

Voorstel voor Beoordelingsmethodiek Schadeprotocol NCG 2.0

TU Delft – 14 juli 2017 (versie 8) / J.G. Rots,

5.1.2e

DRAEF

INHOUDSOPGAVE

A	Inleiding	2
B	Uitgangspunten	2
C	Overwegingen	5
D	Voorstel	8
	Deel I Beperkte procedure	11
	Deel II Volledige procedure	16
	Deel III Kwaliteitsborging	25
	Deel IV Veiligheidsissues	27
E	Slotopmerkingen	28
F	Referenties bij hoofdtekst	29
G	Bijlage	30
H	Referenties bij bijlage	43

DRAAFT

A. INLEIDING

In Groningen wordt sinds 31 maart 2017 de schadeafhandeling aangestuurd door de Nationaal Coördinator Groningen (NCG). Daartoe moet een nieuw schadeprotocol van de NCG in werking treden. Ten einde de uitvoeringsorganisatie vanaf die datum een duidelijke basis voor die activiteiten te bieden, heeft NCG aan TU Delft gevraagd in de vorm van een notitie een voorstel tot het opstellen van een nieuwe NCG schadebeoordelingsmethodiek versie 2.0, die op zo kort mogelijke termijn beschikbaar zou moeten zijn. De methodiek zal onderdeel uitmaken van het nieuwe protocol. Deze rapportage bevat het inhoudelijk voorstel voor de methodiek, alsmede de overwegingen daarbij.

B. UITGANGSPUNTEN

De hierna gepresenteerde beoordelingsmethodiek omvat:

1. het opnemen en vastleggen van de schade;
2. het verzamelen van aanvullende gegevens van schade en context (gebouw, omgeving);
3. de beoordeling van de schade in termen van de oorzaak of oorzaken.

Ter toelichting op deze aandachtspunten

1. De **schade opname methodiek** besteedt aandacht aan de (met het oog) waarneembare schade; Uitgangspunt is dat er altijd een gedocumenteerde schade opname plaatsvindt door een deskundige. Het nieuwe schade protocol moet hiervoor minimale vereisten bevatten. Een goede opname is niet alleen van belang voor een eerste beoordeling, maar ook voor een contra-expertise of tweede beoordeling.
Een uitzondering kan gemaakt worden bij schades en in objecten op heel korte afstand tot een epicentrum van een (voldoende zware) beving, waar al snel in de procedure kan worden vastgesteld dat een beving de meest waarschijnlijke oorzaak is. Snelheid van afhandelen en het beperken van de kosten die verbonden zijn aan een uitgebreidere opname en beoordeling kunnen in zo'n geval de doorslag geven. In dit geval zal een opname van de schade alleen nodig zijn voor een hersteladvies en voor het bepalen van de herstelkosten.
2. Een methodiek voor (verzamelen en hanteren van) aanvullende informatie over **de context van de schade**, met name over het gebouw en de omgeving. Deze informatie is van belang bij de beoordeling van de schade. Aspecten die hiertoe behoren zijn onder meer een feitenrelaas van schademelder, achtergronden over gebruik en wijzigingen in of het pand, achtergrondgegevens omtrent constructiewijze van het pand, omgevingsomstandigheden inclusief gegevens over de beving(en), fundering- en bodemomstandigheden, grondwaterstanden, kwantitatieve vaststelling van stand, scheefstand en/of zettingen etc. De beoordelingsmethodiek bevat een overzicht van relevante aanvullende informatie in relatie tot aard en mate van de met het oog waarneembare schade. Afhankelijk van aard van de schade en omstandigheden, zullen niet alle onderdelen van de aanvullende informatie bij de beoordeling van de schade noodzakelijk zijn, zeker niet in eerste instantie.
3. In de methodiek voor **de beoordeling van de (meest waarschijnlijke) oorzaak of oorzaken** worden bovenstaande elementen in samenhang beoordeeld. Een belangrijk onderdeel van de beoordelingsmethodiek vormen scenario's en de criteria op basis waarvan bepaalde scenario's met oorzaken kunnen worden uitgesloten of juist aannemelijk worden gemaakt. De beoordelingsmethodiek moet leiden tot uitspraken over de waarschijnlijkheid dat bepaalde scenario's voor het ontstaan van de schade aan de orde zijn. De methodiek moet ook duidelijkheid geven over de betrouwbaarheid van het technisch inhoudelijk oordeel.

De schade beoordelingsmethodiek zal van bovengenoemde drie onderdelen in samenhang gebruik maken, waardoor in de beoordeling de *mate van toerekening* en de *waarschijnlijkheid* van een causale relatie tussen schade en bodembewegingen door mijnbouwactiviteiten kan worden gelegd. De methodiek biedt ruimte om de opname van schade, het inwinnen van aanvullende gegevens over de context en de beoordeling van oorzakelijk verband en toerekenbaarheid gescheiden te laten plaatsvinden en dit te laten doen door personen met verschillende, doch per onderdeel meest passende competenties. De methodiek is in principe breder toepasbaar dan alleen voor geïnduceerde bevingen. Het advies over deze methodiek zoekt aansluiting bij het nieuwe schadeprotocol in wording, inclusief het daarbij behorende juridische kader.

De voorgestelde methodiek moet **toekomstbestendig** zijn. Dat houdt in dat de methodiek robuust en aanpasbaar moet zijn. De aanpasbaarheid is noodzakelijk om ervaring met het hanteren van de methodiek op termijn te kunnen opnemen in een verbeterde versie alsmede van inzichten uit lopend of toekomstig onderzoek. Ook is van belang dat de kosten en inspanningen van het hanteren van de methodiek in redelijke verhouding staan tot de omvang van de schade en de kosten van herstel. Beperkte schades met beperkte herstelkosten, zullen bij voorkeur een beperktere beoordeling krijgen en een snellere afhandeling.

Tenslotte moet de methodiek **valide uitspraken** doen en moet deze **betrouwbaar** zijn. Validiteit betekent dat er daadwerkelijk wordt bepaald wat was bedoeld. Hieraan zal worden voldaan door een inhoudelijk systematische opzet (dit maakt de toepassing verifieerbaar), door een toetsbare compleetheid van de verzamelde schadegegevens, de aanvullende informatie over de context en de opgestelde scenario's, en door een correcte en navolgbare doorloop van het onderzoek- en beoordelingsproces. Een betrouwbaar onderzoek betekent dat wanneer dit onderzoek wordt herhaald onder dezelfde omstandigheden, dat dit tot vergelijkbare uitkomsten leidt. Hiertoe zullen suggesties worden gedaan over de kwaliteitsborging in de essentiële elementen van het opname- en beoordelingsproces.

Specifieke aandacht voor de oorzaak 'geïnduceerde bevingen'.

Om de noodzakelijke inspanning in en diepgang in het beoordelingsproces te kunnen afstemmen op de omvang van de schade en de aannemelijkheid van de oorzaak 'geïnduceerde beving' zal de potentiële invloed van geïnduceerde bevingen als eerste stap in het verkrijgen en beoordelen van aanvullende gegevens worden opgenomen.

De beoordelingsmethodiek wordt voor wat betreft de aanvullende gegevens gebaseerd op kwantitatieve interpretatie van de gemeten trillingen door het sensornetwerk van KNMI en/of TNO. Gelet op de status van de interpretatie van deze gegevens en het onderzoek hiernaar, zullen dit vooralsnog grenswaarden die met enige omzichtigheid moeten worden gehanteerd. Als het gaat om een onwaarschijnlijke oorzakelijke relatie met trillingen door een 'geïnduceerde beving' zullen lage grenswaarden worden gehanteerd. Voor het accepteren van een oorzakelijke relatie tussen deze trillingen en de schade zullen grenswaarden worden gehanteerd die recht doen aan een 'redelijke mate van waarschijnlijkheid'. Hierbij kan aangesloten worden op de inmiddels bekende inzichten, waaronder de praktijkervaring met het hanteren van de criteria van de SBR Richtlijn A bij bevingen. De kwaliteit van de gegevens en de inzichten hierin zullen in de komende periode naar verwachting nog verdere verbeteren. Dat betekent dat de aan te houden grenswaarden in de toekomst gewijzigd of genuanceerd kunnen worden.

Deze eerste stap in de beoordelingsmethodiek maakt het mogelijk om in de volgende gevallen snel duidelijkheid te kunnen bieden:

- 1) **Een waarschijnlijke oorzakelijke relatie**, indien de trillingen als gevolg van de beving zo sterk zijn, dat vanuit technisch perspectief een oorzakelijke relatie tussen schade en beving waarschijnlijk is. Het gaat in dit geval over een kans op schade van meer dan 10% per object. De methodiek bevat hiervoor ook voorstellen. De omvang en aard van de schade en de sterkte van de trilling zal zodanig moeten zijn dat duiding van andere mogelijke oorzaken vanuit technisch perspectief geen/weinig toegevoegde waarde heeft in de relatie tot de kosten van die nadere duiding.
- 2) **Een onwaarschijnlijke oorzakelijke relatie**, indien de trillingen zo gering in sterkte zijn, dat vanuit technisch perspectief een oorzakelijke relatie tussen schade en bevingen niet waarschijnlijk is. Het gaat dan over een kleine kans op schade (aanzienlijk minder dan 1 %) per object. Deze situatie doet zich bijvoorbeeld voor indien een schade object op zeer grote afstand van de bevingen is gelegen.

We merken op dat een oorzakelijke relatie op basis van alleen de lage trillingsterkte *niet volledig* uitgesloten kan worden. Dit geldt met name voor objecten op locaties met bijzondere omstandigheden, waar het inzicht in de kans op schade door bevingen in combinatie met de bijzondere omstandigheden nog onvoldoende is. Die locaties met bijzondere omstandigheden moeten vooralsnog uitgesloten blijven van dit oordeel 'onwaarschijnlijk'.

Voor schades die niet aan deze criteria voldoen of waar bijzondere omstandigheden aan de orde zijn, zal uitgebreidere methodiek moeten worden gevolgd om tot een goed oordeel te komen. De beoordelingsmethodiek is ook toepasbaar op ingewikkelde schades en afhankelijk van aard en ernst van de schade zullen ook resultaten van specialistisch aanvullend onderzoek in het oordeel moeten worden betrokken (denk aan lintvoeg waterpassingen, funderingsinspectie, grondwaterstanden, stand- en zettingsmetingen, etc.). Daarmee kan de methodiek ook inzicht bieden in andere mogelijke oorzaken van de schade.

C. OVERWEGINGEN

Om voldoende invulling te kunnen geven aan de hierboven genoemde uitgangspunten en aandachtspunten, is bij het opstellen van een voorstel voor een beoordelingsmethodiek nagegaan op welke aspecten het huidige schadeprotocol [1] verbeterd zou kunnen worden. Daarbij is ook gezien welke elementen uit het handboek Aardbevingsschade [2] moeten worden meegenomen. Voorts is rekening gehouden met de ervaringen van eerder toegepaste onderzoeksmethoden en reviews daarvan, zoals genoemd in referenties [3-9].

In onze optiek betreffen de belangrijkste punten van verbetering of aanpassing:

- 1) Het expliciet gebruiken van gegevens uit sensornetwerken van KNMI en/of TNO voor het vaststellen van de sterkte van bevingen en een relatie te leggen met de beoordeling van de schade. Deze gegevens kunnen bruikbaar zijn voor het *bevestigen* van een oorzakelijke relatie maar ook voor *het onwaarschijnlijk verklaren* van een oorzakelijke relatie. Het is in principe mogelijk om op basis van concrete registraties uit de sensornetwerken op basis van een statistische verwerking de waarschijnlijkheid van een oorzakelijke relatie *te ondersteunen*. Dit kan het opname, beoordeling- en afhandelingsproces aanzienlijk bespoedigen. In het geval van een onwaarschijnlijke oorzakelijke relatie moet wel rekening gehouden worden met de invloed van meerdere (en ook eerdere) bevingen op een schade of met de omstandigheid dat de schade pas later wordt opgemerkt. Dit maakt het verklaren van een onwaarschijnlijke oorzakelijke relatie *per beving* dus minder geschikt, de onwaarschijnlijkheid zal daarom gebaseerd moeten zijn op *het totaal van de opgetreden bevingen* inclusief de eventuele effecten van de gezamenlijke werking van die bevingen. Pas zeer recent zijn statistische bewerkingen van de sensordata van beide sensornetwerken

beschikbaar gekomen [23,24]. Wij verwachten dat de sensordata in de toekomst in een gevalideerde vorm ruimer en sneller beschikbaar zullen komen, zeker indien zij een duidelijke rol in de schadeafhandeling krijgen. Mogelijk leidt de beschikbaarheid van die data nog tot aanpassingen van de beoordelingsmethodiek of van gehanteerde onder- en bovengrenswaarden in de toekomst.

- 2) Het expliciet opnemen van locaties met bijzondere omstandigheden, waarin de gecombineerde effecten van trillingen door bevingen op gebouwen of bouwwerken in combinatie met die bijzondere omstandigheden zouden kunnen leiden tot een verhoogde gevoeligheid voor schade en waar nog onvoldoende inzicht in die verhoogde gevoeligheid bestaat. Voor een aantal van die bijzondere omstandigheden vindt nu nog onderzoek plaats. De resultaten van dit onderzoek zullen aanleiding kunnen geven om de criteria voor de bijzondere omstandigheden in de toekomst duidelijker te omschrijven of eventueel te beperken.
- 3) Het verduidelijken van de criteria die worden gehanteerd om de kans op schade door trillingen als gevolg van bevingen te kunnen beoordelen. De praktijk van schadebeoordeling als gevolg van bevingen oriënteert zich nu op de SBR Richtlijn A [15]. Dit is een praktijkrichtlijn, die is gevoed met ervaringen met trillingen als gevolg van verkeer en als gevolg van bouwwerkzaamheden. De oorspronkelijke inzichten komen uit modelbeschouwingen [15, 18, 19]. De praktijkervaringen met het beoordelen van schade als gevolg van bevingen zijn nog beperkt. Gekwantificeerde en goed onderbouwde gegevens over de relatie tussen trillingen door bevingen en de kans op schade in de Nederlandse situatie zijn zeer schaars [17, 21, 22, 23]. De SBR richtlijn wordt op dit moment door een daartoe ingestelde commissie geëvalueerd. Er vindt daarnaast ook nog onderzoek plaats naar de invloed van trillingen door bevingen op de schadeontwikkeling in gebouwen en naar de gecombineerde invloed van bevingen en anderen oorzaken op schade in gebouwen. Waar betere indicaties ontbreken, is in dit protocol voorlopig aansluiting gezocht bij SBR Richtlijn A. In geval van onzekerheden moeten de grenswaarden vooralsnog aan de voorzichtige kant worden gekozen. Zo kan, mede ter vereenvoudiging van de beoordeling, worden uitgegaan van de meest kwetsbare categorie gebouwen in de SBR Richtlijn A. De keuze aan de voorzichtige kant moet ook betrekking hebben op de omstandigheid dat bevingen vaker voorkomen, en er nog weinig inzicht is in de effecten van het herhaald voorkomen. Om die reden moet voorlopig aansluiting gezocht worden bij criteria voor herhaald voorkomende trillingen. De grenswaarden voor de trillingsterkte moeten tenslotte eenduidig gedefinieerd worden, zodat de interpretatie van de resultaten van de sensornetwerken er goed op aansluit. Verwacht wordt dat de resultaten van lopend en toekomstig onderzoek in de te hanteren grenswaarden nog nuancering zullen aanbrenge.
- 4) Het expliciet maken van de gegevens die in de beoordeling moeten worden betrokken. Dit betreft zowel gegevens over de schade zelf, als over de context van gebouw en omgeving, inclusief de wijze van vastlegging daarvan. Het voldoen aan eisen van compleetheit van deze gegevens en aan de wijze van vastlegging, is een belangrijk element in de noodzakelijke kwaliteitsborging.
- 5) Het expliciet maken van de systematiek waarmee een oorzakelijke relatie wordt vastgesteld tussen een waargenomen schade en een beving, in de vorm van het opstellen mogelijke scenario's en afwegen van de waarschijnlijkheid dat die scenario's, die tot de waargenomen schade aanleiding zouden kunnen geven [14]. Het zichtbaar en toetsbaar maken van de gehanteerde scenario's en de beoordeling van de waarschijnlijkheid maakt de oordeelsvorming transparanter en biedt een beter aanknopingspunt in geval van beoordeling

door derden of bij een contra-expertise. Het traceerbaar hanteren van de systematiek is eveneens een belangrijk element in de kwaliteitsborging.

- 6) Het expliciet duiden van de aard van de schade, in termen van constructieve of niet constructieve schade en classificatie in termen van de invloed op esthetica, gebruikswaarde en levensduur. Dit zal van belang zijn indien de wens is het afhandelingsproces of herstelproces te versnellen voor specifieke soorten 'lichte' schade of voor schade met beperkte herstelkosten.
- 7) Het expliciet maken van de betrouwbaarheid van het oordeel, met andere woorden in welke mate wijzen alle bevindingen en aanvullende gegevens in dezelfde richting of is er op aspecten toch onduidelijkheid? Onder meer het hanteren van het principe van vermoeden van bewijs is er bij gebaat onduidelijkheden (voor zover die er zijn en relevant zijn) zichtbaar te maken.
- 8) Het splitsen van het oordeel over de oorzakelijke relatie tussen de schade en bevingen en van het oordeel over de toerekenbaarheid. In het huidige protocol [1] wordt voor de toerekening en de causaliteit van de schade één classificatie (A, B of C-schade) gehanteerd. A-schade is volledig toerekenbaar, B-schade gedeeltelijk en C-schade niet, omdat in dat laatste geval geen oorzakelijke relatie is vastgesteld. Toerekenbaarheid en waarschijnlijkheid van een oorzakelijke relatie moet niet worden vermengd. Daar moet eerst een oorzakelijke relatie worden vastgesteld. Vervolgens zijn er nog twee mogelijkheden: de schade is volledig toerekenbaar of gedeeltelijk toerekenbaar. De mate waarin schade toerekenbaar is zal moeten volgen uit de aard en omvang van de schade en de aard van het scenario, dat de oorzakelijke relatie tussen schade en de beving (en mogelijk andere oorzaken) beschrijft.

Opmerkingen

Dit voorstel bevat geen suggesties om de procesgang van het protocol aan te passen. Indien nodig zal bezien worden op welke wijze het voorstel bij de inhoud van het nieuwe protocol van NCG passend gemaakt kan worden. Het nieuwe protocol was ten tijde van het opstellen van dit voorstel voor de beoordelingsmethodiek nog niet in definitieve vorm beschikbaar.

Dit voorstel beperkt zich tot een methodiek om tot een **technisch oordeel** te komen over schade, in termen van oorzakelijkheid en toerekenbaarheid. Dit technisch oordeel vormt de input bij de afweging en beslissing over vergoeding van schade; het nieuwe protocol ziet dit als taak van een onafhankelijke schadecommissie.

D. HET VOORSTEL

Algemeen

Keuzes met betrekking tot de scope en toepassingsgebied

De voorgestelde methodiek is breed en algemeen toepasbaar voor het beoordelen van schade aan bouwwerken, onder meer door mijnbouwactiviteiten. Met betrekking tot de scope en het toepassingsgebied moeten in het protocol keuzes worden gemaakt.

De begrippen schade en bouwwerken in relatie tot mijnbouwactiviteiten

In het Burgerlijk Wetboek (art. 6:177 BW) wordt gesproken over schade die ontstaat door beweging van de bodem als gevolg van de aanleg of exploitatie van een mijnbouwwerk. Dit omvat zowel schade door aardbevingen als gevolg van gaswinning als schade door bodemdaling of andere aspecten als gevolg van gaswinning.

Met betrekking tot schade aan onroerende goederen (gebouwen, bouwwerken) heeft dit voorstel een focus op schade aan bouwwerken, waarbij schade kan optreden in zowel de bouwconstructie als in de afwerking. Met bouwwerk is onder andere een gebouw bedoeld, maar onder het begrip bouwwerk vallen ook bouwwerken geen gebouw zijnde, zoals kademuren, tuinafscheidingen, wegverhardingen, open kelderconstructies etc. Specifiek bij gebouwen kan schade zowel aan de binnenzijde als aan de buitenzijde worden waargenomen. De waarneembaarheid van schade aan de binnenzijde van gebouwen is soms beperkt door aangebrachte afwerkingen.

Het voorstel heeft betrekking op alle (combinaties van) met het blote oog waarneembare schade aan bouwwerken [12, 13, 14].

1. Scheuren (duidend op een blijvend verlies aan samenhang)
2. Blijvende vervormingen (zonder verlies aan samenhang)
3. Blijvende positie veranderingen (zoals scheefstand of (ongelijkmatige) zetting)

Er zijn waarneembare vormen van schade, zoals verkleuringen of waterdoorslag die doorgaans geen relatie hebben met bodembewegingen. Alleen indien er concrete aanwijzingen zijn dat dit wordt veroorzaakt door scheuren, blijvende vervormingen of blijvende positieveranderingen behoren ook deze (afgeleide) vormen van schade tot het begrip schade in dit voorstel. Schade als hier bedoeld is niet beperkt tot metselwerk of schade in brosse steenachtige materialen; de schade kan ook betrekking hebben op andere onderdelen van of op andere toegepaste materialen een gebouw.

Classificatie van schade

Schade aan een bouwwerk kan zowel constructieve als niet-constructieve schade zijn. Onder *constructieve schade* wordt verstaan een schade die invloed heeft op de dragende en/of stabiliserende functie, waardoor de constructieve veiligheid in het geding kan komen. Constructieve schade heeft uitsluitend betrekking op de onderdelen van een bouwwerk met een dragende functie, dus alleen op de bouwconstructie.

Opmerking 1: Behalve bij zeer zware schade, is het beoordelen of er sprake is van constructieve schade niet mogelijk op basis van uitsluitend de schadekenmerken, zoals scheurwijdtes. Een scheur van geringe breedte kan toch een onveilige situatie inhouden en een brede scheur hoeft niet onveilig te zijn. In de regel vergt het vaststellen van constructieve schade ook een constructieve beoordeling.

Opmerking 2: Waarneembare schade in de bouwconstructie hoeft niet noodzakelijk een tekort aan veiligheid te impliceren. Wanneer er een scheur in muur bestaande uit metselwerk zit, is lokaal de treksterkte van het metselwerk overschreden. Dit laat onverlet dat de muur en het totale bouwwerk mogelijk nog ruimschoots kan voldoen aan veiligheidsnormen, bijvoorbeeld door herverdeling van krachten. Als het risico op bezwijken van het totale, beschadigde bouwwerk binnen een acceptabel niveau blijft kan het bouwwerk als veilig worden beschouwd. De kwalificatie 'veilig' staat hierbij overigens los van de toerekenbaarheid van de schade aan een bepaalde oorzaak.

Niet-constructieve schade betreft schade die alleen gepaard gaat met een invloed op de esthetische waarde, een vermindering van de gebruikswaarde of een verlies van een andere functie, dus zonder dat de veiligheid in het geding komt. Niet-constructieve schade kan onderverdeeld worden in schade met consequentie voor esthetica, voor de gebruikswaarde en voor de levensduur. Voorbeelden zijn:

- **Esthetisch:** de schade is met het blote oog zichtbaar en geeft een verstoring van het aanzicht van het desbetreffende onderdeel van een bouwwerk, zoals scheurvorming in een natuurstenen vloer in een woonkamer.
- **Gebruikswaarde:** de schade resulteert in functieverlies van het desbetreffende onderdeel, zoals bijvoorbeeld de scheurvorming in een kelderwand, waardoor de kelder niet meer waterdicht is of het vochtig worden van spouwmuurisolatie, waardoor de isolerende functie achteruitgaat.
- **Levensduur:** de schade resulteert in een (versnelde) aantasting van onderdelen van een bouwwerk, zoals bijvoorbeeld scheurvorming in een gevel waardoor achterliggende onderdelen nat kunnen worden en bijvoorbeeld corrosie van ankers of wapening kan optreden.

Basis van de beoordelingsmethodiek

De methodiek is gebaseerd op [13]:

- A. het verzamelen van gegevens over de schade, het gebouw en de omgeving
- B. een analyse van scenario's die tot de waargenomen schade kunnen leiden
- C. de beoordeling van de waarschijnlijkheid van die scenario's

In verband met het primaire doel van het schadeprotocol en de relatie met de mijnbouwactiviteiten moeten oorzaken die relatie hebben met de mijnbouwactiviteiten altijd in de scenario's worden meegenomen. Dit zijn dus:

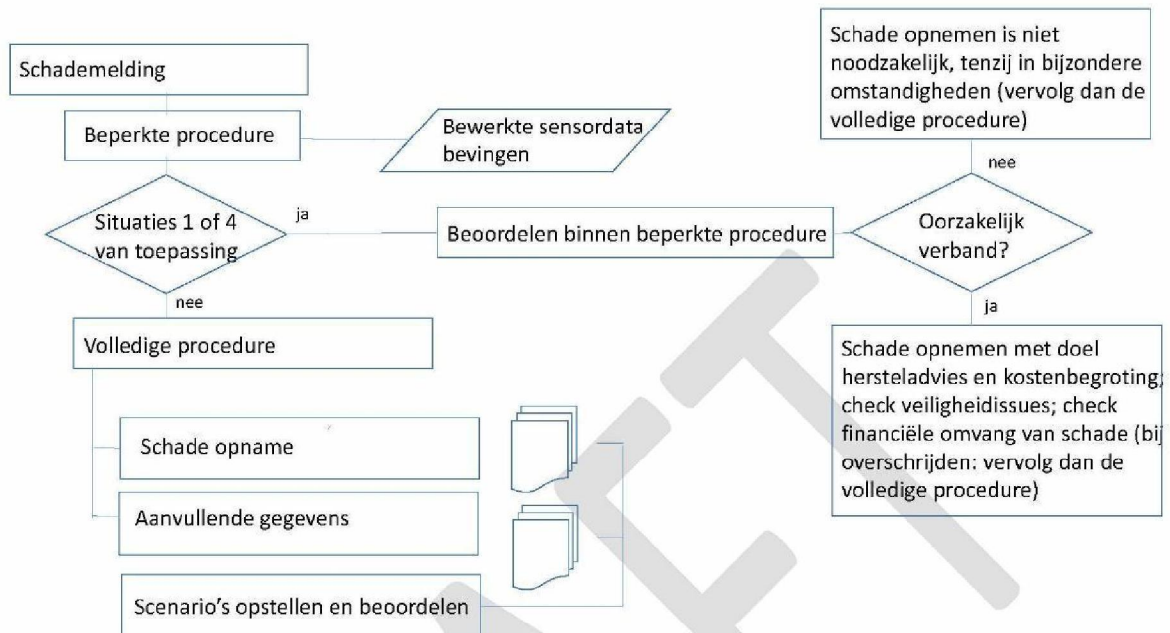
- a. Overbelasting door trillingen als gevolg van geïnduceerde bevingen
- b. Ongelijkmatige zettingen in de fundering en/of ondergrond door veranderingen in de ondergrond. Hierbij komen aspecten als diepe bodembeweging en ondiepe bodembeweging aan de orde, welke laatste ook kunnen zijn gerelateerd aan wijzigingen van oppervlaktepeilen en grondwaterpeilen als gevolg van de diepe bodembeweging.

De methodiek bestaat uit twee onderdelen, een beperkte procedure en een volledige procedure.

De beperkte procedure, die in deel I is omschreven, kan worden toegepast indien trillingen door geïnduceerde bevingen de vermoedelijke oorzaak van de schade zijn. De beperkte procedure biedt sneller en eenvoudiger inzicht in de waarschijnlijkheid van een oorzakelijk verband tussen schade en geïnduceerde bevingen.

De volledige procedure, die in deel II is omschreven, kan altijd worden toegepast voor alle schade als gevolg van mijnbouwactiviteiten.

In beide gevallen moet worden voldaan aan de vereisten van kwaliteitsborging zoals omschreven in deel III. Indien onveilige situaties worden geconstateerd, is deel IV van toepassing.



Figuur 1 – Schematische weergave van de beoordelingsmethodiek; situatie 1 en 4 zijn toetsbaar op basis van de locatie van het schade object en/of aan de voor die locatie bepaalde trillingsterkte.

Deel I – Beperkte procedure voor beoordeling van schade met geïnduceerde bevingen als vermoedelijke oorzaak

Indien *geïnduceerde bevingen* een vermoedelijke oorzaak van schade zijn, start de beoordelingsmethodiek bij de beperkte procedure, die in dit deel wordt beschreven.

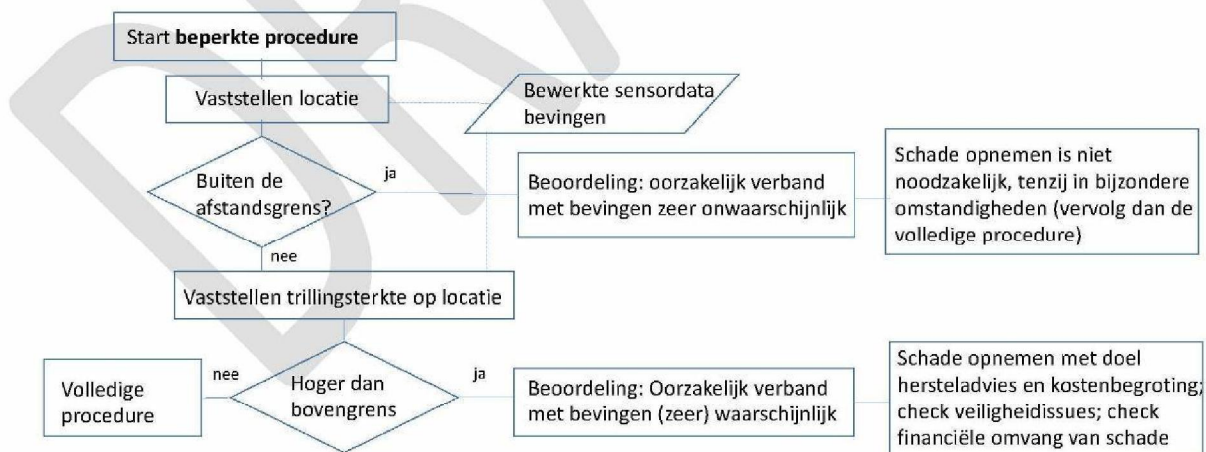
Het is van belang in een vroeg stadium van het onderzoek na te kunnen gaan welke grootte van de trillingen met welke waarschijnlijkheid zich op de locatie van de schademelding heeft voorgedaan. In combinatie met een verwachte/geschatte omvang van de schade kan met dit gegeven relatief snel worden beslist of dit scenario a priori zeer onwaarschijnlijk is of juist (zeer) waarschijnlijk is. Figuur 2 geeft in de vorm van een stroomschema de elementen van de beperkte procedure aan.

Mocht deze beperkte procedure geen uitsluitsel bieden, dan is de volledige procedure van toepassing, die in deel II wordt beschreven.

De Gegevensverzameling

Vaststellen van de kenmerken van de beving(en)

Na een melding van schade moet worden nagegaan welke trillingsterkte als gevolg van (recente) beving(en) op de locatie van de schademelding met welke waarschijnlijkheid is opgetreden. Dit kan gebeuren op basis van de beschikbare registraties van de sensornetwerken van KNMI en/of TNO. Aanbevolen wordt voor een gedegen interpretatie van de sensordata met het oog op de schadeafhandeling met deze organisaties afspraken te maken. Deze data vormen het startpunt van de beperkte procedure. Op basis hiervan onderscheiden we verschillende situaties, die hieronder zijn beschreven.



Figuur 2 – Schematische weergave van de beperkte procedure

De beoordeling

Situatie 1 – De bovengrens is overschreden - een oorzakelijke relatie met bevingen is waarschijnlijk

Bij voldoende hoge trillingswaarden kan bij gebouwen in metselwerk of vergelijkbare brosse steenachtige materialen vanuit technisch perspectief een oorzakelijke relatie tussen de schade en trillingen door de beving worden aangenomen op basis van het overschrijden van de eerste bovengrens.

Aanvullende voorwaarden:

- De oorzakelijke relatie heeft slechts betrekking op schade waarvan op basis van de opname van de schade niet kan worden uitgesloten dat deze (mede) als gevolg van bevingen is ontstaan.
- Indien een grens voor de omvang van de herstelkosten wordt gehanteerd, moeten de verwachte herstelkosten onder die grens liggen.
- De schade is gemeld binnen zes maanden na de beving waarvoor de desbetreffende bovengrens van toepassing is.

Aandachtspunten:

- Veiligheidsissues kunnen aan de orde zijn, hiervoor moet bij de schade opname aandacht zijn.

De oorzakelijke relatie wordt in dit geval als waarschijnlijk gekwalificeerd en het technische advies uit deze beoordelingsmethodiek is om de oorzakelijke relatie tussen de schade en de trillingen door de beving als waarschijnlijk aan te nemen. De opname van de schade heeft tot doel om de schade vast te stellen en een kader te bieden voor de herstel- en reparatiewerkzaamheden en voor een kostenschatting hiervan.

De bovengrens voor trillingen

Op basis van de huidige inzichten worden trillingen door bevingen als waarschijnlijke oorzaak voor gebouwen in metselwerk (zowel hoofdoorzaak als bijkomende oorzaak) beschouwd, indien de topwaarde van de grootste component van de trillingsnelheid gemeten op bodemoppervlak of op begane grondniveau van een bouwwerk de waarde van 10 mm/s met een kans van ten minste 25 % overschrijdt. Deze combinatie van trillingsterkte en overschrijdingskans vormt de bovengrens.

Noot 1: De keuze van deze grens is nader toegelicht in de bijlage. De grens kan ook worden geformuleerd als een waarde van 7,5 mm/s die met een kans van ten minste 50 % wordt overschreden. Schade binnen klasse DS1 (Damage State 1) is bij deze trillingsterkte aannemelijk. Indicatief wordt de kans op schade in deze situatie geschat op meer dan 10 % per geval. De kans dat deze schade tot DS2 behoort, bedraagt volgens de huidige inzichten meer dan 1 % per geval [17, 18, 22].

Trillingen door bevingen hebben invloed op een groot aantal bouwwerken tegelijkertijd. Bij een populatie bouwwerken die aan deze condities voldoet en die na een beving een percentage schademeldingen heeft dat in redelijke verhouding tot deze kans staat, kan voor die afzonderlijke schademeldingen uitgegaan worden van een *waarschijnlijke oorzakelijke* relatie met de trillingen door de beving(en).

Het percentage schademeldingen in een populatie is uiteraard afhankelijk van de oplettendheid van de bewoners of eigenaren en van het meldingsgedrag. Hier zal ervaring mee opgedaan moeten worden. Ook kunnen de inzichten omtrent de toe te passen criteria nog wijzigen. Afhankelijk van de ervaringen en inzichten die met de toepassing van deze bovengrens in deze methodiek zullen worden opgedaan, kan deze bovengrens en kunnen de voorwaarden voor toepassing in de toekomst nog worden bijgesteld.

Opname de schade

Indien situatie 1 van toepassing is, zal een deskundige de gemelde schade opnemen en documenteren, voor zover niet kan worden uitgesloten dat de schade (mede) door bevingen is ontstaan. In geval van zo'n uitsluiting dient dit door de opname deskundige gemotiveerd in het schaderapport te worden aangegeven; uit oogpunt van zorgvuldigheid moet dit bovendien door een (tweede) deskundige/beoordelaar worden bevestigd. De schade opname geldt als basis voor een technisch herstel- of reparatieadvies. Voor de elementen en aspecten van de schade opname wordt verwezen naar onderdeel 1a van de volledige procedure.

Situatie 2 – De bovengrens is niet overschreden maar de ondergrens is wel overschreden, een oorzakelijke relatie met bevingen is mogelijk maar voorsnog onduidelijk

De trillingsterkte is kleiner dan de bovengrens, waardoor situatie 1 niet van toepassing is en een oorzakelijke relatie tussen schade en beving kan niet a priori als waarschijnlijk worden benoemd. En anderzijds is de trillingsterkte wel groter dan de ondergrens. Het oorzakelijk verband kan daardoor niet a priori als onwaarschijnlijk worden benoemd.

In dit geval is de oorzakelijke relatie tussen schade en de beving(en) mogelijk, maar *voorsnog onduidelijk*. De volledige procedure doorlopen moeten worden om een oorzakelijk verband vast te stellen. Deze volledige procedure voor de beoordeling van schade als gevolg van mijnbouwactiviteiten is in deel II is beschreven.

De ondergrens voor trillingen

Op basis van de huidige inzichten worden trillingen door bevingen als onwaarschijnlijke beschouwd, indien de topwaarde van grootste component van de trillingsnelheid als gevolg van de beving gemeten op bodemoppervlak of op begane grondniveau van een gebouw of bouwwerk de waarde 2,0 mm/s met een kans van ten hoogste 25 % overschrijdt.

Deze waarden voor de ondergrens zijn gebaseerd op de overweging dat kortdurende trillingen met een sterkte in de orde order van 0,5 tot 1,5 mm/s relatief vaak in gebouwen voorkomen, alleen al als gevolg van normaal gebruik (belopen van vloeren, sluiten van deuren). Ook vaak voorkomende kortdurende omgevingsverstoringen (bijv. verkeer) leiden tot trillingen in deze orde van grootte of groter. Bij het hanteren van de grens van 2,0 mm/s is voorsnog aangesloten op de laagste grens uit SBR Richtlijn A (voor herhaald kortdurende trillingen, bouwwerkklasse 3). Bij het aanhouden hiervan wordt de kans op schade (in DS1 of hoger) – volgens de huidige inzichten aanzienlijk kleiner dan 1 % ingeschat. De bijlage geeft meer informatie over de kans op schade bij verschillende trilingsterkten.

Er vindt op dit moment nog onderzoek plaats naar (gecombineerde) oorzaken van schade in Groningen en naar het ontstaan van schade aan bouwwerken in metselwerk bij lage trillingsterkten. De resultaten van dit onderzoek of andere nieuwe inzichten kunnen aanleiding zijn deze ondergrens bij te stellen. Ook op basis van de ervaring die met de toepassing van deze ondergrens in deze methodiek zullen worden opgedaan, kan de ondergrens in de toekomst nog worden bijgesteld

Afstandsgrenzen

De ondergrens voor trillingen kan ook worden vertaald in een afstandsgrens. Op een afstand groter dan de afstandsgrens, zal de trillingsterkte kleiner zijn dan de ondergrens en zal een oorzakelijke relatie tussen trillingen en schade dus onwaarschijnlijk zijn. Afstandsgrenzen kunnen op basis van de sensordata van de historische bevingen elk afzonderlijk worden bepaald. Daarin moeten alle bekende bronnen van spreiding en

onzekerheid in de trillingen (gebouweigenschappen, bodemeigenschappen) worden verdisconteerd.

Omdat niet uitgesloten is dat schade door eerdere bevingen is ontstaan en/of pas later wordt opgemerkt en/of omdat evenmin kan worden uitgesloten dat de invloed van meerdere bevingen van belang is bij het ontstaan van schade, kan een afstandsgrens alleen worden aangehouden indien deze grens voor alle (historische) bevingen en met voldoende onzekerheidsmarge wordt bepaald. De noodzakelijke basisgegevens hiervoor zijn beschikbaar en technisch is het mogelijk zo'n afstandsgrens voor bevingen in het Groningenveld vast te stellen. Door het combineren van afstandsgrenzen van alle historische bevingen afzonderlijk, kan een afstandsgrens worden bepaald die geldig is voor alle nu bekende bevingen (tot magnitude 3,6) en de nu bekende epicentra. Ook andere overwegingen kunnen meespelen bij het vaststellen van een afstandsgrens, bijvoorbeeld extra onzekerheidsmarges. Het vaststellen van een afstandsgrens is een bestuurlijke keuze.

Situatie 3 – De ondergrens is niet overschreden, maar de locatie valt onder een bijzondere omstandigheid: een oorzakelijke relatie met bevingen is vooralsnog onduidelijk

Uit de huidige ervaringen met beoordeling van schade door trillingen als gevolg van bevingen in Groningen komt naar voren dat op plaatsen waar door menselijk handelen de ondiepe ondergrond is veranderd - waardoor de stabiliteit van de ondergrond voor het gebouw (incl. fundering) negatief kan zijn beïnvloed - een bijzondere gevoeligheid kan bestaan. Hierover bestaat nog onvoldoende duidelijkheid. Naar de invloed van deze bijzondere omstandigheden wordt nog onderzoek verricht. Ook zijn er locaties waar plaatselijke bodembewegingen door specifieke mijnbouwactiviteiten – niet zijnde de aardgaswinning uit het Groningenveld - optreden. De gecombineerde invloed hiervan op gebouwen en bouwwerken is minder goed bekend en is eveneens nog onderwerp van onderzoek.

De bijzondere omstandigheden omvatten vooralsnog de volgende locaties:

- op zeer korte afstand van oevers van kanalen en rivieren
- terpen of wierden
- de hellingen of talud van een dijk
- met verstoorde natuurlijke ondergrond door opvullingen en ophogingen (anders dan voor bouwrijp maken van terreinen)
- bodemdaling- of bodembewegingsgebieden door specifieke mijnbouwactiviteiten (bij voorbeeld de diverse concessies voor mineralenwinning bij Veendam en Winschoten, voor gasopslag nabij o.m. Grijskerk, Veendam en Winschoten).

Opmerking 3: De omschrijving van deze bijzondere omstandigheden moet nog verder worden gepreciseerd voor een goede toepassing in het kader van het protocol. Resultaten van lopend of toekomstig onderzoek kunnen aanleiding zijn deze lijst van bijzondere omstandigheden te nuanceren, uit te breiden of in te perken.

In deze gevallen is de oorzakelijke relatie tussen schade en de beving(en) ook *vooralsnog onduidelijk* en moet de volledige procedure voor de beoordeling van schade als gevolg van mijnbouwactiviteiten doorlopen worden om een oorzakelijk verband vast te stellen. De volledige procedure is in deel II is beschreven.

Situatie 4 – Locatie ligt op zeer grote afstand en er zijn geen bijzondere omstandigheden - een oorzakelijke relatie met bevingen is onwaarschijnlijk.

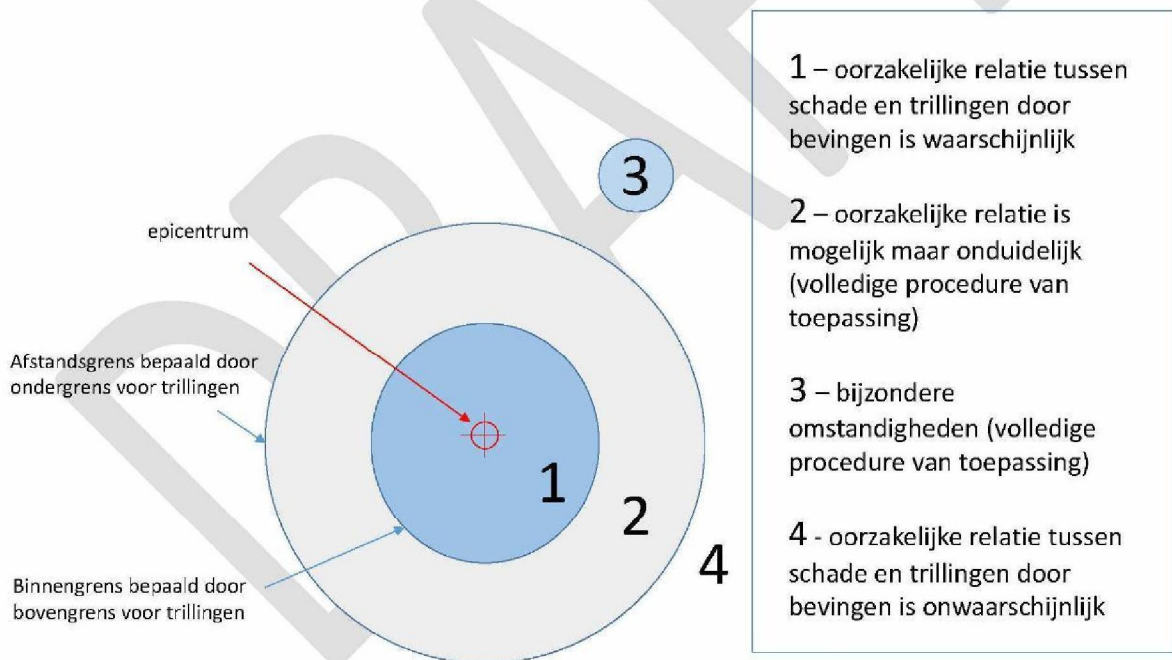
Bij voldoende lage trillingswaarden kan vanuit technisch perspectief een oorzakelijke relatie tussen een beving en een schade als onwaarschijnlijk worden gekwalificeerd. Hiertoe is een ondergrens voor

de trillingen en/of een afstandsgrens tot de epicentra voorgesteld (zie kader). Duiding van andere mogelijke oorzaken heeft vanuit technisch perspectief geen/weinig toegevoegde waarde in de relatie tot de onwaarschijnlijkheid van een oorzakelijke verband, de grote waarschijnlijkheid van andere oorzaken en de hoogte van de kosten van die nadere duiding.

Tenzij er andere zwaarwegende of bijzondere omstandigheden een rol spelen (zie situatie 3), is het technisch advies hier af te zien van opname van de schade.

In figuur 3 zijn de drie verschillende situaties schematisch in een plattegrond ten opzichte van het epicentrum van een beving schematisch weergegeven. Situatie 1 betreft meldingen op korte afstand van een beving waar schade door trillingen als gevolg van een beving waarschijnlijk is, situatie 2 vormt een tussengebied, situatie 3 zijn meldingen met de bijzondere omstandigheden op grote afstand en situatie 4 zijn meldingen op grote afstand van het epicentrum waar een oorzakelijke relatie tussen schade en de beving onwaarschijnlijk is.

De beperkte procedure geeft dus alleen directe duidelijkheid voor de situaties 1 en 4. Voor een uitspraak over een oorzakelijke relatie voor meldingen in het tussengebied (situatie 2) en voor meldingen met bijzondere omstandigheden (situatie 3) moet de volledige procedure worden toegepast. De volledige procedure moet ook worden toegepast voor alle schademeldingen die niet trillingen door bevingen als vermoedelijke oorzaak hebben.



Figuur 3 – aanduiding van de vier verschillende situaties ten opzichte van het epicentrum van een beving.

Deel II – Volledige procedure voor de beoordeling van schade als gevolg van mijnbouwactiviteiten

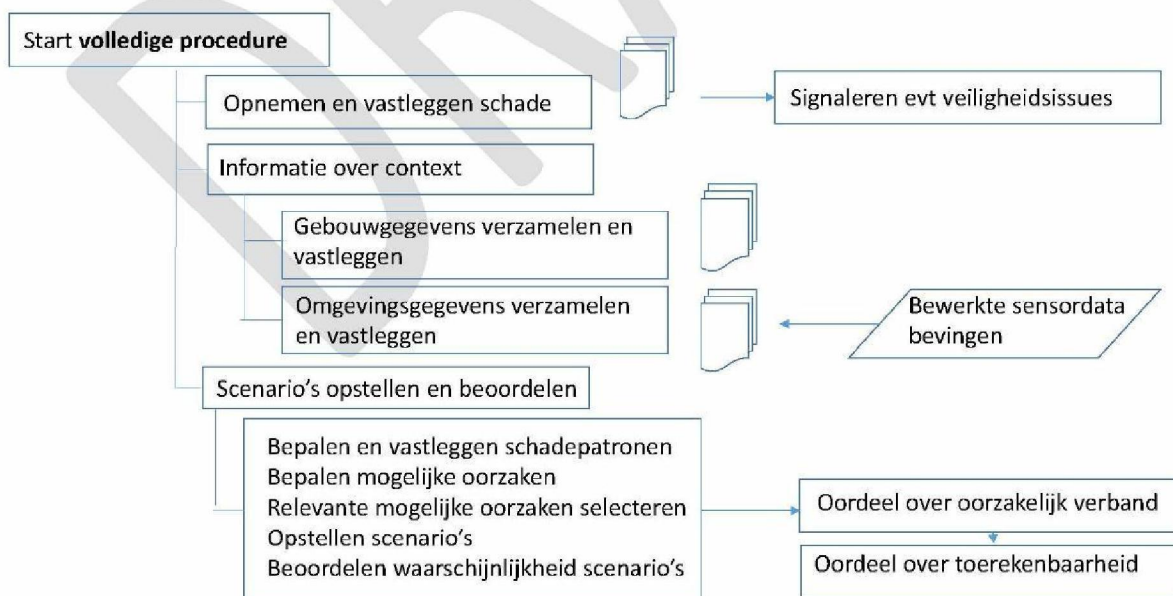
In dit deel is de volledige procedure voor de beoordeling van schade als gevolg van mijnbouwactiviteiten beschreven. Deze kan altijd worden toegepast voor de beoordeling van gemelde schades.

De volledige procedure vormt een vervolg op de beperkte procedure, indien bij beoordeling volgens de beperkte procedure een (eventueel gestelde) financiële grens van de schade is overschreden, voor alle schadeobjecten op locaties die binnen de afstandsgrens liggen maar waar de trillingen niet zodanig sterk zijn geweest dat zij aan de bovengrens voldoen (situatie 2 in de beperkte procedure), en voor schadeobjecten die buiten de afstandsgrens liggen en waar bijzondere omstandigheden aan de orde zijn (situatie 3 in de beperkte procedure).

De volledige procedure omvat de volgende onderdelen:

1. Gegevensverzameling
 - 1a. Schade en schadekenmerken
 - 1b. Gebouw en gebouwkenmerken
 - 1c. Omgevingskenmerken
2. Opstellen, analyse en beoordeling van scenario's
 - 2a. Schadepatronen
 - 2b. Mogelijke oorzaken
 - 2c. Relevante mogelijke oorzaken
 - 2d. Opstellen scenario's
 - 2e. Beoordelen waarschijnlijkheid scenario's
3. Eindoordeel

Deze onderdelen zijn hieronder toegelicht. Figuur 4 geeft een schematisch beeld van de volledige procedure.



Figuur 4: schematische weergave van de volledige procedure

1. De Gegevensverzameling

Een deskundige zal altijd de gemelde schade opmaken en documenteren. Een goede documentatie van de schade is niet alleen van belang voor een eerste beoordeling, maar ook voor een latere eventuele contra-expertise.

Het is daarbij van belang dat alle zichtbare schade wordt beschreven, dus ook de eventuele schade die niet door eigenaar/bewoner wordt gemeld. Waar in de opname geen schade is geconstateerd, moet er van uitgegaan kunnen worden dat daar geen schade is, zodat de opname ook het karakter heeft van een nulopname. Dit kan later wellicht van dienst zijn bij vervolgschades.

Ook zullen een aantal algemene kenmerken van het gebouw of bouwwerk en een aantal algemene kernmerken van de omgeving moeten worden opgenomen. De gegevensverzameling volgt de aanpak die in [3] en [13] is gepresenteerd.

In onderstaande opname van schade/schadekenmerken en gebouw/gebouwkenmerken zijn de volgende middelen van vastlegging met een lettercode aangeduid:

A – kwalitatieve beschrijving van waarnemingen of relevante achtergrondinformatie van eigenaar/bewoner/beheerder.

F - vastleggen door middel van foto

K – vastleggen door middel van kwalitatieve beschrijving

M – vastleggen op basis van meting

T – vastleggen op plattegrond of tekening of in schets van bijv. gevelaanzichten

1a Opname en vastlegging van schade en schadekenmerken

- Feitenrelaas van de eigenaar, bewoner of beheerder met betrekking tot het ontstaan en/of de eerste waarneming van de schade – A
- Herleidbare en identificeerbare positie van de schade (plaats in gebouw, bouwdeel, bouwelement, positie in bouwelement, in afwerking of door en door, scheur in voeg of steen) – F, T
- Bij scheuren:
 - verplaatsing in de scheur (in of uit het vlak) – K, M
 - Symmetrisch of niet - K
 - Lengte, breedte en diepte van de scheur - M
 - Scheurwijdte over de lengte: constant of verbreedend naar een of beide uiteinden, etc) - M
 - Het scheurpatroon - F, K
 - Vervuiling in de scheur – K, F
 - Erosie van scheurranden – K, F
 - Kleur van het scheurvlak – K, F
 - Verschillen over de lengte die verschillen in ouderdom indiceren – K, F
 - Aangebrachte afwerking over de scheuren – K, F
 - Uitgevoerde reparaties – K, F
- Met het blote oog waarneembare vervorming in het vlak (afwijking van horizontaal of verticaal) – K, eventueel M
- Met het blote oog waarneembare vervorming uit het vlak (boven/midden/onderin gebouw), naar binnen of naar buiten – K, eventueel M

- Met het blote oog waarneembare verschilzakkingen in het gebouw of over de lengte van het gebouw (scheefstand vloer) – K, eventueel M
- Met het blote oog waarneembare scheefstand van een bouwwerk of verschillen in scheefstand – K, eventueel M
- Bij met het oog waarneembare verschilzakkingen of scheefstanden moet een waterpassing of niveaumeting worden uitgevoerd - M
- Indien scheuren doorlopen tot in de fundering en/of als het vermoeden bestaat dat er schade in/aan de fundering is, moet een visuele funderingsinspectie worden uitgevoerd – K, F.

Vastlegging moet gebeuren in de vorm van een schade opname rapport.

Opmerking 4: Het verdient aanbeveling voor de vastlegging van bovenstaande elementen van de schadeopname een format op te stellen, zodat de compleetheid van de opname kan worden gecontroleerd en de kans wordt beperkt dat tijdens de opname zaken over het hoofd worden gezien of niet worden vastgelegd.

Aandachtspunten bij opname en vastlegging van schade

A) Identificatie van schade door trillingen [1]

Schade en schadepatronen door trillingen als gevolg van bevingen laat zich in de regel moeilijk onderscheiden van schade en schadepatronen die ook door andere oorzaken zouden kunnen zijn ontstaan. De belangrijkste kenmerken van schade in de vorm van scheuren in steenachtige materialen, die duiden op de oorzaak trillingen als gevolg van bevingen in de Groningse context zijn:

- 1) Scheuren zijn recent, dit blijkt uit de omstandigheid dat er zijn geen vuil-/ ouderdomskenmerken waarneembaar zijn en het breukvlak van de verse scheur schoon is en scherpe randen heeft;
- 2) Vaak zijn de scheurwijdtes gering (orde 1-5 mm)

Reeds aanwezige schade in de vorm van scheuren in steenachtige materialen kunnen ook sporen vertonen van verergering en/of toename. Dit kan zich uiten in een met het blote oog waarneembare toename van scheurwijdte, scheurlengte, aanwezige vervorming of toename van loszittende delen.

Of er sprake is van een toename van de schade kan worden afgeleid uit:

- a. Scheuren hebben sporen van recente toename zoals:
 - Schone en scherpe breuklijnen van de uitbreiding van de scheur
 - Steen- /mortelgruis in het breukvlak of in de nabijheid (bijv. op de grond)
 - Schone, recent blootliggende vlakken bij vervormingen
- b. Informatie / feiten van de schademelder

B) Identificatie van schade door (ongelijkmatige) zettingen

Schade en schadepatronen door ongelijkmatige zettingen laten zich in de regel niet eenduidig onderscheiden van schade en schadepatronen die ook door andere oorzaken zouden kunnen zijn ontstaan. Ondersteunende/aanvullende gegevens zijn dus nodig. De belangrijkste kenmerken van deze schade zijn scheefstanden van wanden en/of vloeren, zichtbaar ongelijkmatig verloop van oorspronkelijk horizontaal verlopende voeglijnen, scheuren in steenachtige materialen met een verticaal of diagonaal verloop, openstand van scheuren of een verloop van scheurwijdte. Het verdient derhalve aanbeveling bij visuele waarneming van dergelijke schadekenmerken de scheefstanden, het zettingsverloop en de scheurwijdtes door meting vast te stellen.

1b Verzamelen en vastlegging van gebouw en gebouwkenmerken

Voor de gebouwkenmerken wordt het volgende geïnventariseerd:

- Feitenrelaas van de eigenaar, bewoner of beheerder met betrekking tot het gebruik, inrichting van het gebouw of bouwwerk en eventuele fysieke wijzigingen in of aan het gebouw of bouwwerk - A
- Bouwjaar - K
- Functies - K
- algemeen overzicht van het gebouw (afmetingen, type gevel, type dak, aanwezigheid kelder, etc.) – K, F
- materialen (fundering, dragende muren, balken, spantconstructie, afwerking en kleur hiervan, etc.) K, F
- beschrijving van de constructie (incl. aanwezigheid van dilataties) – K, F
- staat van onderhoud (metselwerk, spanten, verbindingen, etc.) – K, F
- mogelijkheden voor accumulatie sneeuw/regenwater – K, F
- zichtbare aanwijzingen voor lekkages hemelwaterafvoer/goot (verkleuring/vochtig metselwerk, uitgespoelde grond) – K, F
- veranderingen/verbouwingen – K, F
- overige specifieke kenmerken die mogelijk relevant kunnen zijn – K
- indien onduidelijkheid bestaat over de funderingswijze van het pand moet dit door middel van visuele inspectie worden vastgesteld – K, F

Vastlegging moet gebeuren in de vorm van een dossier met aanvullende informatie, dat als bijlage aan het schade opname rapport kan worden toegevoegd

Opmerking 5: Het verdient aanbeveling voor de vastlegging van bovenstaande elementen van de gebouwgegevens een format op te stellen, zodat de een goed overzicht ontstaat welke gegevens wel en (nog) niet bekend zijn.

1c Omgeving en omgevingskenmerken

Voor de omgevingskenmerken wordt het volgende geïnventariseerd:

- Feitenrelaas van de eigenaar, bewoner of beheerder met betrekking tot de omgevingsomstandigheden nabij het gebouw of bouwwerk en eventuele wijzigingen daarin.
- Bodemopbouw ondiepe ondergrond (boringen, sonderingen)
- Aanwezigheid van bijzondere situaties met betrekking tot de bodem (bijv. terpen, wierden, taluds, hellingen, oevers, ophogingen of opvullingen, locaties met bodembeweging door specifieke mijnbouwactiviteiten)
- Fluctuaties en aanpassingen grondwaterstand (historisch overzicht, voor zover beschikbaar)
- Aanwezigheid bomen en wortelgroei (afstand bouwwerk en type)
- Opgetreden autonome zettingen / (diepe) bodemdaling
- Aanwezigheid wegverkeer (afstand/snelheid/type wegdek, aanwezigheid verkeersdrempels)
- Aanwezigheid treinverkeer binnen 100 m
- Aanwezigheid bouwactiviteiten (0, 20, 100m), ook in het verleden (ophoging wegdek, dijklichaam, graafwerkzaamheden, riolering, enz.)
- Aanwezigheid industriële activiteiten (binnen 100 m)
- Opgetreden calamiteiten (zoals aanrijding, explosie, bliksem, brand)
- De opgetreden trillingen veroorzaakt door recente bevingen gebaseerd op sensordata.

Vastlegging moet gebeuren in de vorm van een dossier met aanvullende informatie, dat als bijlage aan het schade opname rapport kan worden toegevoegd.

Opmerking 6: Het verdient aanbeveling voor de vastlegging van bovenstaande elementen van de omgeving een format op te stellen, zodat de een goed overzicht ontstaat welke gegevens wel en (nog) niet bekend zijn.

Toelichting bij omgevingskenmerken - het gebruik van ondersteunende data over bevingen uit sensornetwerken

Op basis van een analyse van de registraties van de sensornetwerken moet worden vastgesteld welke grootte van de trillingen met welke waarschijnlijkheid zich op de locatie van de schademelding heeft voorgedaan. In combinatie met kenmerken van de schade kan dit gegeven bijdragen aan de beoordeling van dit scenario. Uit referenties [5-9] blijkt dat de interpretatie en de beoordeling van opgetreden trillingen tot nu toe een zwakke schakel is in de oordeelsvorming. Om die reden zijn in dit kader nadere interpretatievoorstellen gegeven.

Opmerking 7: De data uit de sensornetwerken vereisen op dit moment nog aanvullende bewerking en interpretatie. Aanbevolen wordt de interpretatie van de sensordata te laten faciliteren en/of verzorgen door de organisatie die de sensordata verzamelt en beheert. Het is van groot belang dat de geïnterpreteerde sensordata in eenduidige vorm en op korte termijn na een beving beschikbaar komen.

Op basis van de huidige inzichten worden trillingen door bevingen als **waarschijnlijke oorzaak** voor gebouwen in metselwerk (zowel hoofdoorzaak als bijkomende oorzaak) beschouwd, indien de topwaarde van de grootste component van de trillingsnelheid gemeten op bodemoppervlak of op begane grondniveau van bouwwerk de bovengrens heeft overschreden. De bovengrens is toegelicht in deel I (beperkte procedure).

Op basis van de huidige inzichten worden trillingen door bevingen als een **onwaarschijnlijke oorzaak** indien de trillingsterkte van de beving(en) kleiner zijn dan de ondergrens en/of de locatie van de schademelding buiten de afstandsgrens is gelegen, en geen bijzondere omstandigheden met betrekking tot de locatie aan de orde zijn. De ondergrens en de afstandsgrens zijn toegelicht in deel I (beperkte procedure).

Op basis van de huidige inzichten wordt de waarschijnlijkheid dat trillingen door bevingen een (mede) oorzaak zijn als **niet duidelijk** gekwalificeerd, indien de bovenstaande kwalificaties niet van toepassing zijn.

2. Analyse van scenario's

Een scenario is een omschrijving van gebeurtenissen gedurende de tijd die een verklaring geven voor het optreden van de waargenomen schade. In de volgende paragrafen wordt aangegeven hoe de mogelijke scenario's worden bepaald nadat eerst mogelijke individuele oorzaken in kaart worden gebracht. Deze aanpak sluit aan op [13].

2a Schadepatronen

Een schadepatroon is een combinatie van verschillende schadekenmerken zoals positie, oriëntatie en afmeting van een scheur of van meerdere scheuren en van een vervormingspatroon. Het is belangrijk te beseffen dat door het definiëren van een schadepatroon aan de hand van schadekenmerken bepaalde oorzaken in beeld zullen komen en bepaalde oorzaken kunnen worden uitgesloten. Mogelijk kunnen verschillende schadekenmerken (bijv. een aantal verschillende scheuren en een vervormingspatroon) ook gegroepeerd worden in andere schadepatronen; deze verschillende

schadepatronen dienen dan in ogenschouw te worden genomen. Als voorbeeld: een woning vertoont op meerdere plaatsen vergelijkbare verticale scheuren bij de uiteinden van lateien boven raamopeningen. Dit kan door de beoordelaar als één schadepatroon worden gegroepeerd en behandeld. Diagonale scheuren die bij andere ramen zitten, zouden in zo'n geval als een tweede schadepatroon kunnen worden gegroepeerd en behandeld.

2b Mogelijke oorzaken

Voor mogelijke oorzaken wordt de volgende categorisering aangehouden, die grotendeels is gebaseerd op de methodiek van TNO [3]:

- ontstaan door externe belastingen op het bouwwerk
 - onvoldoende sterkte of stijfheid
 - overbelasting vanuit gebruik,
 - overbelasting door trillingen,
 - incidentele overbelasting door bijzondere belastingen
- ontstaan door opgelegde of verhinderde vervormingen in het bouwwerk
 - verhinderde vervormingen (= 'constructie wil vervormen maar kan het niet', bijv. uitzetting en verkorting door temperatuurwisselingen)
 - opgelegde vervormingen (= 'constructie moet vervormen, maar wil het niet'; bijv. door corrosie)
- ontstaan door (ongelijkmatige) zettingen in de fundering en/of ondergrond
 - autonome zettingen (bijv. door onvoldoende draagvermogen fundering of bodemdaling)
 - verandering van de belastingen op de ondergrond
 - verandering in de ondergrond
 - wortelgroei bomen
- overig

2c Relevante mogelijke oorzaken

Het analyseren van de waargenomen schadepatronen in combinatie met de gebouw en omgevingskenmerken geeft essentiële informatie over waarschijnlijke en niet-waarschijnlijke oorzaken.

Opmerking 8: Er moet gestructureerd gewerkt worden om geen relevante mogelijke schadeoorzaken over het hoofd te zien. Aanbevolen wordt hiervoor een checklist van mogelijke oorzaken en bijbehorende schadepatronen te hanteren.

Een aantal potentiële oorzaken zijn niet relevant omdat ze niet passen bij het schadepatroon of bij gebouw/omgevingskenmerken. Daarmee kunnen die scenario's worden gefalsificeerd en dus buiten de verdere beoordeling blijven. Niet relevante oorzaken zijn bijvoorbeeld oorzaken die geen enkele relatie met het schadepatroon hebben of oorzaken die op basis van toetsing aan de geïnventariseerde gebouwkenmerken en de omgevingskenmerken niet aan de orde (kunnen) zijn.

Voor de overgebleven individuele mogelijke oorzaken wordt per schadepatroon beoordeeld in hoeverre deze een bijdrage kunnen hebben geleverd aan de schade. Op basis van analyse, eventueel gebruik makend van eenvoudige berekeningen, moet worden nagegaan of de oorzaak een verklaring kan zijn voor de waargenomen schade (bepalen causaliteit). Hierbij wordt onderscheid gemaakt in 3 categorieën:

1. Hoogstwaarschijnlijk een veroorzaker
2. Mogelijk een veroorzaker, mogelijk niet. Het is hier ook mogelijk dat de oorzaak in zich zelf niet voldoende is om de schade te veroorzaken, maar dat het wel een bijdrage kan leveren aan verergering van schade
3. Hoogstwaarschijnlijk geen veroorzaker

2d Opstellen scenario's

Van de overgebleven mogelijke en hoogstwaarschijnlijk oorzaken moeten scenario's worden opgesteld. Een scenario kan bestaan uit één of meerdere mogelijke oorzaken.

Eerst worden scenario's opgesteld met maar één oorzaak. Vervolgens worden de verschillende mogelijke oorzaken samengesteld in scenario's. Bij meerdere mogelijke oorzaken kan dit leiden tot een grote hoeveelheid combinaties en dus tot grote aantallen scenario's. Ingeschat moet worden of al deze combinaties een logische verklaring geven voor de opgetreden schade, zodat er al in een vroeg stadium scenario's kunnen worden geschrapt.

Daarnaast moet ook nog worden bepaald of er naast de combinaties van mogelijke oorzaken toch ook nog scenario's kunnen bestaan waarbij eerder afgewezen mogelijke oorzaken een (kleine) bijdrage hebben geleverd. Er wordt bijvoorbeeld vanuit gegaan dat trillingen van lage intensiteit niet zelfstandig de oorzaak kunnen zijn van een schade, maar wel kunnen meewerken aan het verergeren van met name schade in de vorm van uitbreiding van scheuren.

Voor de betrouwbaarheid van het onderzoek is het van belang dat er meerdere scenario's worden opgesteld die tegen elkaar afgewogen kunnen worden.

2e Het beoordelen van de waarschijnlijkheid van scenario's

De scenario's per schadepatroon worden vervolgens getoetst. Dit dient eerst kwalitatief, met behulp van redenering, te gebeuren (in hoeverre sluit het aan bij het opgetreden schadepatroon, is de volgorde van mogelijke bijdragende oorzaken in overeenstemming met de waarnemingen, zou bij het afwezig zijn van de specifieke oorzaak de schade niet optreden, is het scenario voldoende om de schade te kunnen verklaren?). Voor het toetsen van scenario's is kennis over de ouderdom van de scheur zeer gewenst (op basis van uiterlijk scheur en informatie door bewoner).

Indien nodig moet kwantitatief worden bepaald of de scenario's een verklaring kunnen zijn voor de opgetreden schade (bijvoorbeeld door middel van piekspanning berekeningen, zetting berekeningen of temperatuur berekeningen). Hierbij dient de betrouwbaarheid van de modellen in acht te worden genomen. Bij scenario's met meerdere oorzaken, die mogelijk in een verschillende volgorde hun inwerking hebben gehad, moeten wellicht sequentiële berekeningen te worden uitgevoerd. Hiermee kan een inschatting van toerekenbaarheid van diverse oorzaken worden gedaan.

Wanneer er meerdere scenario's een verklaring zijn voor de opgetreden schade, dient na te worden gegaan of er nog aanvullende informatie kan worden verkregen om deze scenario's nader te toetsen. Indien dit niet meer mogelijk is, is het van belang om de waarschijnlijkheid van de diverse scenario's vast te stellen. Om hierbij zo veel mogelijk inzichten samen te brengen heeft een multidisciplinair team van deskundigen met verschillende vakdisciplines (geotechniek, funderingstechniek, bouwtechniek) de voorkeur.

De waarschijnlijkheid van een scenario wordt bepaald door de mate waarin een scenario met één of meerdere oorzaken een adequate verklaring biedt voor de waargenomen schadepatronen, gegeven de context van de gebouw- en omgevingskenmerken.

Tabel 1: Toe te passen waarschijnlijkheidsschalen bij de beoordeling van scenario's

0	Onmogelijk	Het is op basis van de gegevens nagenoeg uitgesloten dat een scenario op is getreden
1	Zeer onwaarschijnlijk	Vrijwel alle gegevens passen niet bij het scenario
2	Onwaarschijnlijk	Een groot deel van de gegevens past niet bij het scenario
3	Niet duidelijk	Op basis van de gegevens is het niet duidelijk of het scenario waarschijnlijk is
4	Waarschijnlijk	Een groot deel van de gegevens past bij het scenario
5	Zeer waarschijnlijk	Vrijwel alle gegevens passen bij het scenario

Tenslotte moet voor de eindconclusie worden bepaald in hoeverre de uitspraak betrouwbaar is. Een methode kan betrouwbaar worden geacht, wanneer deze geschikt is voor zijn doel en wanneer er consistente resultaten optreden bij herhaald gebruik. Vertaald naar dit voorstel betekent het dat de uitspraken betrouwbaar zijn, als er bij herhaald onderzoek zelfde resultaten uit zouden komen. De betrouwbaarheid wordt bepaald door volledigheid en correctheid van de gegevens, volledigheid van de beschouwde mogelijke scenario's en correctheid van de toetsing van de scenario's. Tabel 2 geeft de te hanteren schaal aan. Per scenario moet in de beoordeling een classificatie van de betrouwbaarheid en een motivatie hiervan worden aangegeven.

Tabel 2: Toe te passen betrouwbaarheidsschalen bij de beoordeling van scenario's

1	Zeer onbetrouwbaar	Er mist een groot deel van de gegevens of de gegevens lijken niet te kloppen
2	Onbetrouwbaar	Er mist een deel van de gegevens en een deel van de gegevens vertoont duidelijke inconsistenties
3	Neutraal	Het is onduidelijk of de gegevens volledig en betrouwbaar zijn
4	Betrouwbaar	Een groot deel van de benodigde gegevens is verzameld en de gegevens vertonen vrijwel geen inconsistenties
5	Zeer betrouwbaar	Vrijwel alle benodigde gegevens zijn verzameld en de gegevens vertonen geen inconsistenties

3 Eindoordeel over het oorzakelijk verband tussen schade en beving

Het eindoordeel van de beoordelingsmethodiek bestaat uit de volgende drie mogelijkheden op basis van de beoordeling van de scenario's:

- a. Er is geen oorzakelijk verband
- b. Er is met redelijke waarschijnlijkheid een oorzakelijk verband
- c. Er is twijfel of er is geen oordeel mogelijk is; aanvullende gegevens zijn noodzakelijk

Het eindoordeel volgt uit de waarschijnlijkheid van het scenario in combinatie met de betrouwbaarheid daarvan, zoals aangegeven in tabel 3.

Tabel 3: Eindoordeel op basis van waarschijnlijkheid van het scenario en de betrouwbaarheid van de beoordeling.

Scenario	betrouwbaarheidsoordeel				
	zeer onbetrouwbaar	onbetrouwbaar	neutraal	betrouwbaar	zeer betrouwbaar
onmogelijk	geen oordeel mogelijk			Geen oorzakelijk verband	
zeer onwaarschijnlijk					
onwaaarschijnlijk				Twijfel	
niet duidelijk				oorzakelijk verband	
waarschijnlijk					
zeer waarschijnlijk					

Eindoordeel over toerekenbaarheid van de schade

In gevallen waar een oorzakelijk verband is vastgesteld, of met redelijke waarschijnlijkheid een oorzakelijk verband is vastgesteld, moet ook een oordeel volgen over de toerekenbaarheid van de schade. De mate waarin schade toerekenbaar is, moet op logische en verklaarbare wijze volgen uit de aard en omvang van de schade en de aard van het scenario, dat de oorzakelijke relatie tussen schade en de beving (en mogelijk andere oorzaken) beschrijft.

Opmerking 9: in de toerekening van de schade mag niet de mate van waarschijnlijkheid van het oorzakelijk verband (alsnog) worden verwerkt.

Het kan hier gaan over een scenario waarin de beving als enige oorzaak of als belangrijkste oorzaak een rol speelt. In dat geval zal de schade volledig toerekenbaar zijn. Maar het kan ook gaan over scenario's waarin de beving als mede oorzaak een rol speelt. Dit laatste kan het geval zijn indien reeds aanwezig schade (ontstaan door andere oorzaken) is vergroot of verergerd. In dit laatste geval is er sprake van gedeeltelijke toerekenbaarheid van de schade aan de beving en zal ook de mate van toerekenbaarheid moeten worden vastgesteld.

Indien een oorzakelijke relatie (met redelijke waarschijnlijkheid) is vastgesteld, zijn er dus twee mogelijkheden:

Schade is volledig toerekenbaar

Er is een oorzakelijke relatie vastgesteld. De aardbeving heeft geleid tot het ontstaan van de schade. Het kan ook gebeuren dat door andere oorzaken spanning in een constructie aanwezig was en dat de aardbeving net het zetje is geweest om de schade (vaak scheurvorming) te laten ontstaan. Ook in dat geval is ook sprake van volledige toerekenbaarheid.

Schade is gedeeltelijk toerekenbaar

De aangetroffen schade was ten dele al aanwezig voor de beving én is door een aardbeving verergerd. De aangetroffen schade heeft primair een andere oorzaak dan aardbevingen en is bijvoorbeeld in de eerste plaats het gevolg van veroudering van het gebouw, verbouwingswerkzaamheden, bouwactiviteiten in de omgeving, wijzigingen in de grondwaterstand of verkeerstrillingen.

Deel III – Kwaliteitsborging

De kwaliteitsborging van deze beoordelingsmethodiek voor schade is gebaseerd op de uitgangspunten dat de methodiek **valide** en **betrouwbaar** moet. Een betrouwbaar onderzoek betekent dat wanneer dit onderzoek wordt herhaald onder dezelfde omstandigheden, dat dit tot vergelijkbare uitkomsten leidt. Validiteit betekent dat er daadwerkelijk wordt bepaald wat was bedoeld.

Hieraan zal worden voldaan indien aan de volgende eisen wordt voldaan

- De methodiek leidt tot traceerbare en verifieerbare resultaten
- De methodiek wordt toegepast met een complete set aan gegevens en gebruikt een complete set scenario's
- De methodiek wordt correct toegepast

Deze aspecten vormen daarmee ook de *centrale ankers* in de kwaliteitsborging en toetsing. Onderstaand is een toelichting gegeven.

Traceerbaar en verifieerbaar

Door het systematisch en volledig toepassen van de gepresenteerde methodiek en het systematisch en volledig vastleggen van handelingen, overwegingen en afwegingen worden deze verifieerbaar en traceerbaar.

Voorts is de systematische toepassing van het beginsel van het opstellen en afwegen (verifiëren en falsificeren) van scenario's, alsmede voor een kritische en goed gemotiveerde (eigen) beoordeling van de waarschijnlijkheid van de scenario's en van de (eigen) beoordeling van de betrouwbaarheid van het oordeel. De motivatie dient zodanig omschreven te zijn, dat externe toetsing van dit oordeel mogelijk is.

Compleetheid

Dit betreft met name de compleetheid van de documentatie (informatie met betrekking tot de schade opname en vastlegging daarvan, het vastleggen van relevante informatie over de context van gebouw en omgeving).

In de gepresenteerde beoordelingsmethodiek zijn de afzonderlijke onderdelen die verzameld en vastgelegd moeten worden, al uitgebreid weergegeven. Indien deze informatie in een rapportage volgens een (nog op te stellen) format wordt vastgelegde, is een toets op de compleetheid en de kwaliteit van de verzamelde informatie mogelijk.

Het is van belang een complete set scenario's te gebruiken, waarbij bijvoorbeeld gebruik gemaakt kan worden van een checklist met mogelijke oorzaken en bijbehorende schadepatronen.

Correctheid

De correcte toepassing van de methodiek is met name afhankelijk van de competentie en ervaring van de deskundige(n). Zoals gemeld mag die competentie en ervaring verschillen afhankelijk van de onderdelen van de methodiek. Onderstaand zijn de naar onze mening belangrijkste basisvereisten vermeld. Voor het onderdeel Verzamelen en vastleggen gegevens over context (gebouw, gebouwenkenmerken, omgeving, omgevingskenmerken) hebben wij geen specifieke competenties vermeld.

Onderdeel Schade opname en vastlegging

- Opleidingsachtergrond: bouwkundig of civieltechnisch op ten minste MBO niveau of inhoudelijk vergelijkbaar
- Ervaring: minimaal 5 jaar recente ervaring in opname van gebouwen, opname van schades, opstellen en beoordelen van herstel en reparatieadviezen
- Specifieke vereisten:
 - in staat om constructieve veiligheidsissues te signaleren en ter beoordeling over te dragen.
 - Inzicht in bouwkostencomponenten en kosten van bouwkundig herstel- en reparatiemaatregelen.

Opstellen en beoordelen van scenario's

- Opleidingsachtergrond: bouwkundig of civieltechnisch op ten minste HBO of niveau of inhoudelijk vergelijkbaar inclusief relevante kennis op dit niveau van de aspecten funderingen en funderingstechniek.

Opmerking 10: hierin kan ook worden voorzien door een team van beoordelaars met verschillende specialisaties samen te stellen.

- Ervaring: minimaal 5 jaar recente ervaring in ontwerp van bouwwerken of gebouwen, ontwerpbeoordeling van nieuwe bouwconstructies, ofwel van bestaande bouwwerken of bouwconstructies, ofwel van beschadigde bouwconstructies.
- Specifieke vereisten: in staat om constructieve veiligheidsissues te beoordelen.

Opmerking 11: Overwogen kan worden opleidingsvereisten, ervaringsvereisten en/of relevante minimale beroepskwalificaties nader te specificeren. Eventueel kan aan een erkenningsregeling worden gedacht.

Opmerking 12: De genoemde aandachtspunten bij de schade opname sluiten nauw aan (maar zijn niet exact dezelfde) als die onder BRL 5024 (Bouwkundige vooropnamen) zijn vermeld. Organisaties die onder deze BRL 5024 zijn gecertificeerd, kunnen worden geacht aan de eisen van kwaliteitsborging van deze methodiek te voldoen. Er zijn enkele verschillen tussen deze methodiek en de BRL, en in die gevallen prevaleert deze methodiek.

Deel IV - Veiligheidsrisico's

Onder een veiligheidsrisico wordt verstaan:

Een onacceptabel risico voor mens en/of dier op instorten van een reeds beschadigd gebouwdeel door toedoen van een beving (magnitude groter dan 3,6) of een zware storm.

Of sprake is van een acuut veiligheidsrisico moet door een ter zake deskundige (bijv. constructeur) worden vastgesteld. Ongeacht de beoordeling van de oorzaak van de schade, kan een schade leiden tot acuut gevaar.. In dat geval zal direct ingegrepen moeten worden om de onveilige situatie zo spoedig mogelijk veilig te stellen.

DRAEF

E Slotopmerkingen

De hiervoor gepresenteerde methodiek is ambitieus voor wat betreft de gegevensverzameling (zowel de schade opname, de aanvullende gegevens van gebouw en omgeving, specialistische gegevens zoals de sensordata) en voor wat betreft het opstellen van de scenario's en het beoordelen daarvan.

De methodiek vraagt ook om een groot aantal zaken expliciet te maken, indien van de volledige procedure gebruik gemaakt wordt. De volledige methodiek lijkt zwaarder dan de voorheen gehanteerde methodieken. Zij biedt echter wel een betere en meer navolgbare oordeelsvorming gebaseerd op uitgebreidere gegevens. Dit zal van belang zijn bij het beoordelen van schadekwesities waar meer dan één oorzaak een rol speelt en bij de communicatie van de bevindingen.

Er zijn voldoende deskundige bureaus en bouwschade deskundigen, die aan de gewenste kwalificaties voldoen en volgens de methodiek kunnen werken. Het is van belang (zoals in de tekst opgemerkt) de werkwijze met de methodiek verder te ondersteunen door het opstellen en aanreiken van formats voor de vastlegging van opname gegevens en achtergrondinformatie.

Het is essentieel de ervaringen met het technisch inhoudelijk oordeel dat het resultaat is van de voorgestelde methodiek gericht te verzamelen, te evalueren en binnen korte tijd (half jaar/jaar) te besluiten over aanpassing en verbetering van de methodiek. Ook zullen er met betrekking tot de invloed van bevingen op gebouwen de komende jaren nog nieuwe inzichten ontstaan, die ook in de methodiek moeten worden verwerkt. Een revisie van de methodiek om het jaar of om de twee jaar lijkt ons voor de hand te liggen.

De methodiek biedt de mogelijkheid een groot aantal gevallen van schade door bevingen via de beperkte procedure te beoordelen. Het beslag op mensen en middelen zal waarschijnlijk niet groter zijn dan bij de afhandeling van schade zoals die voorheen binnen de contour en dicht bij de epicentra werd gedaan. Het toepassingsdomein met de beperkte procedure kan mogelijk met de opgedane praktijkervaring verder worden vergroot.

Een belangrijk voorwaarde om van de beperkte procedure gebruik te kunnen maken, is dat de bevingsdata op een toegankelijke, eenduidige en interpreteerbare vorm beschikbaar komen. Gelet op de noodzakelijke (voor)bewerking en interpretatie van de sensordata, die hiervoor nodig is, zal het – ook indien daartoe snel beslissingen genomen worden – wellicht nog enige tijd duren voordat deze informatie op de gewenste manier beschikbaar is. Het is in ieder geval op termijn gewenst dat de bewerkte data snel na een beving beschikbaar zijn.

Ter afsluiting wordt vermeld dat de voorgestelde methodiek uitsluitend een aanpak is om tot een technisch oordeel over de schade te komen. De methodiek biedt daarmee input voor de afwegingen en besluiten die door een onafhankelijke schade commissie gemaakt moeten worden over de vergoeding van de schade.

F REFERENTIES BIJ DE HOOFDTEKST

- [1] Proccol Schadeafhandeling, CVW, 1 november 2016 (versie 2)
- [2] NAM, Handboek Aardbevingschade - Bevingschade in het Groningen-gasveld. 2015: Assen.
- [3] H. Borsje, S.A.J. de Richemont, Methodiek voor onderzoek naar de oorzaak van gebouwschade - versie 2". TNO rapport TNO-060-DTM-2011-02980 (2011)
- [4] Rots, J.G. P.C. Van Staalduinen, Voorstel onderzoek oorzaken bouwkundige schade Groningen. 2016, TU Delft: Delft.
- [5] Witteveen en Bos, Schadeonderzoek Groningen Buitengebied, technische rapportage, 30 maart 2017.
- [6] Rapportage begeleidingsgroep Proef 'Afhandeling schade', Fase 1 (ongedateerd, voorjaar 2017)
- [7] Witteveen en Bos, Schadeonderzoek Woningen Emmen, hoofdrapport, 15 juni 2016.
- [8] TCBB, Review door de Tcbb van het rapport 'Schadeonderzoek woningen Emmen' van Witteveen+Bos van 15 juni 2016, brief aan Ministerie van Economische Zaken, 17 februari 2017.
- [9] Rots, J.G, Blaauwendraad, J, Holscher, P, Van Staalduinen, P.C. Validatieonderzoek rapporten Arcadis 'Schade buiten de Contour' - Fase 1, TU Delft, juli 2016
- [10] Samenvattend Onderzoek Hoofdoorzaken Gebouwschade in het bodemdalingsgebied Nedmag, Arcadis Rapport 10 januari 2013.
- [11] Commissie Bodemdaling door Aardgaswinning, Criteria voor vaststellen van gebouwschade door bodemdaling, Notitie aan Nationaal Coordinator Groningen, 23 juni 2016.
- [12] G. Giardina 'Modelling of settlement induced building damage', Ph.D. Thesis, Delft, 2013.
- [13] I.A.E de Vent, Prototype of a diagnostic decision support tool for structural damage in masonry, Proefschrift, TU Delft, faculteit Bouwkunde, 2011.
- [14] De Vent, I.A.E., Structural damage in masonry -developing diagnostic decisions support. 2011, TU Delft: Delft.
- [15] P.C. van Staalduinen, M.Th.J.H. Smits, Trillingscriteria m.b.t. schade aan gebouwen, TNO rapport B-90-822, opgesteld in opdracht van Stichting Bouwresearch, revisie januari 1993.
- [16] SBR Meet- en beoordelingsrichtlijn trillingen – deel A, schade door trillingen, revisie 2002, Stichting Bouwresearch, Rotterdam, 2002.
- [17] H. Borsje, J.N. Huijbrechtse, Analyse van de gevolgen van de aardbeving te Huizinge d.d. 16 augustus 2012' TNO rapport 2012 R10227, februari 2013
- [18] P.C. van Staalduinen, C.P.W. Geurts, De relatie tussen schade aan gebouwen en lichte, ondiepe aardbevingen in Nederland: inventarisatie, TNO rapport 97-CON-R1523-1 (1998)
- [19] P.H. Waarts, Kans op schade aan bouwwerken door trillingen, TNO Rapport 97-CON-R1698, december 1997
- [20] B.B.T. Wassing, B. Dost, Seismisch hazard van geïnduceerde aardbevingen, Integratie van Deelstudies. TNO/KNMI-rapport TNO 2012 R11139 (2012)
- [21] W. Roos, P.H. Waarts en B.B.T. Wassing, Kalibratiestudie schade door aardbevingen, TNO rapport TNO-034-DTM-2009-04435 (2009)
- [22] Ir. H. Borsje, Ir. J.P. Pruiksmán, Ir. S.A.J. de Richemont Monitoringsnetwerk gebouwtrillingen – Analyse aardbevingen in 2014 en 2015, TNO Rapport TNO 2017 R10217, 12 december 2016
- [23] C.P.W. Geurts en R.D.J.M Steenbergen, 'Relatie tussen PGA waarden en kans op schade voor geïnduceerde aardbevingen in Groningen', TNO notitie M0100296951 d.d. 13 juni 2016.
- [23] J.P. Pruiksmán, Á. Rózsás, Vibration levels in dwellings in Groningen as a result of induced earthquakes, TNO Report R2017-10493, 14 april 2017.
- [24] Julian J Bommer, Peter J Stafford & Michail Ntinalexis, Empirical Ground-Motion Prediction Equations for Peak Ground Velocity from Small-Magnitude Earthquakes in the Groningen Field Using Multiple Definitions of the Horizontal Component of Motion, November 2016

G - Bijlage - Toelichting op de schatting van de kans op schade door trillingen

Sinds het ontstaan van de geïnduceerde bevingen in Noord Nederland, medio jaren 90 van de vorige eeuw, vindt er onderzoek plaats naar de sterkte van de trillingen. Parallel daaraan zijn diverse studies gedaan naar de schadelijke invloed van trillingen als gevolg van geïnduceerde bevingen op bouwwerken. Deze bijlage geeft een samenvatting van de huidige inzichten in de kans op schade als gevolg van trillingen als gevolg van geïnduceerde bevingen.

Beoordeling van de schadelijke invloed van trillingen – SBR Richtlijn A

In Nederland is in 1993 de SBR Richtlijn 1 [B1] verschenen. Deze richtlijn vatte de toen beschikbare kennis samen op het gebied van de schadelijke invloed van trillingen voor bouwwerken en gebouwen. De SBR Richtlijn 1 was gebaseerd op de Duitse norm DIN 4150 deel 3, aangevuld met specifieke inzichten en ervaringen uit de Nederlandse praktijk. Die praktijk werd vooral gevormd door ervaringen met trillingen door bouwwerkzaamheden en trillingen door verkeer. Achtergronden van de richtlijn zijn verzameld in [B2]. SBR Richtlijn A is in 2003 in een aangepaste versie [B3] verschenen. Op dit moment wordt deze versie opnieuw herzien.

Belangrijkste elementen SBR Richtlijn 1, oorspronkelijke uitgave 1993:

- De beoordelingsgrootte voor trillingen is de snelheid van de trilling (trillingsnelheid)
- Er zijn drie bouwwerkcategorieën in termen van kwetsbaarheid, waarvan 2 specifiek voor bouwwerken in metselwerk, respectievelijk categorie (C2) in goede staat verkerend en categorie (C3) in slechte staat verkerend of monumentaal.
- De gegeven grenswaarden liggen voor bouwwerken in metselwerk op een niveau van 5 mm/s voor categorie (C2) en 3 mm/s voor categorie (C3).
- Deze grenswaarden zijn toepasbaar in het frequentiegebied van de aardbevingstrillingen, omstreeks of lager dan 10 Hz.
- De grenswaarden zijn toepasbaar voor kortdurende trillingen. Voor herhaald kortdurende trillingen en continue trillingen worden extra onzekerheidsmarges toegepast, leidend tot lagere grenswaarden.

De richtlijn zelf laat zich niet uit over kans op schade bij overschrijden van de grenswaarden. Volgens de achtergronddocumentatie [B2] wordt deze ingeschat op minder dan 1 % per object.

Belangrijkste aanvullingen SBR Richtlijn A, revisie-uitgave 2003:

- Voor een indicatieve meting, dat is een meting met slechts één meetpunt in een gebouw, wordt een aanvullende onzekerheidsmarge van een factor 1,6 ingevoerd.
- De statistische interpretatie van gemeten trillingen is toegevoegd, waarbij een topwaarde van een trilling met een 1 % overschrijdingskans als toetsgrootte (karakteristieke waarde) wordt gehanteerd. Deze bepalingwijze in SBR Richtlijn A is met name bedoeld voor trillingsbronnen met een wisselende sterkte (zoals passages van vrachtauto's of treinen), waarbij op basis van metingen onzekerheid bestaat over de grootste te verwachten trillingsbron).
- Beide aanvullingen van de SBR Richtlijn A leiden in de praktijk tot een voorzichtiger aanpak, zowel door het hanteren de aanvullende onzekerheidsmarge en als door de grotere toetsgrootte.

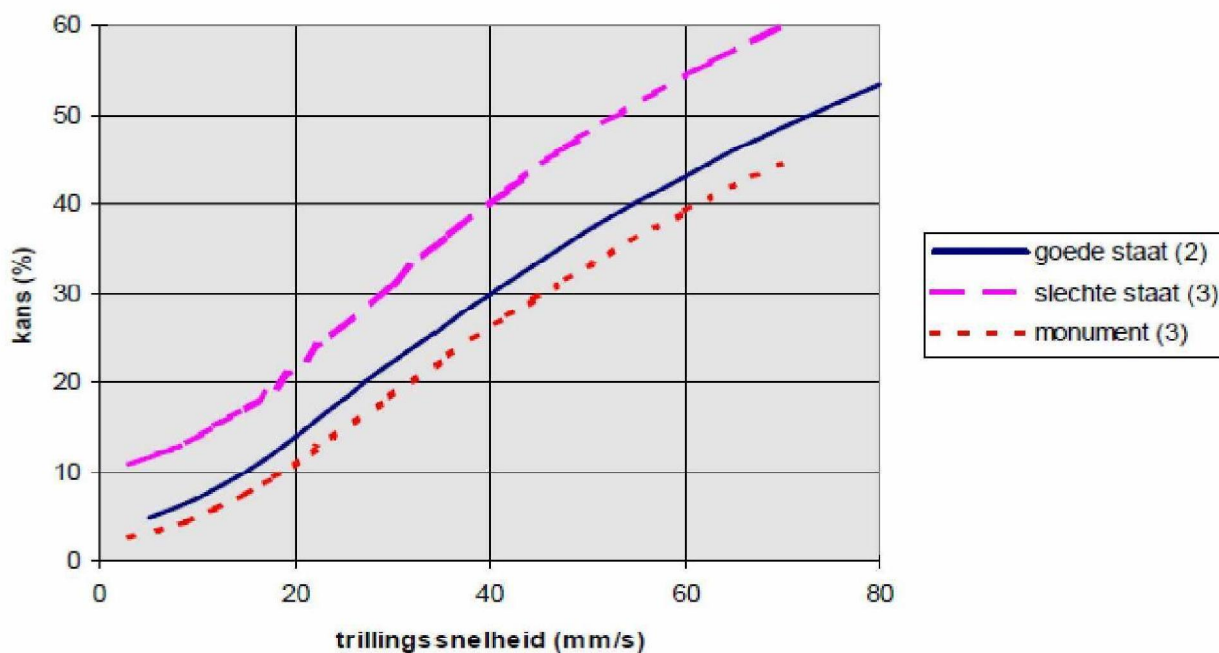
De afgelopen periode is in de aanloop naar de 3^e versie van de SBR Richtlijn A onderzoek verricht om de praktijkervaringen in termen van het al dan niet ontstaan van schade in relatie tot de sterkte van

de trillingen. Een formele rapportage is hiervan nog niet beschikbaar. Uit persoonlijke communicatie met de voorzitter van de commissie is het volgende beeld opgetekend [B4]:

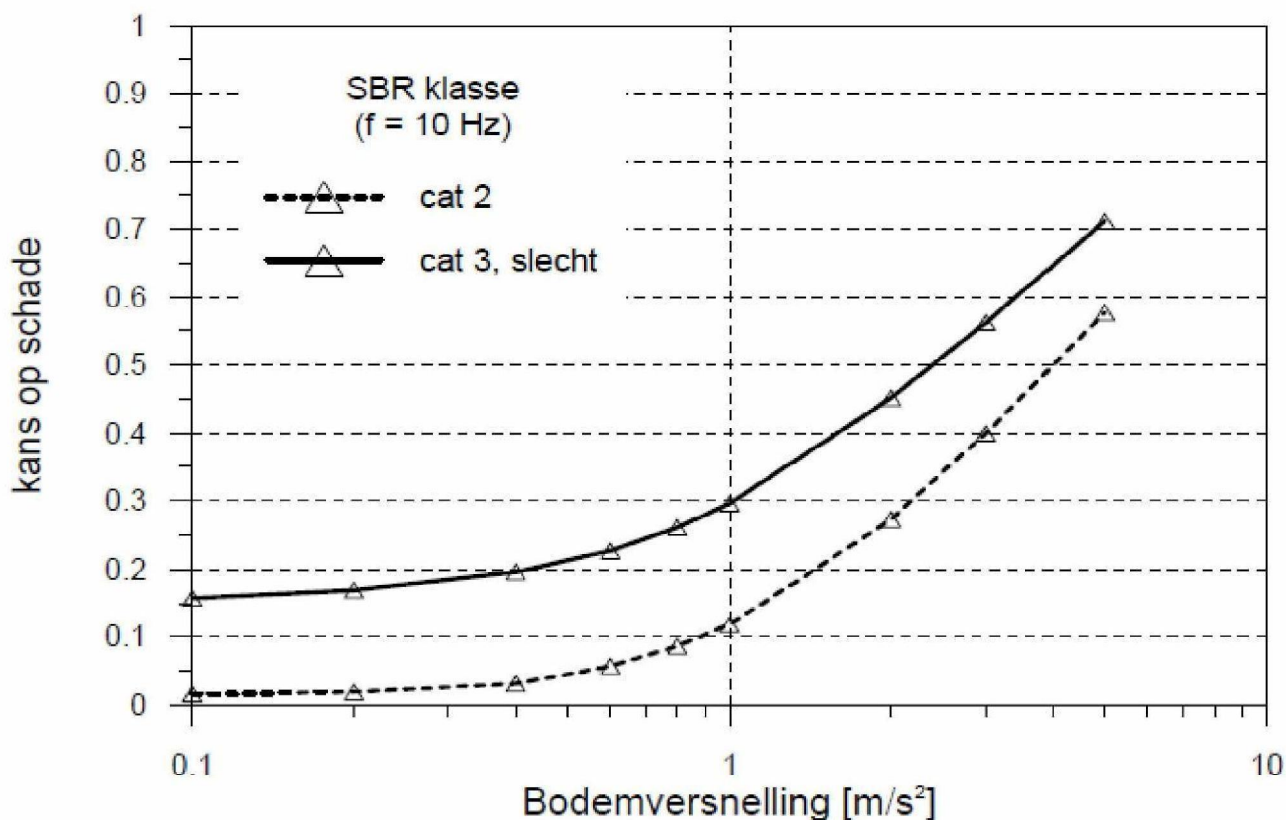
- *Er zijn nauwelijks gevallen bekend waarin bij overschrijding van de grenswaarden aanwijsbaar schade door trillingen is ontstaan. Dit leidt tot de conclusie dat de inschatting van een schadekans minder dan 1 % niet kan worden gefalsificeerd. De ervaring uit de praktijk wijst eerder in de richting van een bevestiging van deze schadekans.*
- *Bij overschrijden van de criteria blijkt de kans op schade toe te nemen. De beschikbare cases duiden op een kans op schade van 10. % bij het overschrijden van de criteria met een factor 2 en van 30 % bij het overschrijden van de criteria met een factor 3.*
- *Een onderzoek in de recente buitenlandse literatuur op dit terrein leidt niet tot aanvullende inzichten.*

Modelstudies voor de beoordeling van de schadelijke invloed van trillingen

In 1997 en 1998 zijn modelstudies uitgevoerd door Raaijmakers [B5], Waarts [B6] en Van Staalduinen & Geurts [B7] met het doel een statistische onderbouwing te leveren voor de kans op schade bij verschillende trillingsterkten. Referentie [5] en [6] bieden hiervoor het basismateriaal. In Referentie [B7] is dit specifiek toegepast op de trillingen van geïnduceerde bevingen, gebaseerd op bevingen in Roswinkel van 1997 of eerder. Deze studies bieden een kwantificering van de kans op schade, waarbij de kans op schade toeneemt met de trillingsterkte. Echter ook bij zeer lage trillingsterkten blijkt uit [B5,B6] dat een kans op schade blijft; de kans op schade gaat niet volledig naar nul, ook niet bij extreem lage waarden van de trillingsterkte, zie figuren B1 en B2. Het gaat hier over modelstudies gebaseerd op sterk vereenvoudigde rekenmodellen van bouwwerken en met zeer algemene aannames ten aanzien van de materiaalparameters.



Figuur B1 – kans op schade afhankelijk van de topwaarde van de trillingsnelheid. Resultaten modelstudie [B6]



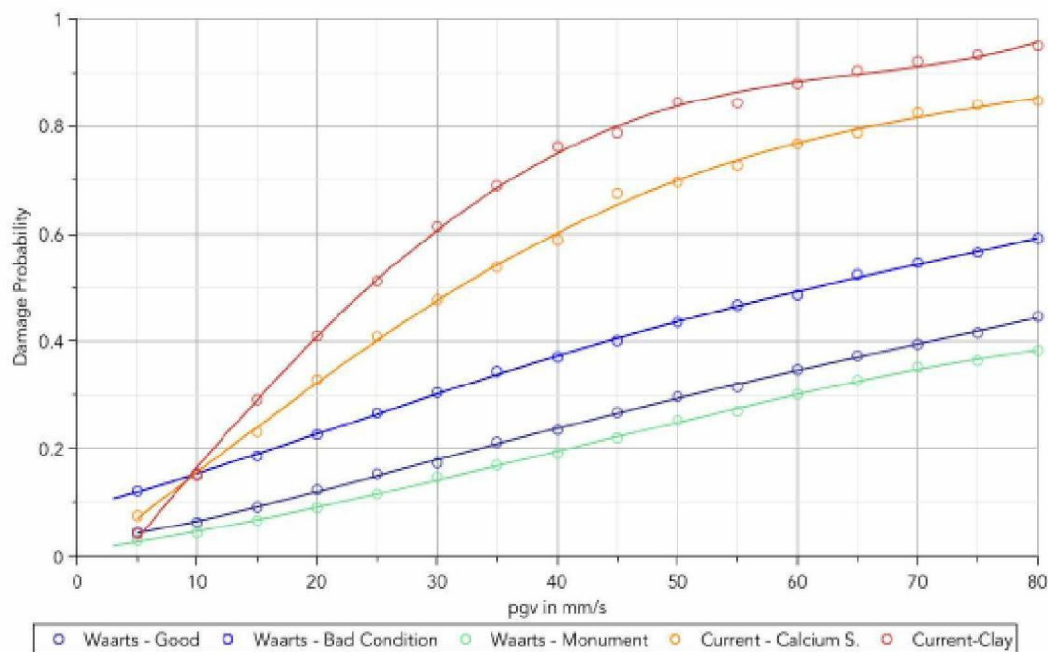
Figuur B2 – Resultaten modelstudie kans op schade afhankelijk van de bodemversnelling. Resultaten van modelstudie aan de hand van bevingen te Roswinkel [B7]

Het algemene beeld uit deze eerste model studies [B6, B7] is:

- Onder de criteria van SBR Richtlijn A is de kans op schade voor in goede staat verkerende gebouwen in metselwerk in de orde 5 %, bijna ongeacht de sterkte van de trilling.
- Bij overschrijden van de criteria met een factor 2 resp. 3 neemt de schadekans *langzaam* toe naar resp. 8 % en 10 %.

De afgelopen jaren is door diverse partijen een vervolg gegeven aan deze modelstudies (zie onder meer [B8, B9, B10, B11, B12, B13]), met als doel kansverdelingen op te stellen voor de kans op schade of zogenaamde fragility curves op te stellen voor gebouwen in metselwerk. Kenmerk van fragility curves is dat zij de kans op schade van een bepaalde klasse of mate van schade berekenen, specifiek voor een bepaalde schadeklasse of damage state (DS). De modelstudies zijn waar mogelijk ook gekalibreerd aan waarnemingen in de provincie Groningen [B8, B9, B10]. Aan deze kalibratie is hierna een aparte paragraaf gewijd.

Onderzoek van Korswagen [B13] geeft aan dat een betere overeenstemming tussen de praktijkervaring met SBR Richtlijn A en de oorspronkelijke modellering van Raaijmakers en Waarts [B5, B6] kan worden bereikt, indien beter gedefinieerde waarden van de materiaalparameters van het metselwerk worden gehanteerd. Dit laat het nadeel van de relatief simplistische modellen onverlet.



Figuur B3 – Heranalyse van modelstudie [B5], aangevuld met resultaten voor actuele gegevens van sterkte van baksteen en kalkzandsteen [B13]

Opmerkenswaard is dat tussen verschillende onderzoekers grote verschillen worden gerapporteerd tussen analyses specifiek voor de Nederlandse situatie [B12, B13] en analyses die betrekking hebben op ervaringen met trillingschade als gevolg van aardbevingen wereldwijd [B11].

Het beeld uit de meer recente modelstudies [B12, B13] is:

- De kansen op schade nemen toe bij toenemende topwaarden. Korswagen [13] presenteert voor de kans op schade een eenvoudige lognormale verdeling (met parameters voor metselwerk in baksteen: $m = 3,17 \text{ mm/s}$ en $\sigma = 0,86 \text{ mm/s}$ – fit in het domein van 0 mm/s tot 20 mm/s)
- Indien aan de criteria van SBR Richtlijn A wordt voldaan (zonder aanvullende veiligheidsmarges) ligt de kans op schade in de orde van enkele procenten.
- Bij overschrijden van de criteria neemt op basis van [B12] de kans op schade *relatief snel* toe, dit in tegenstelling tot het beeld van de studie in [B6]. Bij tweemaal het criterium (10 mm/s) bedraagt deze kans in de orde van 15 % en bij drie maal het criterium (15 mm/s) in de orde van 25 %.
- De kansen op schade die volgen uit de SBR Richtlijn A, en de modelstudies en kalibratiestudies [B6, B7, B8, B9, B10], wijken sterk af van de kansen die volgen uit de DS1 curves die zijn gebaseerd op internationale ervaringen, zoals gepresenteerd in [B11] en [B12]. Bij een vergelijkbare topwaarden van de bodemtrillingen, met name bij lage trillingsniveaus, is de bijbehorende kans op optreden van schade een orde hoger in de modelstudies en in de kalibratie studies van [B6, B7, B8, B9, B10] ten opzichte van de internationale context, zie onder meer [B11].
- Dit blijft een punt van aandacht. Mogelijke oorzaken van deze grote verschillen liggen in de toegepaste bouwwijzen (met name de lichte Nederlandse metselwerkconstructies), de

toegepaste funderingswijzen in combinatie met de weinig draagkrachtige ondergrond, andere bevingskarakteristieken en tenslotte ook in een andere schadeperceptie: het zou kunnen zijn dat we in de Nederlandse praktijk kritischer omgaan met het begrip schade.

Kalibratiestudies en veldonderzoek in Groningen

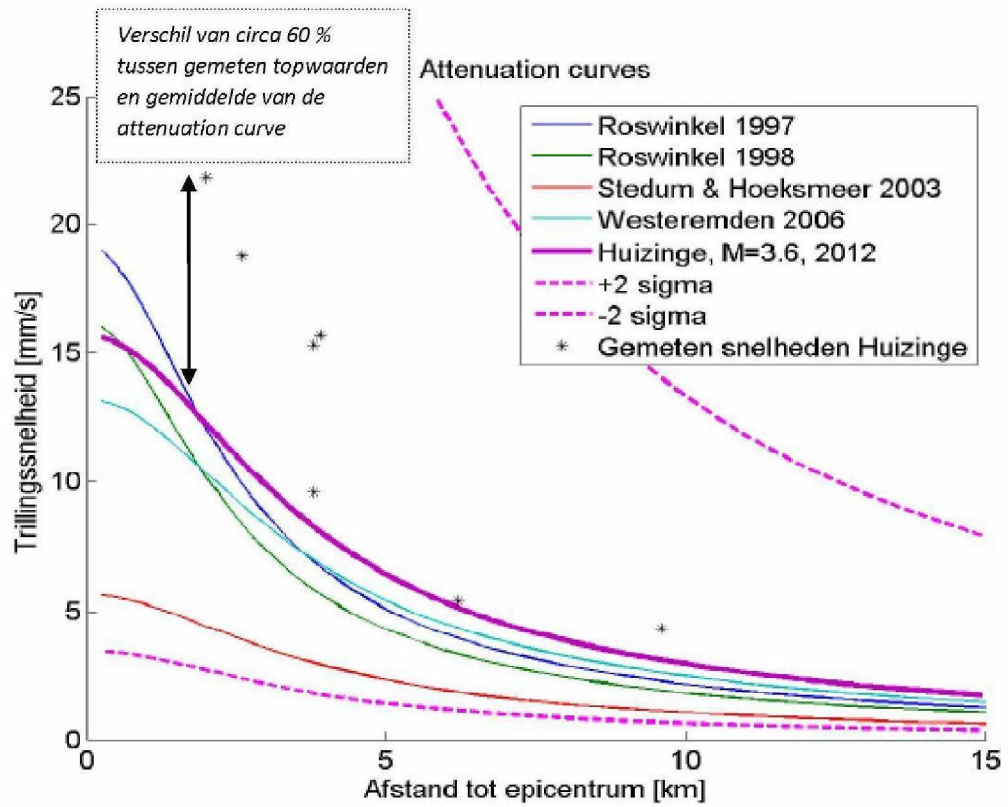
In Groningen zijn verschillende kalibratiestudies uitgevoerd. In de eerste plaats een studie [B8] in 2009 op basis van vijf bevingen, waarvan 3 in Roswinkel. Hierbij is de waargenomen schade na de bevingen gerelateerd aan de opgetreden trillingssterkte ter plaatse en aan de schade in de populatie gebouwen. Een vergelijkbare kalibratiestudie is in 2013 uitgevoerd op basis van de beving in Huizinge [B10]. De schade volgt uit inspecties ter plaatse. De informatie over opgetreden trillingen bij deze bevingen is gebaseerd op de sensorregistraties van KNMI. De afgelopen jaren is naast het sensornetwerk van KNMI ook een meetnet met gebouwsensoren aangelegd en aanzienlijk uitgebreid. TNO voert op dit moment een doorlopend systematisch onderzoek uit naar de ontwikkeling van schade in de gebouwen, die van sensoren zijn voorzien; [B14] bevat hiervan de rapportage over de jaren 2014 en 2015.

Het beeld uit de eerste kalibratiestudie [B8] is weergegeven in tabel B1.

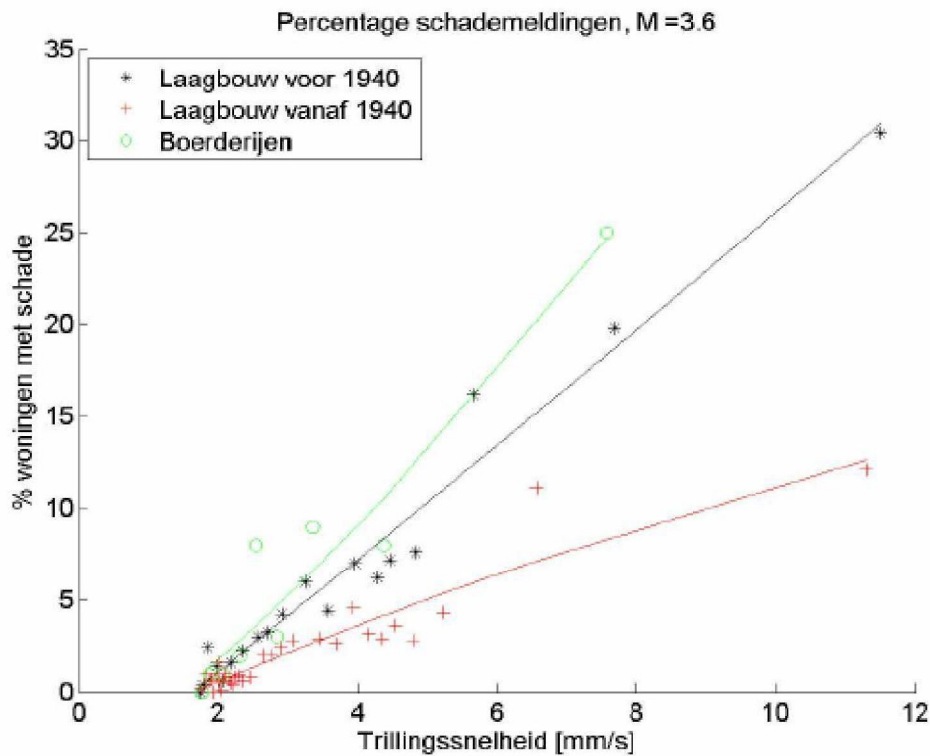
Categorie	Trillingsnelheid bij kans op schade 1% (vtop in mm/s)	Trillingsnelheid bij kans op schade 5% (vtop in mm/s)	Trillingsnelheid bij kans op schade 10% (vtop in mm/s)
Boerderij	2,4	3,4	6,0
Laagbouwwoning voor 1940	6,0	6,9	15,7
Laagbouwwoning na 1940	9,6	10,2	26,0

Tabel B 1: Overzicht van topwaarden en kans op schade bij 3 bouwwerk categorieën op basis van de eerste kalibratiestudie uit 2009 [B8]

In het onderzoek naar de schade als gevolg van de beving Huizinge [B10] is in ringen rondom het epicentrum een analyse gedaan naar het aantal gemelde schades als aandeel op de totale populatie gebouwen. Bij een steekproef van 320 van de totaal 1866 gemelde schades binnen 15 km tot het epicentrum zijn de schades opgenomen en beoordeeld. Hiervan zijn slechts 4 schades afgewezen. In navolging van de eerdere kalibratiestudie [B8] zijn de resultaten gedifferentieerd naar drie categorieën bouwwerken te weten boerderijen, laagbouw voor 1940 en laagbouw na 1940. Figuur B4 toont het percentage gemelde schade uitgezet tegen de verwachtingswaarde van de zogenaamde attenuation curve, die de afname van de sterkte van de trillingen met de afstand tot het epicentrum weergeeft. Figuur B5 geeft de kans op schade afhankelijk van de topwaarde van de trillingsnelheid.



Figuur B4: topwaarden van trillingsnelheid bij beving Huizinge (2012), zowel gemeten als volgens de toen gehanteerde attenuation curves [B10]



Figuur B5: topwaarden trillingsnelheid (volgens de verwachtingswaarde van de attenuation curve) en percentages schade, beving Huizinge (2012) [10]

Bij figuur B5 moet bedacht worden dat de werkelijk gemeten topwaarden op korte afstand tot het epicentrum bij Huizinge ongeveer 60 % boven de gemiddelde attenuation curve liggen, zie figuur B4.

De kalibratiestudie in Huizinge [B10] levert het volgende beeld:

- Rekening houdend met het genoemde verschil tussen gemeten topwaarden en de gemiddelde attenuation curve, kan het verband tussen topwaarde trillingsnelheid en vastgestelde kans op schade zeer *indicatief* worden *benaderd* als volgt:

Boerderijen:	$P(\text{schade}) = 2,5 \cdot (v_{\text{top}} - 2)$ in %
Laagbouw voor 1940	$P(\text{schade}) = 2,0 \cdot (v_{\text{top}} - 2)$ in %
Laagbouw na 1940	$P(\text{schade}) = 0,75 \cdot (v_{\text{top}} - 2)$ in %

Hierin is v_{top} de gemeten topwaarde van de trillingsnelheid in mm/s. Volgens deze benadering bedraagt bij $v_{\text{top}} = 2$ mm/s de kans op schade nul zal zijn. Dit is een gevolg van de toegepaste schematisering. Het doel van deze schematisering is om inzicht te krijgen in de kans op schade bij hogere trillingsterkten. Indicatief kunnen uit deze drie benaderingen van de waarnemingen in Huizinge de schadekansen voor willekeurige topwaarden van de trillingsnelheid worden berekend. Tabel B2 geeft een overzicht.

gebouwtype

<i>v_top (mm/s)</i>	boerderij	laagbouw voor 1940	laagbouw na 1940
< 3	2,5 %	2 %	1 %
5	7,5 %	6 %	2 %
10	20 %	16 %	6 %
15	32,5 %	26 %	10 %
20	45 %	36 %	14 %
25	57,5 %	46 %	17 %

Tabel B2: indicatieve kans op schade aan gebouwen in metselwerk op basis van beving Huizinge [B10]. De gepresenteerde kans op schade heeft betrekking op het aantal objecten in de populatie waar schade wordt aangetroffen.

- Voor zover nu kan worden overzien is [B10] nog één van meest uitgebreid gedocumenteerde kwantitatieve studies over de kans op schade bij een populatie gebouwen in Groningen bij een sterkte aardbeving, die op dit moment beschikbaar is.
- Wat verder opvalt, is dat de schadekansen uit de kalibratie in Huizinge [B10] voor de categorie laagbouw (zowel voor 1940 als na 1940) duidelijk hoger liggen dan in de eerste kalibratiestudie [8] werd afgeleid. Het verschil is ongeveer een factor 2 hogere kans bij eenzelfde topwaarde van de trilling.
- Verder blijken de kans op schade voor de klasse laagbouw voor 1940 uit [B10] redelijk goed overeen te stemmen met de kans op schade, die volgt uit de modelanalyse van Korswagen [B13] waarbij is gefocust op het frequentiegebied tot 20 Hz, zie tabel B3.

Kans op schade voor laagbouw voor 1940

<i>v_top (mm/s)</i>	Studie Huizinge [B10]	Model (baksteen) B[13]
3	2 %	2 %
5	6 %	3 %
10	16 %	15 %
15	26 %	30 %
20	36 %	42 %
25	46 %	52 %

Tabel B3: Vergelijking schadekansen waargenomen in Huizinge [B10] vergeleken met modelstudie [B13]

Zoals gemeld voert TNO een doorlopend onderzoek uit naar de ontwikkeling van schade aan de gebouwen die van een zogenaamde gebouwsensor zijn voorzien [B14]. Het beeld uit dit veldonderzoek in Groningen is:

- Op basis van 5 geïnduceerde bevingen in Groningen met magnitude groter dan of gelijk aan 2,5 zijn in 2014 en 2015 een aantal opeenvolgende schade inspecties bij een groep van 145 woningen uitgevoerd. Deze gebouwen zijn alle van sensoren van het TNO-meetnet voorzien. Met betrekking tot de maximale horizontale pieksnelheid op funderingsniveau bij deze bevingen betreft 75% van de metingen een waarde minder dan 4 mm/s. De maximaal gemeten horizontale pieksnelheid was 16,1 mm/s. Dit betekent dat in 25 % van de gevallen

- de topwaarden omstreeks op het niveau van het SBR criterium voor in goede staat verkerende panden in metsel heeft gelegen of dat niveau heeft overschreden.
- De initiële opname beperkt zich tot een inventarisatie van de grote scheuren aan de buitenzijde van de gevels. Deze informatie wordt gebruikt om de gebouwschade in te kunnen delen in Damages States. Na een aardbeving met een magnitude van $M=2,5$ of meer zijn alle door die aardbeving getriggerde woningen opnieuw opgenomen om te zien of de situatie was veranderd. Bij deze heropname zijn de al aanwezige scheuren onderzocht om te zien of de lengte en/of wijdte was toegenomen, de scheuren in de tussentijd zijn gerepareerd of gerepareerde scheuren opnieuw zijn gescheurd.
 - Bij de herhalingsopname werden ook nieuwe scheuren gerapporteerd, op dezelfde manier als bij de initiële opname. Op basis van de resultaten van de heropname is opnieuw de schadeklasse van de getriggerde woningen na de aardbeving bepaald. De in totaal 167 herhalingsopnames (22 woningen zijn tweemaal opgenomen en 1 woning is driemaal opgenomen) leverden de volgende informatie op:
 - a. In de initiële/voorgaande opname werden in totaal 1364 scheuren geregistreerd. De herhalingsopnames hebben uitgewezen dat 16 van deze scheuren wijder en/of langer zijn geworden (ongeveer 1%).
 - b. Het totale aantal nieuw geregistreerde scheuren is 579.
 - c. De meeste nieuw geregistreerde scheuren waren relatief klein en kort en behoorden tot de kleinste scheurwijdte categorie.
 - Bij 21 woningen zijn reparaties uitgevoerd in de periode tussen twee opnames. Bij gerepareerde scheuren is gecontroleerd of deze al dan niet opnieuw waren gescheurd. Ongeveer 2% van de gerepareerde scheuren was na de aardbeving opnieuw gescheurd.
 - Het beeld uit het veldonderzoek is dat trillingen met een maximale sterkte van 16 mm/s impact op schadeontwikkeling van de gebouwen blijken te hebben. Van meer dan de helft van de gebouwen is de omvang van de schade toegenomen of zij zijn in een hogere schadeklasse ingedeeld. Anderzijds lijkt de invloed beperkt in termen van het vergroten van bestaande scheuren (ongeveer 1 % van het aantal scheuren). Er blijken nieuwe scheuren te zijn ontstaan bij 2 % percentage van de tussentijds gerepareerde scheuren bij 21 woningen.
 - Een kwantificering in termen van een kans op schade bij een bepaald trillingsniveau lijkt op basis van de gegevens uit deze doorlopende studie [14] niet goed mogelijk.

Modellering van de trillingsterkte van de bevingen

Het afgelopen jaar is door verschillende onderzoekers [B16, B17] gewerkt aan een statistische interpretatie van de grote hoeveelheid sensordata die de afgelopen periode is verzameld. Dit betreft data van zowel het KNMI als het TNO sensornetwerk. Onder meer zijn statistische beschrijvingen ontwikkeld voor de topwaarde van de trillingsnelheid als functie van de afstand tot het epicentrum. Hiermee kan voor gegeven bevingen een betere schatting worden gemaakt van de opgetreden trillingsnelheid op een willekeurige locatie nabij het Groningenveld, ook voor kleine overschrijdingskansen.

Het algemene beeld is:

- De curves die de afname van de trillingen met toenemende afstand tot het epicentrum beschrijven, kenmerken zich door een goede overeenstemming tussen beide studies.
- De kansverdeling van de topwaarden laat zich beschrijven door een lognormale verdeling
- De verschillen van de uitkomsten van het KNMI en TNO netwerk zijn relatief gering.

- Kwantificering van de opgetreden topwaarde op een willekeurige locatie ten opzichte van het epicentrum is hiermee mogelijk – de beschrijvingen bieden de mogelijkheid willekeurige overschrijdingskansen van de topwaarden te berekenen.

Specifiek is in [B15] en [B17] onderzoek verricht naar de sterkte van achtergrondtrillingen, die door het sensornetwerk van TNO in diverse gebouwen zijn gemeten. De analyse van deze achtergrondtrillingen geeft een goed beeld van de trillingsniveaus die in gebouwen door normaal gebruik of door veel voorkomende externe oorzaken optreden. Dit zijn trillingsniveaus die vaak voorkomen, een groot aantal verschillende andere oorzaken dan bevingen hebben, en waarbij de praktijk uitwijst dat gebouwen er geen schade van ondervinden.

Het beeld uit beide studies [B15, B17] is:

- De topwaarden per maand van veel voorkomende achtergrondtrillingen in het TNO sensornetwerk (mediaan) liggen tussen de orde 0,25 tot 1,36 mm/s [B17].
- De kansverdeling van de grootte van de grootste topwaarden per tijdseenheid (per uur, per dag, per maand of per jaar) laten zich redelijk benaderen met een lognormale verdeling. Volgens [B15] bedraagt de verwachtingswaarde van de grootste top per jaar 0,6 mm/s voor vrijstaande woningen. Voor andere bouwtypes liggen de waarden iets later.
- Samenvattend: de topwaarden van vaak voorkomende achtergrondtrillingen uit veel verschillende bronnen liggen doorgaans onder het niveau van 1 mm/s.
- Verder wordt in [B15] op basis van het meetnetwerk van TNO geconstateerd dat trillingen door nabij gelegen wegen (orde een 10 m) topwaarden veroorzaken in de orde van 2 à 3 mm/s.

Synthese

Bovenstaande inzichten kunnen worden gebruikt bij het formuleren van criteria in de beoordelingsmethodiek voor schade door aardbevingen.

- a) *Geen aanwijsbare invloed van trillingen door bevingen ten opzichte van vaak aanwezige trillingen door andere bronnen in gebouwen*

Uit [B15] en [B17] blijkt dat kortdurende trillingen met een sterkte in de orde order van 0,5 tot 1,5 mm/s relatief vaak in gebouwen voorkomen, alleen al als gevolg van normaal gebruik (belopen van vloeren, sluiten van deuren). Ook vaak voorkomende kortdurende omgevingsverstoringen (bijv. verkeer) leiden tot trillingen in deze orde van grootte of groter. Ten opzichte van deze vaak voorkomende trillingen in gebouwen is het aantal bevingen relatief beperkt.

Op basis hiervan moet worden aangenomen dat, voor zover bevingen tot trillingen in deze geringe orde van grootte leiden, de invloed van hun trillingen niet aanwijsbaar en onderscheidbaar is ten opzichte van trillingen uit andere bronnen.

De sterkte van deze trillingen ligt ver (orde een factor 3 tot 5) onder de criteria van de SBR Richtlijn A. Bovendien zijn alle indicaties dat trillingen bij deze lage sterkten geen aanleiding geven tot schade, althans voor zover in termen van kansen moet worden gesproken, deze kans extreem gering is.

In een beoordelingsmethodiek kan deze grens worden gebruikt om een relatie tussen trillingen door bevingen en schade aan bouwwerken a priori volledig uit te sluiten. De keuze van een grens blijft arbitrair, gegeven het bovenstaande komt 1 mm/s als realistische en hanteerbare waarde in aanmerking.

Vervolgens is de vraag aan de orde welke toetsgrootte of karakteristieke waarde hier moet worden gehanteerd. Door de aard van de trillingsbron 'beving', door de wijze waarop de waarnemingen van de trillingen van de beving uit een sensornetwerk zijn verzameld en verwerkt, en door de aard van de spreiding van de resultaten, zal dit percentage kleiner moeten zijn dan de 1% bovengrens die is genoemd in 6.2 van SBR Richtlijn A. Uit de beperkt beschikbare rekenmodellen [B13] in combinatie met de beschikbare data uit het sensornetwerk [B16, B17], geven als indicatie dat een karakteristieke waarde met een overschrijdingskans van 25 % hier een betere aansluiting biedt.

b) Kans op schade door trillingen van bevingen is zeer gering

De praktijkervaringen met de toepassing van de SBR Richtlijn A in Nederland tot nu toe geven aanleiding om zeer kleine kansen op schade te verwachten, indien aan de criteria van de SBR Richtlijn wordt voldaan. Die kleine kansen kunnen niet eenduidig en scherp worden gekwantificeerd, maar liggen vrijwel zeker onder de orde van 1 % of lager. Deze ervaringen worden bevestigd door de uitgevoerde kalibratiestudies naar kansen op schade als gevolg van aardbevingen, met name [B8] en [B10].

Ten behoeve van de beoordelingsmethodiek moet eenduidigheid bestaan over welke criteria uit de SBR Richtlijn A dan worden bedoeld.

- Omdat het een generieke regel betreft, verdient het met de huidige kennis en inzichten aanbeveling aan te sluiten op de laagste grens uit SBR Richtlijn A voor de meest kwetsbare categorie gebouwen (bouwwerkklasse C3).
- Zolang nog geen duidelijkheid bestaat over eventuele cumulerende effecten van meerdere bevingen, zijn de criteria voor *herhaald kortdurende trillingen* aangehouden.
- De aanvullende veiligheidsfactor 1,6 voor een zogenaamde indicatieve meting is in de situatie van een groot aantal waarnemingspunten bij aardbevingen niet van toepassing.

We komen dan in aansluiting op SBR Richtlijn A op een grens van 2,0 mm/s. Deze grens ligt ook nog juist lager, dan de laagste grens voor een 1 % kans op schade die in de kalibratiestudies [B8] voor boerderijen is vermeld.

Daarnaast is van belang een karakteristieke waarde voor de topwaarde van de trilling van de beving vast te stellen op basis van de waarnemingen van de sensornetwerken, die goed aansluit op deze schadekans. Uit de beperkt beschikbare rekenmodellen [B13] in combinatie met de beschikbare data uit de sensornetwerken [B16, B17] blijkt dat een topwaarde van 2 mm/s met een overschrijdingskans van ten hoogste 25 % hier goed op aansluit. De kans op schade ligt dan ruim onder 1 % per object.

Het criterium is hiermee:

De topwaarde van de grootste component van de trillingsnelheid gemeten op bodemoppervlak of op begane grondniveau van een bouwwerk overschrijdt de waarde 2 mm/s met een kans van ten hoogste 25 %.

Opmerking: Deze grens komt ongeveer overeen met een waarde van 1,45 mm/s en een overschrijdingskans van ten hoogste 50 %.

Bij het aanhouden hiervan wordt de kans op schade (in DS1 of hoger) – volgens de huidige inzichten en ervaringen - dus als ruim kleiner dan 1 % ingeschat. Zoals gemeld is de kwantificering van deze kans nog niet scherp onderbouwd. Er vindt op dit moment nog onderzoek plaats naar (gecombineerde) oorzaken van schade in Groningen en naar het ontstaan van schade aan

bouwwerken in metselwerk bij lage trillingsterkten. Ook het aspect van het herhaald voorkomen van bevingen zal hierin worden betrokken. De resultaten van dit onderzoek of andere nieuwe inzichten kunnen aanleiding zijn deze ondergrens bij te stellen. Ook de ervaring die met de toepassing van deze grens in een beoordelingsmethodiek zullen worden opgedaan, moet daarin meegenomen worden.

c) *De kans op schade door trillingen is groot*

De geciteerde modelstudies, de uitgevoerde kalibratiestudies en het veldonderzoek in Groningen bevestigen dat naarmate topwaarden van de trillingsnelheid het niveau van 5 à 10 mm/s ver overschrijden, de kans op schade sterk toeneemt. De kalibratiestudies [B8, B10] geven aan dat (afhankelijk van het type gebouw) de kans op schade in een populatie gebouwen bij topwaarden van de trillingsterkten van 10 mm/s in de orde van 5 à 10 % bedraagt. Bij een trillingsterkte van 20 mm/s bedraagt die kans in de orde van 10-25 %. Hoewel de verschillende Nederlandse kalibratiestudies verschillende uitkomsten opleveren, is het gemeenschappelijke beeld dat van kansen op schade in deze orde van grootte. Die kansen op schade liggen aanzienlijk boven de gebruikelijk geaccepteerde kansen op schade (zie SBR Richtlijn A).

Omdat bevingen doorgaans een groot invloedgebied hebben, is de kans op schade in een populatie gebouwen (denk aan enkele tientallen of honderden gebouwen) onder deze omstandigheden dus groot: er zijn in zo'n populatie vrijwel zeker objecten die schade hebben opgelopen

Het percentage schademeldingen in een populatie is uiteraard afhankelijk van de oplettendheid van de bewoners of eigenaren (of zij schade hebben aangetroffen) en van het meldingsgedrag (of zij ook schade melden die als gevolg van de bevingen is ontstaan). A priori mag verwacht worden dat de kans op schade in de deelverzameling van de gebouwen waarvoor schade gemeld is, aanzienlijk hoger zal zijn dan de kans op schade in de populatie gebouwen. Als alle schademeldingen accuraat en geldig zouden zijn, bedraagt deze kans zelfs 100 %. In de praktijk zal dit percentage uiteraard lager zijn.

Om die reden is het een te rechtvaardigen aanpak om bij een populatie bouwwerken die aan deze condities van een zodanig hoog opgetreden trillingsterkte voldoet, a priori aan te nemen dat de schade door de bevingen is ontstaan. Het is natuurlijk wel belangrijk dat de beoordelingsmethodiek *checks-and-balances* bevat om te voorkomen dat de a priori aanname door bijvoorbeeld onjuist meldingsgedrag of incorrecte meldingen al te zeer wordt verstoord. Dit kan in de methodiek worden verwerkt door:

- Ten eerste, bij meldingen na te gaan of het aantal meldingen in een populatie in redelijke verhouding staat tot schadepercentages, die in een populatie zijn te verwachten, gegeven de opgetreden trillingen
- Ten tweede, bij schade meldingen altijd de schade op te nemen en bij die opname een (eventueel marginale) toets uit te voeren of uit te sluiten valt dat de schade door bevingen is veroorzaakt of verergerd.

Hier zal ervaring mee opgedaan moeten worden. Ook kunnen de inzichten omtrent de toe te passen criteria nog wijzigen. Afhankelijk van de ervaringen en inzichten die met de toepassing van deze bovengrens in deze methodiek zullen worden opgedaan, kan deze bovengrens en kunnen de voorwaarden voor toepassing in de toekomst nog worden bijgesteld.

Voor bedoelde hoge waarden voor de trillingsterkte in een beoordelingsmethodiek zijn verschillende keuzes mogelijk. Het is ook mogelijk verschillende niveaus te benoemen en afhankelijk daarvan de procesgang in de methodiek aan te passen naar de hoogte van de trillingen en dus naar de aard van de te verwachten schade.

In de methodiek is op basis van de beperkt beschikbare rekenmodellen [B13] de volgende bovengrens voorgesteld, waarbij verwacht wordt dat de kans op schade meer dan 10 % bedraagt:

De topwaarde van de grootste component van de trillingsnelheid gemeten op bodemoppervlak of op begane grondniveau van een bouwwerk overschrijdt de waarde 10 mm/s met een kans van ten minste 25 %.

Opmerking: Deze grens komt ongeveer overeen met een waarde van 7,5 mm/s en een overschrijdingskans van ten minste 50 %.

Deze waarden leiden tot een veel grotere kans op schade, dan bij aanhouden van de criteria van SBR Richtlijn A. Indicatief wordt de kans op schade in deze situatie op basis van [B10] geschat in de orde van 10 à 25 % per geval. Schade binnen klasse DS1 (Damage State 1) is derhalve aannemelijk. De kans dat deze schade tot DS2 behoort, bedraagt volgens de huidige inzichten aanzienlijk meer dan 1 % per geval [B12].

H - Referenties bij de bijlage

- [B1] P.C. van Staalduinen, J. van der Vecht, Schade aan bouwwerken door trillingen; meet- en beoordelingsrichtlijn, Stichting Bouwresearch, Rotterdam 1993
- [B2] P.C. van Staalduinen, M.Th.J.H. Smits, Trillingscriteria m.b.t. schade aan gebouwen, TNO rapport B-90-822, opgesteld in opdracht van Stichting Bouwresearch, revisie januari 1993.
- [B3] Waarts P.H., Ostendorf C.J. , SBR-richtlijn Meet en beoordelingsrichtlijn: Trillingen, deel A Schade aan gebouwen. Stichting Bouw Research, 2003
- [B4] Mondeling communicatie C. Geurts, 29 juni 2017
- [B5] B. Raaijmakers Modelling van Constructies bij een Dynamische Excitatie via de fundering, TNO Bouw rapport 93-CON-R1383, januari 1994
- [B6] P.H. Waarts, Kans op schade aan bouwwerken door trillingen, TNO Rapport 97-CON-R1698, december 1997
- [B7] P.C. van Staalduinen, C.P.W. Geurts, De relatie tussen schade aan gebouwen en lichte, ondiepe aardbevingen in Nederland: inventarisatie, TNO rapport 97-CON-R1523-1 (1998)
- [B8] W. Roos, P.H. Waarts en B.B.T. Wassing, Kalibratiestudie schade door aardbevingen, TNO rapport TNO-034-DTM-2009-04435 (2009)
- [B9] B.B.T. Wassing, B. Dost, Seismisch hazard van geïnduceerde aardbevingen, Integratie van Deelstudies. TNO/KNMI-rapport TNO 2012 R11139 (2012)
- [B10] H. Borsje, J.N. Huibregtse, Analyse van de gevolgen van de aardbeving te Huizinge d.d. 16 augustus 2012, TNO-rapport 2012 R10227, 13 februari 2013
- [B11] Arup: 2013: Groningen 2013 Seismic Risk Study –Earthquake Scenario –based Risk assessment (REP /229746/SR001, 29 november 2013)
- [B12] C.P.W. Geurts en R.D.J.M Steenbergen, 'Relatie tussen PGA waarden en kans op schade voor geïnduceerde aardbevingen in Groningen', TNO notitie M0100296951 d.d. 13 juni 2016.
- [B13] P. Korswagen Eguren, Analysis and Reproduction of Waarts' Framework for Probability of Damage Initiation- Report – Summary Version 1: 3rd of July of 2017
- [B14] H. Borsje, J.P. Pruiksmann, S.A.J. de Rlichemont, Monitoringsnetwerk gebouwtrillingen – analyse aardbevingen in 2014 en 2015, TNO-rapport TNO 2017 R10217, 12 december 2016
- [B15] Witteveen en Bos 'Schadeonderzoek Groningen Buitengebied – Technische Rapportage, ASN177-12/16-021.191 versie 19 november 2016.
- [B16] Julian J Bommer, Peter J Stafford & Michail Ntinalexis, Empirical Ground-Motion Prediction Equations for Peak Ground Velocity from Small-Magnitude Earthquakes in the Groningen Field Using Multiple Definitions of the Horizontal Component of Motion, November 2016
- [B17] J.P. Pruiksma, A. Rózsás, Vibration levels at foundations of houses in Groningen due to induced earthquakes, TNO rapport 2017 R 10493, 14 april 2017