

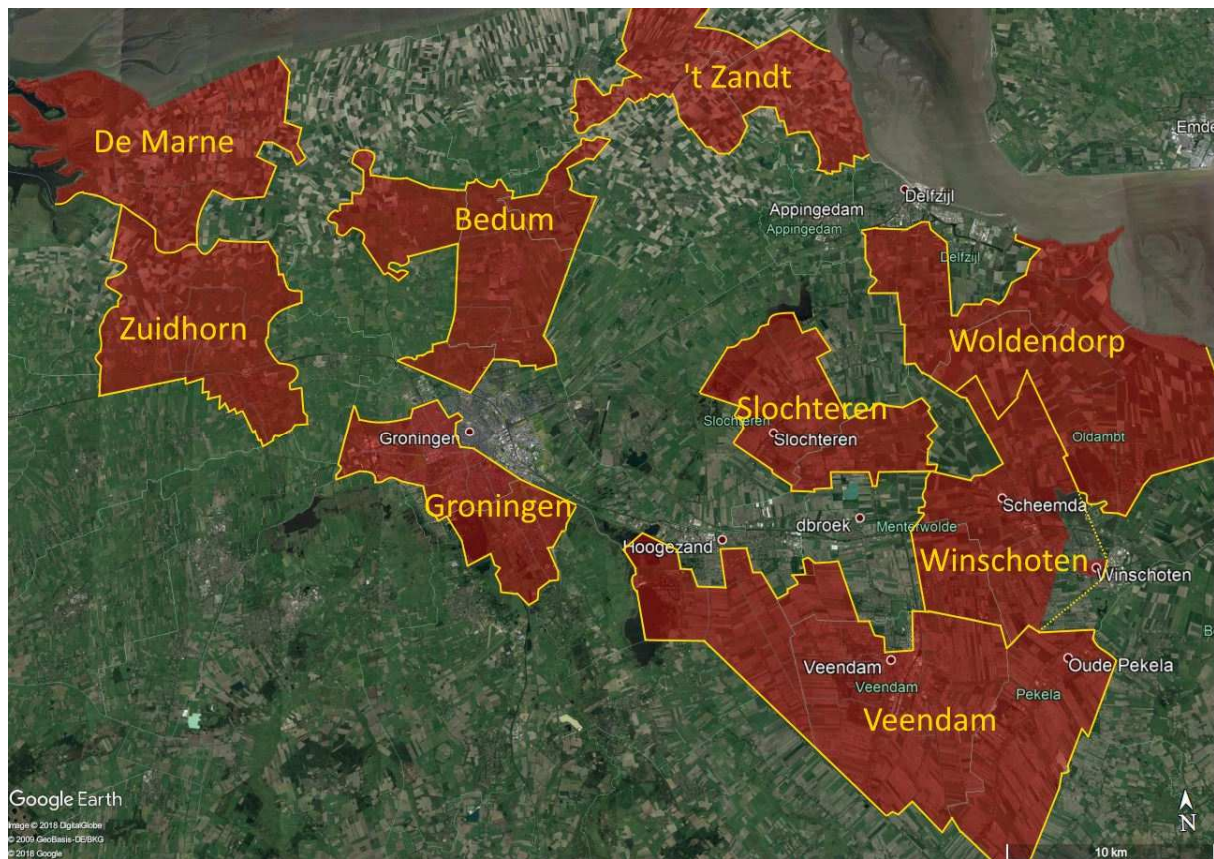
# Samenvatting

## *Het uitgevoerde onderzoek*

Dit rapport doet verslag van een onderzoek naar de oorzaken van schade aan gebouwen in Groningen. Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van de Nationaal Coördinator Groningen door een onderzoeksteam van TU Delft. Doel is om duidelijkheid te verkrijgen over de oorzaken die ten grondslag liggen aan de schades in de provincie Groningen en om inzicht te krijgen in de mate waarin diverse oorzaken een rol spelen. Aanleiding tot het onderzoek is de discussie over de voormalige contour. Binnen die contour werd tot 2016 in de provincie Groningen schade als gevolg van bevingen wél vergoed en daarbuiten werden claims op voorhand afgewezen. Hoewel die contour nu niet meer wordt gehanteerd, vormt deze wel de directe aanleiding tot de studie. Immers de vraag was, als bevingen niet de hoofdoorzaak van de schade zouden zijn buiten de contour, wat zijn dan wel de oorzaken? De invloeden van de verschillende mijnbouwactiviteiten in Groningen (gaswinning, gasopslag, zoutwinning, waterwinning, waterinjectie) worden in deze studie beschouwd en ook de stapeling van mijnbouwactiviteiten op bepaalde locaties. Duidelijkheid en duiding bieden over de oorzaken en hun invloed op de schade aan gebouwen staan centraal in dit onderzoek.

Bouwkundige schade doet zich vaak voor in de vorm van scheuren in metselwerk. Het onderzoek is uitgevoerd aan de hand van 69 case studies aan gebouwen, in zes gebieden op grote afstand van de epicentra van de zware bevingen (De Marne, Zuidhorn, Groningen/Haren, Veendam e.o., Winschoten e.o. en Woldendorp e.o.) en in drie gebieden op kleinere afstand tot de epicentra van de zware bevingen (Bedum, Slochteren, 't Zandt e.o.). De cases zijn geselecteerd uit diverse lopende of afgeronde schadeprocedures. Uitgangspunt is dat er voor schadeobjecten al een schademelding en een schadeopname zijn gedaan. De panden omvatten historische boerderijen, vrijstaande woningen, twee onder één kap woningen, enkele rijtjeswoningen en enkele bijzondere gebouwen, waaronder één korenmolen. Onder de 69 objecten bevinden zich 3 rijksmonumenten. De uiteindelijk 69 geselecteerde schadeobjecten blijken samen ruim 2300 schades te bevatten, dus gemiddeld 35 schades per pand. Deze schades zijn individueel gekwalificeerd en gecatalogiseerd (type en aard, kenmerken).

Deze studie zoekt het verband tussen (1) schade, (2) gebouw en (3) omgeving en beoogt daarmee oorzaken te verklaren en een diagnose te stellen. Het *gebouw zelf* vormt een eerste relevante omstandigheid of *context* voor de bouwkundige schade. De opbouw, geometrie, krachtswerking, gebruikte materialen en constructieprincipes, fundering en funderingsgrondslag, huidig en historisch gebruik, aanpassingen, uitbreidingen – al deze kenmerken van het gebouw kunnen een relatie met de schade hebben. Die relatie is voor alle panden onderzocht. Daarnaast vormt de *omgeving* van het gebouw een tweede belangrijke context voor schade. Soms is de omgeving om het gebouw in de loop van de tijd veranderd, zijn er naburige gebouwen gekomen, zijn er wegen aangelegd, is het terrein opgehoogd etc. Een ander belangrijk element in de context van de omgeving is de waterhuishouding. Niet in de laatste plaats zijn ook de mijnbouwactiviteiten in de provincie Groningen een belangrijke omgevingscontext. Effecten hiervan zijn diepe bodemdaling en bevingen. Het betreft de gaswinning in het Groningenveld en in tal van kleine velden, de zoutwinningsactiviteiten nabij Veendam en Winschoten, gasopslag bij Grijpskerk, Veendam en Winschoten en waterinjectie bij o.m. Borgsweer.



Figuur 1.1: Overzicht van de ligging van de negen onderzoeksgebieden in deze studie

Om de beoordeling te faciliteren zijn diverse aanvullende gegevens over het pand en de omgeving verzameld. Bij alle panden zijn zettingsmetingen uitgevoerd door middel van *lintvoegwaterpassingen*, is door middel van *satellietwaarnemingen* het zakkingsbeeld van gebouw en de nabije omgeving bepaald en is de invloed van historische geïnduceerde bevingen sinds 1986 op basis van rekenmodellen bepaald. Bij ongeveer twee derde van de panden is ter plaatse *funderings- en grondonderzoek* uitgevoerd.

In de studie is gekeken welke *afzonderlijke oorzaken of combinaties van oorzaken* een rol gespeeld kunnen hebben bij het ontstaan van schade. Daartoe zijn *scenario's* beschouwd om de schade te kunnen verklaren naar type, aard en voorkomen. Die scenario's zijn gefalsificeerd of geverifieerd aan de hand van gegevens over de context van gebouw en omgeving. Als een *best verklarend scenario* is gevonden, is de vraag van de *causaliteit*, het oorzakelijk verband tussen een omstandigheid en de schade, in principe beantwoord. Tevens is een oordeel gegeven over de mate waarin die oorzaak heeft geleid tot het overschrijden van opneembare spanningen in een bouwconstructie of bouwdeel. Dit is *technische toerekenbaarheid*; technisch opdat geen vermenging of verwarring plaatsvindt met eventuele juridische of financiële toerekenbaarheid. Het begrip 'technische toerekenbaarheid' staat ook los van een 'kans op schade'. De beoordeling van de schades en het opstellen van de best verklarende scenario's is uitgevoerd door een multidisciplinair samengesteld panel van experts (met als disciplines zowel geotechniek, funderingstechniek, constructief en bouwkundig) binnen een ingekaderde werkwijze. Daarmee zijn zoveel mogelijk waarborgen ingebouwd om te zorgen voor een objectieve beoordeling waarbij steeds zoveel mogelijk aspecten zijn belicht.

Het aantal cases en aantallen schades zijn per soort zodanig laag en de cases hebben zodanig specifieke kenmerken, dat met een statistische interpretatie van de resultaten voorzichtig moet

worden omgegaan. De resultaten zijn geldig voor de onderzoekspopulatie en – tenzij anders aangegeven – voor de populatie van gebouwen waarvoor schade is gemeld. Maar het veralgemeniseren van de resultaten naar de totale populatie gebouwen in de provincie Groningen kan alleen met zorgvuldige overwegingen gebeuren. Een bredere geldigheid van de uitspraken is bij de conclusies benoemd.

Dit onderzoek heeft als overeenkomst met eerder<sup>1</sup> uitgevoerd onderzoek naar de oorzaken van schade dat de schade door experts is beoordeeld en dat gebruik gemaakt is van een door TNO opgestelde generieke set aan schadeoorzaken. Het verschil met deze eerdere onderzoeken ligt in 1) het hanteren van een scenario-aanpak met meer oorzaken, 2) het hanteren van het begrip technische toerekenbaarheid, 3) in een grote hoeveelheid ondersteunende en aanvullende informatie in het beoordelingsproces waarmee consequent rekening is gehouden met de context van het gebouw, de ondergrond en de omgeving, 4) modelgegevens om de sterkte van laagfrequente trillingen beter te kunnen schatten en 5) verdiepende inzichten over de schadelijke werking van trillingen. Dit laatste geldt zowel voor de invloed van trillingen door bevingen als afzonderlijke oorzaak, maar ook voor de invloed die bevingen samen met andere oorzaken kunnen hebben bij het ontstaan van schade.

Het onderhavige rapport bespreekt de resultaten van de cases studies op een geaggregeerd niveau, in termen van gebouwtypen, bouwwerkklassen en ligging van de panden. Over de situatie van de afzonderlijke panden is alleen een terugkoppeling aan de eigenaren/bewoners gegeven.

### *De belangrijkste conclusies uit het onderzoek*

#### ***Aantal, mate en type schade is afhankelijk van bouwtype, bouwjaar en ligging t.o.v. epicentra***

Het aantal schades, de mate van schade (scheurwijdte) het type schade (scheurtype) en de locatie van schade (binnen of buitenzijde van het gebouw) heeft een verband met het bouwtype en met de bouwjaarklasse:

- Wanneer onderscheid wordt gemaakt naar bouwjaarklasse, zijn er in alle vier gehanteerde bouwjaarklassen gemiddeld meer schades per pand in gebieden op kleine afstand tot de epicentra van zware bevingen dan in de gebieden op grote afstand tot de epicentra.
- Panden van na 1970 blijken relatief meer schade aan de binnenzijde van de woning te hebben dan aan de buitenzijde. Dit verschil wordt ook aangetroffen bij twee-onder-een-kap woningen. Dit houdt verband met de constructiewijze van deze (veelal) nieuwere panden en houdt geen verband met hun ligging ten opzichte van de epicentra.
- Panden van voor 1940 vertonen in de regel meer schades dan panden van na 1940. Boerderijen (woonhuis inclusief de daaraan gekoppelde schuur) vertonen in de regel meer schades dan vrijstaande woningen en twee-onder-een-kap woningen, hetgeen verklaarbaar is vanwege de grotere omvang van boerderijen.

#### ***De oorzaak van het optreden van de schade kan bij ongeveer 70 % van de schades worden vastgesteld***

In gemiddeld 70 % van de schades kon op basis van beschikbare schadeopname rapporten een best verklarend scenario worden geformuleerd. In de overige gevallen waren er te veel opties of was de kwaliteit van de informatie over de schade onvoldoende om tot een oordeel te komen. Deze score geeft een inzicht in de mate waarin op basis van schadeopname rapporten tot een uitspraak over de

---

<sup>1</sup> Grote schadeonderzoeken in Groningen door onder meer Arcadis in 2015 en Witteveen + Bos in 2016/2017

causaliteit kan worden gekomen. Nader onderzoek aan het schadeobject zou deze score nog kunnen verbeteren.

### ***Toerekening van aandeel van oorzaken aan schade is slechts indicatief mogelijk***

In deze studie is het begrip (technische) toerekenbaarheid gehanteerd. De toerekenbaarheid van de schade betreft het aandeel van een oorzaak in de spanningen of rekken van een bouwdeel of constructiedeel, wanneer de schade is ontstaan. Een nauwkeurige kwantitatieve vaststelling hiervan blijkt binnen het proces van de beoordeling niet mogelijk te zijn. Dit is te bewerkelijk en er blijven te veel onzekerheden. Over de technische toerekenbaarheid kunnen daarom alleen indicatieve en kwalitatieve uitspraken worden gedaan.

### ***Gebouwgebonden oorzaken en ongelijkmatige zettingen vormen voornaamste bestanddeel in de scenario's***

De mogelijke oorzaken van schade zijn in drie hoofdcategorieën onderverdeeld: 1) gebouwgebonden oorzaken, 2) bevingen en 3) ongelijkmatige zettingen.

De meerderheid van de schades heeft een best verklarend scenario, waarin gebouwgebonden oorzaken en zettingsverschillen als oorzaken voorkomen. Veel van de best verklarende scenario's voor het ontstaan van de schade in de onderzochte panden bevatten ook de bevingen als medeoorzaak.

Gebouwgebonden oorzaken en ongelijkmatige zettingen zijn in termen van technische toerekenbaarheid de belangrijkste schadeoorzaken, gezien over alle schades bij de onderzochte panden. Het aandeel van gebouwgebonden oorzaken en ongelijkmatige zettingen in de spanningen die tot schade leiden is voor beide typen oorzaken *middelmatig* (middelmatig betekent een orde van grootte tussen 33 % en 66 %). Trillingen door bevingen hebben bij de onderzochte panden een kleiner aandeel.

Indien naar bouwtype of bouwjaarklasse wordt gekeken, wijken alleen 'Twee onder één kap woningen' en gebouwen van na 1970 van dit beeld af: de toerekening van de schade aan zettingen is hier aanzienlijk geringer en wordt als *klein* gekwalificeerd (orde van grootte 10 % tot 33 %). Gebouwen van na 1970 zijn mede op basis van beter grondonderzoek beter gefundeerd.

### ***Gebouwgebonden oorzaken zijn niet specifiek voor de onderzochte panden of voor de provincie Groningen***

Gebouwgebonden oorzaken zijn die oorzaken, die uitsluitend samenhangen met het gebouw, de geometrie, de toegepaste bouwmaterialen en constructiewijzen en met de krachtswerking in het gebouw en staan los van de lokale situatie. Deze bevinding over de mate van toerekenbaarheid aan gebouwgebonden oorzaken heeft brede geldigheid voor gebouwen in de provincie Groningen.

### ***Zettingen en zettingsverschillen zijn sterk bepaald door specifieke lokale omstandigheden***

Zettingen en zettingsverschillen kennen een breed spectrum van achterliggende of dieper liggende oorzaken, die worden bepaald door lokale omstandigheden.

- Gebouw en fundering: in vrijwel alle onderzochte gevallen is de situatie van de fundering in combinatie met de lokale ondiepe ondergrond de belangrijkste factor bij het ontstaan van zettingen en zettingsverschillen. Voor de verklaring van de bouwkundige schade speelt deze oorzaak een grote rol. De meeste onderzochte panden staan niet op palen en zijn zgn. 'op staal' gefundeerd. Dan speelt het ontwerp van de fundering een rol, de eigenschappen van de bodem

en ook de grondwaterstand en het vochtgehalte van het bodemmateriaal. Ook de ligging van panden op een talud of op de rand van een wierde heeft invloed op zettingen en zettingsverschillen.

- Diepe bodemdaling: deze speelt geen rol bij het ontstaan van schade door zettingen in de onderzochte gevallen, althans niet in termen van door de bodemdaling veroorzaakte hellingen, krommingen en rekken in de bodem en in een gebouw. Dit geldt ook voor locaties met een zeer lokale diepe bodemdaling en zogenaamde gestapelde mijnbouwactiviteiten, zoals nabij Veendam en nabij Winschoten.
- Peil aanpassingen en wijziging grondwaterstanden: in enkele afzonderlijke gevallen hebben aanpassingen van oppervlaktepeilen verband houdend met diepe bodemdaling door mijnbouwactiviteiten mogelijke wel een invloed gehad op de grondwaterstand. Deze oorzaak speelt alleen in zeer specifieke situaties een rol. Er kunnen dan ongelijkmatige zettingen in de ondiepe ondergrond ontstaan.

### ***Onzekerheid in historische grondwaterstanden en seizoensgebonden variaties is zeer groot***

Geconstateerd wordt dat de dichtheid van het meetnet van de grondwaterstanden vooral in het noordelijk deel van de provincie Groningen zeer grofmazig is. Ook is de compleetheid van de data en van de bemonsteringsperioden vaak zodanig beperkt, dat geen goed oordeel kan worden geveld over de grondwaterstanden in het verleden. Het invullen van deze lacunes vereist het uitvoeren van lokale of regionale grondwaterstudies waarin ook gegevens over historische neerslag en verdamping worden meegenomen. Dergelijke studies zijn in het onderhavige onderzoek niet uitgevoerd, als gevolg waarvan de onzekerheid in de lokale grondwaterstand bij veel panden aanzienlijk is.

### ***Oorzakelijke verband tussen schade en bevingen moeilijk uit te sluiten of te bewijzen***

Bevingen zijn als schade-bijdragende factor moeilijk uit te sluiten van de best verklarende scenario's, maar vallen tegelijk ook moeilijk te bewijzen. Het schadebeeld biedt hiervoor meestal onvoldoende aanknopingspunten. Waar combinaties van bevingen met andere oorzaken optreden, lijkt bij lichte bevingen het schadebeeld vooral gerelateerd te zijn aan de andere onderliggende oorzaak. Voor het betrouwbaarder bepalen van de invloed van de beving op de schade is kennis van het moment van het ontstaan van de schade essentieel. Deze conclusie heeft bredere geldigheid voor schades bij andere gebouwen in de provincie.

Slechts bij een zeer beperkt aantal afzonderlijke schades is vastgesteld dat deze uitsluitend door de bevingen kunnen zijn veroorzaakt. Deze schades komen voor bij enkele cases binnen de voormalige contour, daar waar in het verleden sterke trillingen als gevolg van de bevingen zijn opgetreden.

### ***Triggerwerking kan bij bevingen schade laten ontstaan bij betrekkelijk lage trillingssterkte***

De studie heeft nader inzicht gegeven in de schadelijke werking van trillingen door bevingen. Door middel van simulatieberekeningen is de invloed van trillingen door bevingen in combinatie met spanningen door andere belastingen onderzocht. Daarbij is gekeken naar de spanningen in het vlak van gevels en muren als gevolg van de trillingen uit de bodem. Speciaal is gekeken naar de mogelijkheid dat een beving van geringe sterkte schade kan laten ontstaan in een situatie dat een bouwdeel al spanningen bevat als gevolg van een andere belasting, zoals door een gebouwgebonden situatie of door een zettingsverschil. Deze zgn. triggerwerking is op basis van modelvorming rekenkundig onderbouwd. Het moment waarop de beving plaatsvindt, in relatie tot de opgebouwde spanningen door de andere mechanismen is bepalend is voor de triggerwerking. De triggerwerking is een belangrijke omstandigheid dat bij veel panden schade door bevingen kan ontstaan, ondanks de

geringe invloed van de trillingen op de spanningen in de desbetreffende gebouwen. Deze inzichten zijn meegenomen bij de beoordeling en de kwalitatieve toerekening van de schade.

### ***Bij bijzondere gebouwen en in bijzondere situaties kan interactie van bouwdelen als gevolg van bevingen aanleiding zijn tot schade***

Bij een aantal cases in de studie, zoals boerderijen en bijzondere gebouwen, zijn er indicaties dat de bevingen interacties tussen gebouwdelen hebben veroorzaakt, die op een andere manier tot schade hebben geleid dan de spanningen in het vlak van de gevel of muurdelen als gevolg van de bevingen. Dergelijke interacties blijken vooral aan de orde bij grote dakconstructies (met name schuren/stallen van boerderijen) en bij bijzondere constructies (zoals bijv. een korenmolen).

### ***De mate van toerekenbaarheid van schade aan bevingen ligt voor veel cases op een laag niveau***

Met de verkregen inzichten is een indicatieve en kwalitatieve schaal van toerekenbaarheid gebruikt bij beoordeling van de invloed van bevingen.

Gemiddeld over alle gebouwen op kleine afstand tot de epicentra van geïnduceerde bevingen – dit betreft de onderzoeksgebieden binnen de voormalige contour – is de technische toerekenbaarheid van de schade aan bevingen gekwalificeerd als *klein* tot *middelmatig* (orde van grootte 33 %). Omdat het een gemiddelde over alle onderzochte gebouwen betreft, zullen voor afzonderlijke schades deze percentages afwijken.

Op grote afstand tot de epicentra van zware bevingen – dit betreft de onderzoeksgebieden buiten de voormalige contour – is de technische toerekenbaarheid gekwalificeerd als (*vrijwel*) *geen* (orde van grootte: minder dan 1 %) tot *zeer klein* (orde van grootte 1 % tot 10 %).

Deze verschillen tussen de onderzoeksgebieden buiten de contour ontstaan vooral, doordat bij sommige kleinere gasvelden of lokale winningsactiviteiten (lichte) geïnduceerde bevingen blijken op te treden, die bij panden in de directe nabijheid sterkere trillingen veroorzaken dan de zwaardere bevingen op grote afstand. De invloed van deze lichterbevingen op zeer kleine afstand is in veel eerdere schadeonderzoeken niet beschouwd.

### ***De aanbevelingen naar aanleiding van het onderzoek***

Verbeter de kwaliteit van de bouwkundige schadeopname. Deze is sterk bepalend voor de kwaliteit en betrouwbaarheid van de beoordeling. Om de beoordeling in complexe gevallen te faciliteren, zou overwogen moeten worden voor specifieke gebieden of voor specifieke kwetsbare panden alsnog een bouwkundige vooropname uit te voeren, waarbij alle reeds aanwezige schade eenduidig wordt vastgelegd.

Voeg de lintvoegwaterpassing toe als element bij de beoordeling van belangrijke en/of complexe schades waar ongelijkmatige zettingen mogelijk een rol spelen. De informatie uit de lintvoegwaterpassingen is cruciaal voor een goede beoordeling van de invloed van zettingen.

Maak de onzekerheden in de vaststelling van het oorzakelijk verband beter zichtbaar en expliciet. Dit zal op termijn de kwaliteit van de beoordelingen vergroten en leiden tot betere gegevensverzameling of onderzoek om de gesignaleerde onzekerheden te verminderen.

De modelvorming van gebouwen moet verder worden uitgebreid voor meer bouwtypen en ondergrondssituaties, om beter inzicht te krijgen in de invloed van bevingen en andere belastingen op de spanningen in gebouwen. Hierdoor kunnen kansen op het ontstaan van schade in diverse omstandigheden en situaties beter worden onderbouwd.

Breid bestaande monitoringprogramma's voor bodemdaling uit, individualiseer de resultaten daarvan en maak meer gebruik van beschikbare nieuwe monitoringtechnologie, bijvoorbeeld op basis van satellietwaarnemingen. Dit vergroot het inzicht in de effecten van diepe bodemdaling aan het aardoppervlak.

Maak beter gebruik van de beschikbare sensornetwerken voor het meten van trillingen (waaronder het KNMI en het TNO netwerk) om de schatting van de trillingssterkte per beving per pand te optimaliseren en de resterende onzekerheid in de modellen te verminderen.

Verbeter het inzicht in actuele grondwaterstanden bij kwetsbare panden of panden op gevoelige locaties zoals taluds, hellingen (wierden). Hiertoe zou het meetnet van grondwaterstanden aanzienlijk moeten worden verdicht. Waar zulke lacunes bestaan, zullen lokale of regionale grondwaterstudies uitgevoerd moeten worden, waarin invloed van peilveranderingen, grondwateronttrekkingen, neerslag en verdamping moet worden meegenomen.

Verbeter het inzicht in de complexe wisselwerking tussen grondwaterstanden, ondiepe en diepe bodemdaling en bevingen en de effecten hiervan op bodem en gebouwen. Dit geldt ook voor het inzicht in vervormingen van massieven met taluds onder invloed van de wisselwerking van deze omstandigheden. De relatie tussen deze fenomenen en bouwkundige schade kan hierdoor in deze specifieke situaties beter worden onderbouwd.