse reparatie vereist, inclusief gedeeltelijke of volledige nieuwbouw. Balken schuiven van hun oplegging af, wanden moeten worden gestut. Het gevaar van instabiliteit dreigt. Scheurbreedtes zijn soms groter dan 25 mm, afhankelijk van het aantal scheuren

Deze indeling door BRE kan gebruikt worden als een relatie nodig is tussen (mogelijke) schade en de te maken kosten voor reparatie.

Door Grontmij is in het kader van de evaluatie van de aanleg van de Noord-Zuidlijn in Amsterdam een overzicht gemaakt van schade-indelingen. De aanleiding was vooral schade als gevolg van verzakkingen bij de aanleg van bouwkuipen, maar het overzicht kan ook verhelderend zijn als aardbevingsschade moet worden beoordeeld. Deze indeling is gebaseerd op die van BRE, aangevuld met criteria met betrekking tot verzakkingen. Dit leidt tot de onderstaande indeling, Tabel IV.

Tabel IV. Schadeklassen voor metselwerk aangehouden bij de aanleg van de Noord Zuidlijn in Amsterdam

Schade categorie	Schade klasse	Omschrijving	Scheurwijdte	Karakterisering schadebeeld	Indicatie hoekverdraaiing
	0	Verwaarloosbaar	< 0,1 mm	haarscheurtjes	1/1600 tot 1/500
Esthetisch	1	Zeer licht	0,1 tot 1 mm	Enige scheurvorming in metselwerk. Kleine scheuren, meestal beperkt tot pleisterwerk, die eenvoudig kunnen worden weggewerkt.	1/1600 tot 1/300
Functioneel	2	Licht	tot 5 mm	Scheuren kunnen aan de buitenzijde zichtbaar zijn en kunnen tot vochtdoorslag leiden. Deuren en ramen klemmen licht. Geringe scheurvorming, kan eenvoudig hersteld worden	1/1600 tot 1/300
	3	Matig	5 tot 15 mm, of meerdere scheuren > 3 mm	Deuren en ramen klemmen. Mogelijke schade aan nutsaansluitingen. Vocht-doorslag mogelijk. Scheuren zijn zodanig dat metselwerk dient te worden hersteld.	1/600 tot 1/100
Constructief	4	Ernstig	15-25 mm, mede afhankelijk van aantal scheuren	Bruikbaarheid en toegankelijkheid ernstig aangetast. Voelbare scheefstand. Herstel vergt vervanging van muurdelen en andere constructieve elementen	1/600 tot 1/100
	5	Zeer ernstig	> 25 mm, hangt van aantal af	Instortingsgevaar. Volledige renovatie noodzakelijk.	> 1/300

De kolom "Scheurwijdte" komt overeen met de indeling van de BRE. De hoekverdraaiing is van belang bij lokale zettingsverschillen. Deze kunnen ook een rol spelen bij aardbevingen als de bodem gevoelig is voor zettingen. De zes schadeklassen 1 t/m 5 lijken op het eerste gezicht op de Damage Grades I t/m III. Esthetische schade is dan als DS1, Functionele schade als DS2 en Constructieve schade als DS3 te classificeren.

De schade classificatie-tabel geeft geen informatie over de oorzaak van de schade. De tabel kan mogelijk een functie hebben bij zowel het vaststellen van de staat van het gebouw voor- en nadat een mogelijke schadeoorzaak is opgetreden. De tabel is afgeleid in relatie tot vervormingen in de bodem, maar lijkt ook goed bruikbaar voor de beoordeling van trillingen (of combinaties van beide).

Vergelijkbare schade classificatie-tabellen worden gebruikt door schade-experts, gemeentes en onderzoekers om schades in kaart te kunnen brengen.

3.4 Beoordeling van trillingen en de kans op schade volgens SBR richtlijn A

De SBR Richtlijn (A) is opgesteld voor de beoordeling van trillingen met het doel schade aan bouwwerken te voorkomen. In de huidige vorm heeft de categorie-indeling betrekking op het gebruikte constructiemateriaal en de staat van het gebouw voordat de trillingen worden veroorzaakt. In de komende uitgave zal het alleen nog gaan om het constructiemateriaal. Daarnaast wordt een checklist ontwikkeld op basis waarvan een gebouw als trillingsgevoelig kan worden geïdentificeerd. De categorie-indeling heeft betrekking op de staat van het gebouw voordat de trillingen worden veroorzaakt (dus is niet bedoeld voor de eventuele analyse van door trillingen veroorzaakte schades achteraf). De richtlijn (versie 2002) maakt onderscheid in de constructiewijze en de staat van het bouwwerk. Hierbij wordt de volgende verdeling van bouwwerken aangehouden:

Categorie 1: in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie, bestaande uit gewapend beton of hout. Onderdelen van een bouwwerk, die geen deel uitmaken van de draagconstructie (bijvoorbeeld scheidingsconstructies) bestaande uit gewapend beton of hout. Draagconstructies van bouwwerken, geen gebouw zijnde, die bestaan uit metselwerk, zoals pijlers van viaducten, kademuren en dergelijke. Onderdelen bestaande uit staal of voorgespannen beton kunnen ook in deze categorie worden ingedeeld.

Categorie 2: In goede staat verkerende onderdelen van een gebouw bestaande uit metselwerk. In goede staat verkerende onderdelen van een gebouw, die niet tot de draagconstructie behoren, zoals bijvoorbeeld scheidingsconstructies, die bestaan uit ongewapend beton, metselwerk of uit brosse steenachtige materialen.

Categorie 3: Onderdelen van oude en monumentale gebouwen met grote cultuurhistorische waarde. In slechte staat verkerende gebouwen uit metselwerk of in slechte staat verkerende onderdelen van gebouwen. Bouwwerken in slechte bouwkundige staat, waarbij de weerstand van de draagconstructie in belangrijke mate is verminderd door reeds aanwezige schade en/of de onderlinge samenhang tussen de onderdelen zodanig zwak is dat deze door trillingen kan bezwijken of in belangrijke mate kan verzwakken.

Het diagram bevat ook een relatie voor funderingen. Deze is alleen relevant als sprake is van een zettingsgevoelige fundering. Een en ander is gespecificeerd. Overigens verandert deze laatste eis in de volgende uitgave van de SBR Richtlijn.

In de SBR richtlijn zijn grenswaarden aan de versnelling op begane grond niveau gegeven als functie van de dominante frequentie, zie Fig. 3

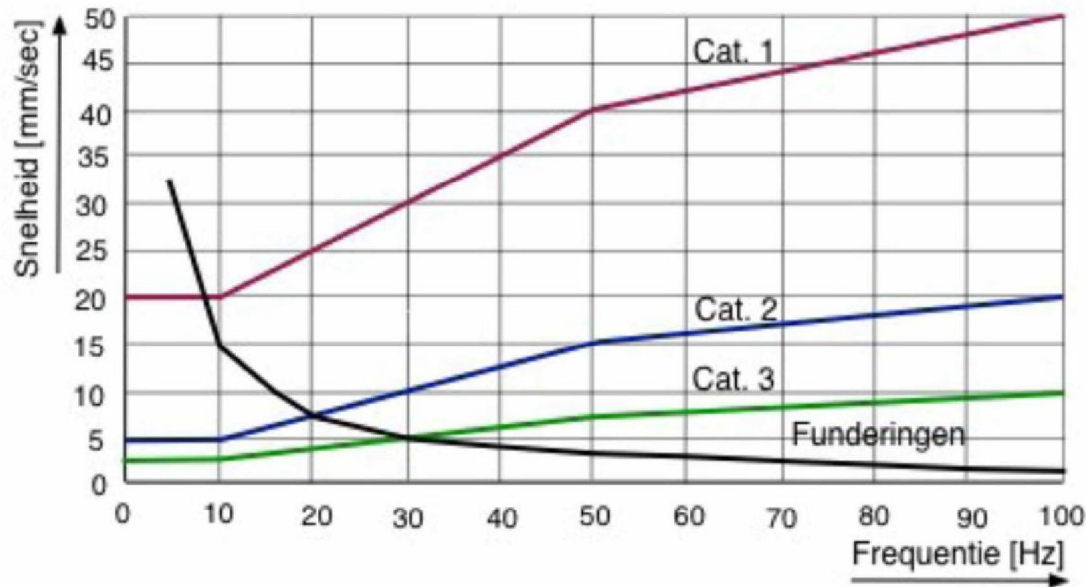


Fig. 3. Karakteristieke grenswaarden op begane grond en funderingsniveau van de versnelling, als functie van de dominante frequentie volgens SBR Richtlijn A

Van SBR Richtlijn A zal in 2017 een update verschijnen, waarbij de categorie-indeling zal veranderen. In het kader van het opstellen van die update wordt door de SBR-commissie onder meer gekeken naar een relatie tussen de trillingsintensiteit en de kans op schade, en zijn toelichtende teksten gemaakt voor die artikelen waarover in de markt veel vragen bestonden.

Aangezien SBR – Richtlijn A bedoeld is om schades te voorkomen, heeft deze richtlijn vooral betrekking op het initiëren van scheuren. De achtergronden bij SBR-Richtlijn A geven inzicht in de kans op schade die optreedt bij overschrijding van de grenswaarden. De grenswaarde wordt geassocieerd met een kans kleiner dan 1% dat schade optreedt. SBR Richtlijn A gaat niet in op de analyse van schades (schadepatronen, scheurwijdtes, et cetera).

De SBR Richtlijn A sluit beoordeling van trillingen ten gevolge van aardbevingen niet uit, maar dit gebruik is ook niet expliciet genoemd.

3.5 Indeling in schadetypen volgens het CVW

Bij het afhandelen van schadeclaims voor vermeende beschadiging van bestaande gebouwen door een aardbeving hanteert het CVW de volgende categorisering:

- a. Schade die een direct gevolg is van een aardbeving
- b. Schade, reeds aanwezig voor, maar verergerd ten gevolge van de aardbeving(en)
- c. Schade die niet zelfstandig in verband gebracht kan worden met de aardbeving(en)

Deze indeling heeft een ander doel dan de eerder besproken indelingen: het gaat hier over al of niet afhandelen. Het gaat daarbij feitelijk niet om een classificatie, want over de ernst van de schade genoemd in de punten a, b en c wordt niet gesproken.

Bij het bepalen of de schade in een van deze categorieën kan worden ingedeeld wordt rekening gehouden met:

- Type gebouw
- Bouwjaar
- Bouwaard
- Bodemopbouw
- Funderingswijze
- Staat van onderhoud
- Bouwkundige wijzigingen
- Verkeer
- Spoorweg in de directe omgeving
- Bouwactiviteiten
- Industriële activiteiten
- Verandering vanuit de ondergrond
- Calamiteit
- Voorgeschiedenis van het gebouw
- Belastinggeschiedenis

4 Rapportage van schade

Het is een basisprincipe van elk schaderapport dat allereerst wordt vermeld welke informatie aan de beoordelaar ter beschikking stond. In dit verband is het bijvoorbeeld van belang welke beschadiging er al was vóór de aardbeving, en te weten waarop deze kennis is gebaseerd en hoe zij is gedocumenteerd (eerdere inspecties, verklaring van de eigenaar, etc.). Dit is belangrijk, omdat het wel voorkomt dat de beoordelingsexpert onvolledige of onjuiste informatie ontvangt en zijn oordeel daarop baseert. Het is in zijn belang daarop later niet te worden afgerekend. Verder moet beschreven worden of, en wanneer, het beschadigde pand is bezocht en wat daarbij aan informatie is verzameld, dan wel niet kon worden verzameld. Zo kan het bijvoorbeeld onmogelijk zijn geweest informatie over bepaalde gedeelten van het gebouw te verkrijgen door ontoegankelijkheid van bijvoorbeeld een kelder of vloering, of gedeelten van de fundering. Vervolgens is het van belang voor de belangrijkste schades een goede verklaring te geven (inclusief de krachtswerking in de volledige constructie, waarbij de belangrijke rol van een eventuele opgelegde vervorming wordt toegelicht).

Een beoordeling mag niet worden uitgevoerd zonder de ervaring en kennis van een deskundige. Vermeden moet worden dat een bureau haar constatering op grond van haar zelfverklaarde expertise als de waarheid poneert. De mate waarin een nauwkeurige uitspraak mogelijk is hangt derhalve af van de deskundigheid van degene die de beoordeling uitvoert.

Vervolgens moeten de volgende zaken primair in het onderzoek aan de orde komen:

- Er moet historisch onderzoek worden uitgevoerd naar de constructieve samenhang en naar de wijze waarop het bouwwerk feitelijk is gebouwd. Daartoe moet men onderzoek doen naar oude vergunningen en oude tekeningen en berekeningen. De verkregen resultaten moeten worden afgezet tegen de actuele situatie, want het is niet ondenkbaar dat er in de loop der tijd onverantwoorde veranderingen zijn aangebracht. Op grond van deze gegevens moet een primaire conclusie worden

getrokken of voldaan is aan de constructieve voorschriften van het Bouwbesluit 2012, niveau bestaande bouw.

- Onderzoek moet worden uitgevoerd naar de trillingsniveaus die zich in de gebouwen ten gevolge van de aardbeving hebben voorgedaan. De historie van de opgetreden trillingen, door diverse oorzaken, op die locatie moet tevens in kaart worden gebracht.

Onderzoek moet worden gedaan naar de bodemgesteldheid en de wijze van funderen van het bouwwerk, want die, is in samenhang met de samenstelling en het trillingsgedrag van het bouwwerk, mede bepalend voor de krachten en de verplaatsingen die zich in het bouwwerk kunnen hebben voorgedaan.

Op basis van het bovenstaande moet op grond van het constructieve inzicht van de beoordelaar een primair oordeel worden geveld over de aanwezige veiligheid. Bij twijfel over het constructieve gedrag zullen berekeningen moeten worden uitgevoerd om te bepalen wat het veiligheidsniveau van de verschillende onderdelen van de constructie en andere onderdelen van het bouwwerk is. Hierbij moet worden nagegaan in hoeverre de beschadigde constructie, rekening houdend met haar actuele conditie, in staat is met voldoende betrouwbaarheid de daarop uitgeoefende relevante belastingen te weerstaan.

Een fotografische en beschrijvende opname van de aanwezige scheuren moet worden uitgevoerd. Het gaat er daarbij om te beschrijven waar de scheuren zijn waargenomen, het type scheur, de breedte, lengte, vorm en positie van de scheur, de verklaarbaarheid van de scheur vanuit de respons van het bouwwerk op aardbevingsbelastingen (horizontaal en verticaal) en de ouderdom van de scheur. Daarbij moet in het oog worden gehouden dat herstelde scheuren die door een aardbeving in een trillings-gevoelige constructie zijn ontstaan, bij een volgende lichte beving zich opnieuw kunnen manifesteren. Het is daarom van belang zodanig te repareren of te versterken, dat ongunstige scheurvorming (zoals een patroon van scheuren met grote breedte) niet opnieuw kan ontstaan.

Onderzoek zal moeten worden gedaan naar de mogelijke invloed van andere voorvallen - die zich op de beschouwde locatie hebben voorgedaan - op het schadebeeld. Zo zal bijvoorbeeld een stormevaluatie op zijn plaats zijn. Ook is het van belang zaken als het wegprofiel, de bodemgesteldheid en de verkeersintensiteit die zich nabij het te beschouwen bouwwerk voordoen en hebben voorgedaan te kennen en te evalueren en hun invloed op het schadebeeld vast te stellen.

In het kader van de beoordeling van schades ten gevolge van aardbevingen is in (Borsje en de Richeumont, [1]) een methode vastgelegd voor de beoordeling van schades. Deze methodiek gaat uit van de waarnemingen ter plaatse en een analyse van actoren die zowel de gevoeligheid voor schade als mogelijk optredende oorzaken kunnen beïnvloeden. Door vervolgens oorzaken uit te sluiten (falsificeren) en andere oorzaken te valideren, kan een gewogen oordeel worden gegeven over de schade-oorzaak (of oorzaken).

Om te kunnen beoordelen of een schade het gevolg is van een opgetreden aardbeving is het natuurlijk wel nodig te weten dat zich ter plaatse ook daadwerkelijk een aardbeving met voldoende sterkte heeft voorgedaan en moet ook bekend zijn wat de zwaarte van die beving is geweest. Er bestaat een meetnetwerk dat seismische metingen verricht. Van verschillende kanten is verzocht de door dit meetnetwerk verzamelde gegevens voor een ieder toegankelijk te maken, zodat traceerbaar

is op welke locatie welke horizontale en verticale versnellingen op maaiveldniveau zijn opgetreden. De NAM heeft deze gegevens naar verluidt beschikbaar.

5 Schadepreventie in bouwnormen

In bouwnormen wordt uitgegaan van zogenaamde “grenstoestanden”. De uiterste grenstoestand (UGT) heeft tot doel te garanderen dat de constructieve veiligheid van het gebouw voldoende is. Hiertoe moet worden aangetoond dat het gebouw bij de rekenwaarde van de belasting niet zal bezwijken.

Naast de uiterste grenstoestand (UGT) is in het algemeen de bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT) gedefinieerd. Voldoen aan de eisen van de BGT houdt in dat in een gebouw, bij de hoogste belasting die tijdens de levensduur redelijkerwijze mag worden verwacht, nog steeds geen problemen met de bruikbaarheid zullen ontstaan. Zo wordt bijvoorbeeld bij betonconstructies vereist dat de doorbuiging van de vloeren, ook op langere termijn, een bepaalde grenswaarde niet zal overschrijden en dat de scheurwijdte niet groter mag worden dan een bepaalde maximum waarde.

De NPR 9998 richt zich primair op de veiligheid tegen instorting. Dit kan worden beschouwd als het toetsen op het niet bereiken van de Damage Grades 4 en 5 volgens de EMS98 schaal, zie de tabellen II en III. Wel wordt kort ingegaan op de grenstoestand DL (Damage Limitation, ofwel Schadebeperking). In artikel 2.2.1 van de NPR wordt deze grenstoestand als volgt omschreven: “De constructie (die zorgt voor de stabiliteit van het gebouw) is alleen licht beschadigd, waarbij constructieve elementen niet significant zijn vervormd en hun sterkte en-stijfheidseigenschappen hebben behouden. Niet-seismische constructieve elementen mogen verspreid voorkomende scheuren vertonen die economisch gezien eenvoudig kunnen worden gerepareerd. Permanente vervormingen zijn verwaarloosbaar. De constructie zelf behoeft (vanuit het oogpunt van constructieve veiligheid) geen reparatie”. Dat wil zeggen dat bij het voldoen aan het DL criterium enige schade in het gebouw wel geaccepteerd is. De eisen aan DL zijn in het algemeen geformuleerd in termen van blijvende vervormingen in de constructie, die zodanig klein zijn dat het normaal functioneren van het gebouw niet in gevaar is.

Op Europees niveau wordt ten aanzien van het ontwerpen van gebouwen op aardbevingen uitgegaan van de norm EN 1998-1 “Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies – Deel I: Algemene regels, seismische belastingen en regels voor gebouwen”. Ook deze norm is kort ten aanzien van het begrip Damage Limitation (Schadebeperking). In hoofdstuk 2.1 wordt het volgende gesteld: “De constructie moet worden ontworpen en gebouwd op een zodanige manier dat een aardbeving met een sterkte groter dan de ontwerp-aardbeving kan worden doorstaan, zonder dat schade optreedt, dan wel daarmee gepaard gaande gebruiksbependingen, die onevenredig groot zijn in vergelijking met de kosten van de constructie zelf. De seismische belasting die ten aanzien van de eis “Schadebeperking” moet worden aangehouden heeft een overschrijdingswaarschijnlijkheid van P_{DLR} , in 10 jaar en een herhalingsstijd van T_{DLR} . De waarden van P_{DLR} en T_{DLR} kunnen in de Nationale Annex worden gedefinieerd. Een Nederlandse Annex bestaat nog niet. De algemeen aanbevolen waarden zijn $P_{DLR} = 10\%$ en $T_{DLR} = 95$ jaar”. Ook deze definities zijn zeer algemeen. De aard en de mate van de schade zijn niet gespecificeerd. Geen onderscheid wordt gemaakt tussen constructieve en niet constructieve elementen.

Deze regeling houdt in dat lichte schade door EN 1998-1 wordt geaccepteerd, op grond van economische overwegingen.

Inmiddels wordt gewerkt aan een nieuwe uitgave van EN 1998-1, onder auspiciën van CEN TC250/SC8. Hierin wordt het volgende vermeld: “EN 1998 (nieuwe uitgave) is zo opgezet dat voor de grote meerderheid van de nieuwe constructies het niet overschrijden van de grenstoestand SD (Significant Damage, vergelijkbaar met de UGT) tevens inhoudt dat tevens voldaan wordt aan de eisen van de grenstoestand DL (Damage Limitation, vergelijkbaar met de BGT). Dat houdt feitelijk in dat er van wordt uitgegaan dat in de draagconstructie geen onacceptabele schade in de bruikbaarheidsgrenstoestand zal optreden als deze zodanig is ontworpen dat wordt voldaan aan de eisen van constructieve veiligheid.

Een andere norm die in deze serie vergelijkingen interessant is, is de Nederlandse norm voor constructies uit metselwerk. Ook in deze norm (NEN EN 1996-1-1) hoeft tot op heden de bruikbaarheidsgrenstoestand niet apart te worden getoetst als aan de eisen voor de uiterste grenstoestand is voldaan (hoofdstuk 7.2(2)). Er wordt dus impliciet vanuit gegaan dat de ULS eisen zo streng zijn dat automatisch aan de SLS eisen is voldaan.

De bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT) is dus in het algemeen niet specifiek gedefinieerd. Dit lijkt tot de conclusie te leiden dat tot op heden de in deze grenstoestand optredende schade wordt gezien als beperkte en nauwelijks vermijdbare schade die bij het gebruik hoort (zoals slijtage).

6 Overwegingen ten aanzien van schadepreventie bij het ontwerpen van nieuwe constructies

De belangrijkste reden dat in Noord Oost Nederland door de optredende aardbevingen schade is ontstaan is dat de bestaande gebouwen zonder te anticiperen op de meer recentelijk ontstane zwaardere, door aardbevingen veroorzaakte, belastingen zijn gebouwd. Inmiddels zijn via de NPR 9998 nieuwe aangescherpte belastingeisen geformuleerd, die een ontwerp op een meer realistische basis mogelijk maken. De NPR richt zich primair op het voldoen aan de eisen ten aanzien van de constructieve veiligheid. Inmiddels is de schadeproblematiek naast de constructieve veiligheid een factor van betekenis geworden. Omdat bij het ontwerpen van een nieuw gebouw de te gebruiken constructiematerialen vrij kunnen worden gekozen, wat eveneens geldt voor het draagsysteem, de indeling, de vormgeving en de detaillering van de onderdelen, is het mogelijk te voldoen aan ontwerpcriteria, die grenswaarden aan de schade representeren. Zo zijn bijvoorbeeld voor een betonconstructie grenswaarden aan de breedte van scheuren gesteld, die optreden ten gevolge van de gebruiksbelastingen en verhinderde krimp-, kruip-, temperatuurvervormingen. Dit geldt niet voor alle bouwmaterialen. Voor metselwerk zijn bijvoorbeeld tot nu toe geen criteria voor de scheurbreedte gedefinieerd. Voor het berekenen van de scheurbreedte in een constructie gebouwd in ongewapend metselwerk zijn geen rekenmodellen met voldoende betrouwbaarheid voorhanden. In dit geval zou, in plaats daarvan, de eis kunnen worden gesteld dat wordt aangetoond dat onder de maximaal in de bruikbaarheidsgrenstoestand te verwachten belasting geen trekspanningen in de constructie optreden die de treksterkte van het metselwerk overschrijden. Deze berekening zou kunnen worden gecombineerd met de analyse van het gedrag van de constructie in de UGT (bijvoorbeeld via een push-over analyse).

Voor het beantwoorden van de vraag wanneer sprake is van onacceptabele schade zou kunnen worden uitgegaan van een benadering als gehanteerd in de SBR Richtlijn A (zie ook Fig. 3.). De vraag of de door aardbevingen veroorzaakte trillingen passen in de verzameling van de trillingen door

andere oorzaken, waarop Fig. 3 is gebaseerd, kan positief worden beantwoord: zo werd reeds in de tachtiger jaren van de vorige eeuw door TNO-IBBC vastgesteld dat trillingen veroorzaakt door normaal wegverkeer, gemeten op de fundering van gebouwen, een maximale trillingssnelheid bereiken van tussen de 0,3 en 3,0 mm/s. De dominante frequentie van verkeerstrillingen ligt rond de 10 Hertz, doorgaans hetzelfde frequentiebereik als dat van de aardbevingen. Bovendien zijn de grenswaarden behorend bij de SBR-trillingsrichtlijn overgenomen uit de Duitse Norm DIN 4150, waarin aardbevingen expliciet als trillingsbron worden vermeld. Zolang trillingskarakteristieken van aardbevingen onder de in Fig. 3 gegeven grenswaarden liggen acht de SBR-trillingsrichtlijn het onwaarschijnlijk dat deze schade aan gebouwen kunnen veroorzaken [12]. Dit werd nog eens bevestigd door een TNO studie [14], waarbij voor zeven geregistreerde aardbevingen in Noord Nederland de kans op schade door een aardbeving werd bepaald. Hierbij werden ingediende en geaccepteerde schadeclaims gerelateerd aan berekende snelheden. De conclusie van deze studie was dat de resultaten consistent waren met de grenswaarden van de SBR -Richtlijn A. Met betrekking tot schadepreventie zou het uitgangspunt kunnen zijn dat "schadevrij" ontwerpen zou kunnen worden gebaseerd op basis van nog nader vast te stellen grenswaarden, die mogelijk hoger uitvallen dan die gegeven in de SBR richtlijn. Het is aan te bevelen deze optie verder uit te werken.

Een andere mogelijkheid om de kans op onacceptabele schade, door doelgericht ontwerpen, te minimaliseren is in de NPR de betreffende hoofdstukken over detailleren, die tot nu toe alleen gericht waren op het laten voldoen van de constructie aan de grenstoestand "Near Collapse", uit te breiden met basisregels ter voorkoming van onacceptabele schade.

7 Duurzaam repareren van bestaande constructies

Bij het beoordelen of sprake is van schade in een bestaande constructie is het van belang te weten welke "schade" als normaal mag worden gezien in het kader van het gebruik en de veroudering van de constructie. Als "schade" aan gebouwen in de aardbevingsregio in Noord Oost Nederland overeenkomt met schades elders in het land in overeenkomstige gebouwen, is deze schade kennelijk niet te wijten aan het specifieke effect van aardbevingen. Verder moet, als eerder aangegeven, schade tot een bepaald "bestendigheidsniveau" als onvermijdelijk en acceptabel worden gezien. Dit "bestendigheidsniveau" geldt tot nu toe voor gebouwen buiten de aardbevingsregio, waar een groot aantal invloeden kunnen leiden tot lichte beschadigingen (hst. 2.3). Een goede definitie van "bestendigheid" is daarom van belang.

Een ander belangrijk aandachtspunt is schadebeperking *na het uitvoeren van een reparatie*. Een eerste mogelijkheid schade in de toekomst te vermijden is door de oorzaak van de schade weg te nemen. Een voorbeeld van zo'n oplossing, toegepast voor het vermijden van schade aan de hoofdconstructie, is het aanbrengen van seismische isolatoren. Dit is ook in bestaande constructies mogelijk, zie bijvoorbeeld [13]. Voor het vermijden van lichtere schade, ook aan niet-constructieve delen, is het dan wel een voorwaarde dat deze oplossing ook werkt bij de lagere trillingsniveaus. Een tweede optie is om zodanig te repareren dat de oorzaak van de schade weliswaar niet wordt weggenomen, maar dat het schadebeeld wordt verzacht. Op deze wijze wordt "cosmetisch" gerepareerd. Een voorbeeld hiervan is het repareren van wanden met wijde scheuren door het aanbrengen van sterk geprofileerde wapeningsstaven, die achteraf in uitgefreesde sleuven in het metselwerk worden aangebracht. Als dit goed gebeurt ontstaan bij een nieuwe aardbeving niet opnieuw wijde scheuren, maar in plaats daarvan bundels fijne scheuren die als acceptabel zouden

kunnen worden ervaren (zoals scheuren in betonconstructies in de bruikbaarheidsgrens toestand, indien een vastgestelde scheurwijdte niet wordt overschreden). Fig. 4 toont een dergelijke wapeningsstaaf, met wokkelvormige profilering.

Dergelijke staven worden geproduceerd uit roestvrij staal en hebben een vloeispanning van ongeveer 1000 N/mm^2 . Dat is tweemaal zo hoog als de vloeispanning van wapeningstaal dat in nieuwbouw wordt gebruikt. Het voordeel van deze hoge vloeispanning is dat de diameter van de staaf 30% kleiner kan zijn dan die van een klassieke staaf, en de staven daardoor gemakkelijker in een uitgefreesde sleuf kunnen worden geplaatst. In de uitgefreesde voeg, die tussen 40 en 70 mm diep is, wordt een bedding van krimprijke twee-componenten mortel aangebracht. De wokkelvormige staaf wordt hierin geplaatst. De gewapende sleuf wordt daarna verder gevoegd met een voegmortel, die bij de bestaande voegmortel past. De staven worden bijgewerkt in dezelfde kleur specie. Op deze manier wordt het visuele effect van de herstelwerkzaamheden volledig weggewerkt. De staven zijn verkrijgbaar in diameters 4,5 – 10 mm. Door de goede hechting van de staven aan de voegmortel zal een volgende scheur zich niet als discrete wijde scheur manifesteren, maar opgesplitst worden in een aantal scheuren met kleine wijdte, die niet als schade worden ervaren. In Nieuw Zeeland, waar men veel met dit soort schades te maken heeft, wordt deze oplossing vaak toegepast.



Fig. 4. Wapeningstaaf met wokkelvormige profilering voor plaatsing achteraf in een metselwerkwand.

Een beperking van deze techniek van wapenen achteraf is dat de staven alleen in horizontale uitgefreesde voegen kunnen worden aangebracht. Veel scheuren in metselwerkconstructies ontstaan echter van uit hoekpunten bij raamopeningen en verlopen in schuine richting. In dit geval zijn de staven echter eveneens effectief. Een andere optie om scheuren “uit te smeren” is het gebruik van FRP wapeningsnetten, gelijmd op de wand en aan het zicht onttrokken door een pleisterlaag.

Bij het uitvoeren van dergelijke reparaties kan men gelijktijdig de gelegenheid gebruiken om andere goedkope versterkingsmaatregelen te nemen. Hierbij kan gedacht worden aan het achteraf aanbrengen van een trekband aan de bovenzijde van de wand rondom de vloer van de constructie, die de robuustheid van de constructie in sterke mate positief kan beïnvloeden.

Een andere relatief eenvoudige techniek om de robuustheid van de constructie te verbeteren is het koppelen van spouwmuren, beschadigd door scheurvorming. Dit kan achteraf gebeuren door middel van diverse soorten schroefvormige koppelankers, die vanaf de buitenzijde kunnen worden aangebracht. Door Dizhur en Ingham [15], werden aardbevingstests op constructies met spouwmuren

uitgevoerd, gekoppeld met verschillende typen koppelschroeven, zie Fig. 5. Aangetoond werd dat de kwetsbaarheid van de betreffende spouwmuur door een dergelijke koppeling significant kan worden verkleind. Dit geldt zowel voor scheurvorming als de seismische weerstand loodrecht op het vlak van de muren.

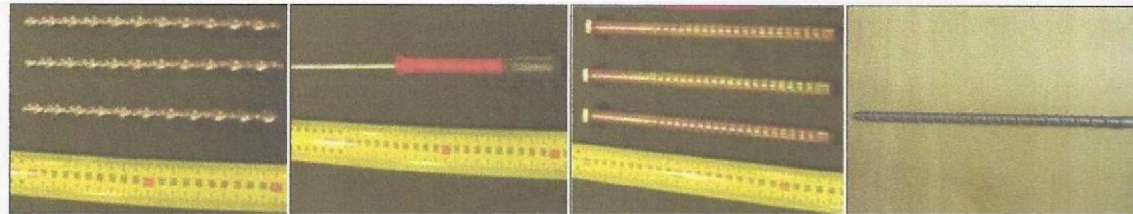


Fig. 5. Koppelankers voor spouwbladen in bestaande constructies

- a. Spiraalvormige ankers
- b. Chemische ankers
- c. Stalen schroeven ϕ 12 mm (type 1)
- d. Stalen schroeven ϕ 8 mm (type 2)

8 Conclusies

1. De NPR 9998 richt zich primair op het garanderen van voldoende constructieve veiligheid. Voor schadebeperking geeft de NPR geen regels. Wel definieert de NPR, in navolging van de Eurocode 8 (NEN-EN 1998-1), een grenstoestand DL (Damage Limitation) DL, die echter niet is bedoeld als een grenstoestand gericht op het voorkomen of beperken van schade, maar op functiebehoud na een aardbeving en het snel kunnen operationaliseren van de daaraan gerelateerde activiteiten.
2. Ook in de vigerende Eurocode EN 1996-1-1 "Ontwerp en berekening van constructies van metselwerk – Deel 1-1 Algemene regels voor constructies van gewapend en ongewapend metselwerk" wordt niet ingegaan op de beperking van schade. Ten aanzien van de bruikbaarheidsgrenstoestand wordt slechts opgemerkt dat "in ongewapende constructies van metselwerk de bruikbaarheidsgrenstoestand voor scheurvorming en doorbuiging niet apart hoeft te worden getoetst als aan de eisen ten aanzien van de uiterste grenstoestand (constructieve veiligheid) is voldaan".
3. Nederland heeft geen "aardbevingstraditie". Inherent aan de oorspronkelijke Nederlandse bouwwijzen, die zich hebben ontwikkeld zonder dat aandacht hoefde te worden geschonken aan seismische belastingen, zijn gebouwen gevoelig voor scheurvorming door trillingen. Dat betekent dat de "basisbestendigheid" tegen het optreden van schade aan constructieve en niet-constructieve elementen beperkt is.
4. Elementen uit de NPR en de Eurocodes zouden kunnen worden gebruikt om de "basisbestendigheid" van gebouwen te vergroten en definities en grenzen te geven om schadebeperking bij het ontwerpen van nieuwbouw of bij het versterken van bestaande bouw een plaats te geven.

5. Voor het optreden van lichte schade kunnen naast aardbevingen veel andere mogelijke oorzaken worden genoemd, waaronder scheurvorming door ongelijkmatige zettingen of door belemmerde krimp/uitzetting. Lichte schade aan een gebouw is inherent aan het gebruik en de onzekerheid omtrent het optreden van een aantal invloedsfactoren. Gelet op de geringe bereidheid om schade ten gevolge van trillingen te accepteren verdient het aanbeveling de "basisbestendigheid" voor de Nederlandse situatie beter te definiëren.
6. Er bestaan diverse bronnen waarin schadecategorieën worden gedefinieerd. Hierbij wordt meestal een globale indeling in schadeklassen gemaakt waarbij niet op alle schadedetails wordt ingegaan.
7. Voor schadepreventie bij nieuwbouw en verbouw bestaan de volgende opties:
 - Het definiëren van criteria waaraan de constructie moet voldoen, bij welke rekenwaarden van de belasting.
 - het formuleren van meer globale criteria waarbij een constructie valt in de Schadecategorie "Damage Grade 1" voor aardbevingen met karakteristieken die bij een representatieve aardbeving behoren, vergelijkbaar met de definitie in SBR-richtlijn A.
 - Het aanscherpen van de detailleringregels in NPR 9998.
8. Voor het repareren van beschadigde constructies bestaan technieken die tot een duurzame oplossing leiden. Een voorbeeld is het achteraf aanbrengen van sterk geprofileerde wapeningsstaven in ingefreesde sleuven in een metselwerk wand. Bij een reparatie kunnen gelijktijdig maatregelen worden genomen om de basisbestendigheid van het bouwwerk te verbeteren.

9 Aanbevelingen

1. Het begrip "basisbestendigheid" zal van inhoud en betekenis moeten worden voorzien. Het gaat hierbij om wat acceptabel wordt gevonden in termen van kansen, mate van beschadiging en economische effecten, waarschijnlijk onderverdeeld in de categorieën nieuwbouw, verbouw en bestaande bouw. Zo zou bijvoorbeeld voor nieuwbouw en versterking bij een vastgestelde waarde van de piekgrondversnelling en een gedefinieerde herhalingstijd geen schade (zoals te grote maximale scheurwijdte) mogen optreden.
2. Er is behoefte aan het ontwikkelen van een op basisbestendigheid toegesneden beoordelingsmethodiek, en daaraan gerelateerde testprotocollen.
3. Voor het beoordelen van de kans op schade door een aardbeving, bevatten de SBR Richtlijn A en de NPR 9998 bouwstenen die nadere uitwerking behoeven. Het gaat hierbij om de beoordelingsmethodiek van schadebeelden (SBR) en de analysemethoden (NPR 9998).
4. Met betrekking tot de situatie in N.O. Nederland kunnen complementair aan de hoofdstukken in de NPR over detaillering, die zijn geschreven vanuit de intentie te voldoen aan de constructieve veiligheid, aanbevelingen ten aanzien van de basisbestendigheid worden opgenomen.
5. Dezelfde niet-lineaire push-over modellen, die in de toekomst vaak gebruikt zullen worden bij het ontwerpen van nieuwe constructies, of bij versterkingsopgaven, kunnen tevens worden gebruikt

om de gevoeligheid voor schade van een te ontwerpen constructie te onderzoeken en gericht te beperken. Deze methodiek moet aansluiten op de onder punt 1 genoemde uitgangspunten ten aanzien van basisbestendigheid. Een beoordelingskader moet daartoe worden ontwikkeld.

6. Het verdient aanbeveling voorstellen voor versterken en schadepreventie (zoals details, systemen en producten) gecentraliseerd te laten beoordelen teneinde bovengenoemde ontwikkelingen te bespoedigen.
7. Gestimuleerd moet worden dat innovatieve concepten voor schadebeperking worden (door)ontwikkeld en van een officiële erkenning worden voorzien.

10 Referenties

- [1] Borsje, H., de Richemont, S.A.J. , “Methodiek voor onderzoek naar de oorzaak van gebouwschade – versie 2”, TNO Rapport TNO-060-DTM-2011-02980, 9 september 2011.
- [2] BRE-Digest 451 (1995).
- [3] CUR Rapport 98-4, “Gewapend en voorgespannen metselwerk”1998
- [4] Driscoll, R., BRE Digest 251: “Assessment of Damage in Low Rise Buildings with Particular Reference to Progressive Foundation Movement, HIS Rapidoc
- [5] Grüntal, G., “European Macroseismic Scale 1998”, Conseil de l’Europe, Cahiers du Centre de Geodynamique et de Seismology, Vol. 15.
- [6] Perfectkeur, “Oorzaken van scheurvorming in metselwerk en muren”, zie www.perfectkeur.nl
- [7] Postmes, T., Stroeve, K., 2017, “Samenvatting 2^o wetenschappelijk rapport”, zie www.groningsperspectief.nl
- [8] NAM, “Handboek aardbevingschade”, Versie 3, Februari 2015
- [9] Vent, I, de, “Structural damage in masonry”, Dissertatie TU Delft 2011.
- [10] NEN-EN 1996-1-1+A1 “Eurocode 6 – ontwerp en berekening van constructies van metselwerk”, Jan. 2013
- [11] TNO-Rapport B90-822 – Trillingscriteria met betrekking tot schade aan gebouwen, 1993
- [12] NAM Conceptrapport “Trillingsschade aan gebouwen”: informatiedocument, Versie 1,0, Augustus 2017
- [13] Oliveto, G., Marletta, M., “Seismic retrofitting of reinforced concrete buildings using traditional and innovative techniques”, ISET Journal of earthquake Technology, Paper No. 454, Vol. 42, No. 2-3, June-September 2005, pp. 21-46
- [14] TNO-Rapport 2012 R10227 “Analyse van de gevolgen van de aardbeving te Huizinge d.d. 16 augustus 2012”.
- [15] Dizhur, D., Ingham, J., “Seismic improvement of loadbearing unreinforced masonry cavity walls”, Report ER3, Project LR0458, University of Auckland, Branz external research report, dd. 31/04/2015, ISSN: 2423-0839