



Schadeonderzoek Groningen Buitengebied

Technische rapportage

Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.

29 maart 2017

Project
Opdrachtgever

Schadeonderzoek Groningen Buitengebied
Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.

Document
Status
Datum
Referentie

Technische rapportage
Definitief
29 maart 2017
ASN177-12/17-004.636

Projectcode
Projectleider
Projectdirecteur

ASN177-12
ir. R.P.N. Pater
dr.ir. T.A.M. Salet

Auteur(s)
Gecontroleerd door
Goedgekeurd door

dr.ir. T.A.M. Salet, ir. M.J.A.M. Bruurs
ir. F.J. Kaalberg, ir. H.J. Lengkeek, dr.ir. S. Slob, ir.drs. R. de Nijs, ir. T.H. van Wee,
ing. H.L.M. Laagland
ir. R.P.N. Pater

Paraaf



Adres

Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V.
Van Twickelostraat 2
Postbus 233
7400 AE Deventer
+31 (0)570 69 79 11
www.witteveenbos.com
KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

	SAMENVATTING	1
1	INLEIDING	5
1.1	Aanleiding	5
1.2	Onderzoeksgebied	6
1.3	Doel van het onderzoek	6
1.4	Randvoorwaarden	6
1.5	Samenstelling van het onderzoeksteam en begeleidingscommissie	7
1.6	Leeswijzer	8
2	AANPAK ONDERZOEK	9
2.1	Opzet van een PCA	9
2.2	Verzamelen van informatie	11
2.2.1	Identificeren van mogelijke schadeorzaken	11
2.2.2	Omgevingskenmerken	12
2.2.3	Gebouwkenmerken	13
2.2.4	Schadekenmerken	13
2.3	Beoordelen van schade	14
2.3.1	Falsificatie	14
2.3.2	Verificatie	15
2.4	Uitvoeren toets	15
2.4.1	Gestuurde patroonherkenning	16
2.4.2	Ongestuurde patroonherkenning	18
2.4.3	Aanvullende onderzoeken op locatie	19
2.5	Vaststellen definitieve schadeorzaken	19
3	RESULTATEN	20
3.1	Algemeen	20
3.2	Belastingen	24
3.2.1	Geen overbelasting, onvoldoende sterkte/stijfheid - initieel	24
3.2.2	Overbelasting door trillingen - aardbevingen	25
3.2.3	Overbelasting door trillingen - wegverkeer	32

3.3	Vervormingen	34
3.3.1	Verhinderde vervormingen - initieel	34
3.3.2	Opgelegde vervormingen - initieel	35
3.4	Ongelijkmatige zettingen in de ondergrond	37
3.4.1	Autonome zetting - gelijkblijvende belastingen	37
3.4.2	Verandering in de ondergrond - trillingen	39
3.4.3	Verandering in de ondergrond - bodemdaling ten gevolge van mijnbouwactiviteiten	40

4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN 41

4.1	Conclusies	41
4.2	Aanbevelingen	43

5 REFERENTIES 45

	Laatste pagina	46
--	----------------	----

Bijlage(n)

I Verzamelen van informatie

I.1	Inleiding
I.1.1	Informatie verzamelen, de eerste stap van de PCA
I.1.2	Welke informatie is verzameld en op welke manier?
I.2	Overzicht mogelijke schadeorzaken
I.2.1	A. Belastingen
I.2.2	B. Vervormingen
I.2.3	C. Ongelijkmatige zettingen in de ondergrond
I.2.4	D Geen schade
I.3	Inspectie van de woning
I.3.1	Inspectie
I.3.2	Controle en toetsing door W+B en bewoner
I.3.3	Resultaat
I.3.4	Inspectievragenlijst
I.4	Bureaustudie
I.4.1	Algemeen informatie uit bronnen/modellen
I.4.2	Verkeer
I.4.3	Bodemdaling door diepe delfstofwinning
I.4.4	Bodemdaling door ondiepe ondergrond

- I.4.5 Grondwaterstand
- I.4.6 Aardbevingen
- I.4.7 Bouwactiviteiten
- I.4.8 Industriële activiteiten
- I.4.9 Achtergrondruis
- I.4.10 Bomen
- I.5 Aanbevelingen

II Beoordelen van informatie

- II.1 Inleiding
- II.2 Falsificatiecriteria
 - II.2.1 Falsificeren van schadeorzaken
 - II.2.2 Omgeving: Trillingen vanuit de ondergrond
 - II.2.3 Omgeving: Ongelijkmatige zettingen in de ondergrond
 - II.2.4 Gebouw: Interne vervormingen en belasting
 - II.2.5 Resultaat falsificatiecriteria
- II.3 Verificatiecriteria
 - II.3.1 Verifiëren van schadeorzaken
 - II.3.2 Overzicht van veelvoorkomende schadeorzaken
 - II.3.3 Resultaat verificatiecriteria
- II.4 Preliminare schadeorzaken
 - II.4.1 Overzicht gefalsificeerde schadeorzaken
 - II.4.2 Overzicht geverifieerde schadeorzaken
- II.5 Aanbevelingen
 - II.5.1 Aanbevelingen falsificatiecriteria
 - II.5.2 Aanbevelingen verificatiecriteria

III Uitvoeren toets

- III.1 Inleiding
 - III.1.1 Dataset
 - III.1.2 Controle dataset
 - III.1.3 Opwerking dataset
- III.2 Methode queries op basis van combinatie-deductie-eliminatie
 - III.2.1 Algemeen
 - III.2.2 Combinatie-deductie-eliminatie
 - III.2.3 Toets op falsificatie
 - III.2.4 Toets op verificatie
 - III.2.5 Toets op samengestelde schadeorzaken
 - III.2.6 Uitgangspunten

- III.3 Methode MLR en EMM
 - III.3.1 Algemeen
 - III.3.2 Opzet statistische analyse
 - III.3.3 Lineaire Regressie
 - III.3.4 Exceptional Model
- III.4 Aanvullende onderzoeken op locatie
- III.5 Toetsresultaten
 - III.5.1 Algemeen
 - III.5.2 Resultaten Lineaire Regressie en Exceptional Model Mining
 - III.5.3 Toets op falsificatie
 - III.5.4 Toets op verificatie
 - III.5.5 Toets op samengestelde schadeorzaken
- III.6 Aanbevelingen

SAMENVATTING

Aanleiding

In gebieden buiten de voormalige contour van het schade-afhandelingsgebied, kortweg 'buitengebied' genoemd, is schade gemeld waarvan de eigenaar vermoedt dat deze veroorzaakt of verergerd is door mijnbouwactiviteiten. De onderzochte adressen in het buitengebied kenmerken zich door, in vergelijking met het schade-afhandelingsgebied, relatief lage, maar nog wel door bewoners gevoelde, trillingsbelastingen ten gevolge van geïnduceerde aardbevingen. In opdracht van de NAM heeft Arcadis in 2015 door middel van een steekproef, onderzoek gedaan naar schades in het buitengebied. De conclusie van Arcadis was dat de kans op schade door aardbevingen in het gebied klein was voor gebouwen die in slechte staat zijn en verwaarloosbaar klein voor de overige gebouwen. De NAM heeft aan de Nationaal Coördinator Groningen (NCG) gevraagd het onderzoek te laten controleren. Op grond van de onafhankelijke controle door de Technische Universiteit Delft, is door de minister van Economische Zaken aan de Tweede Kamer de conclusie van de NCG, dat het besluit van de NAM om geen schade-inspecties uit te voeren in het buitengebied niet langer houdbaar is, gemeld. De NCG heeft de NAM dringend geadviseerd om ook de schades in het buitengebied conform het schadeprotocol af te handelen. De NAM heeft dit advies opgevolgd en aan CVW opdracht gegeven de schademeldingen in behandeling te nemen.

Doel

In opdracht van de NAM is door Witteveen+Bos (W+B) een onderzoek uitgevoerd met als doel het achterhalen van de oorzaak of oorzaken van schade(s) aan gebouwen in het buitengebied. Het onderzoek is op transparante wijze uitgevoerd met in acht name van minimale hinder voor de bewoners, herleidbaarheid, reproduceerbaarheid en toetsbaarheid en binnen de beschikbare onderzoeksperiode (september 2016 - februari 2017). Bij de uitvoering van het onderzoek zijn uitsluitend reeds opgetreden gebeurtenissen beschouwd. Er is rekenschap genomen van de conclusies van de TU Delft in de keuze van de onderzoeksmethodiek. Het onderzoek staat intern onder inhoudelijke leiding van een Panel van deskundigen. Een door NCG ingestelde onafhankelijke begeleidingscommissie adviseert de NCG over de vormgeving en uitvoering van het onderzoek. De commissie zal het onderzoek evalueren, ook met het oog op de vraag of deze aanpak model zou kunnen staan voor bredere werking.

Onderzoeksmethode

De in het onderzoek gehanteerde methodiek is een 'Presumable Cause Analysis' (PCA). Deze methodiek kan in haar aanpak worden geplaatst tussen een gebied gerelateerde risicoanalyse door middel van een bureaustudie (zoals bijvoorbeeld het opstellen van een hazard map), en een volledig technisch onderzoek ter plaatse aan een individueel gebouw zoals een 'Root Cause Analysis (RCA). De methodiek bestaat uit drie onderling samenhangende delen, te weten het verzamelen van informatie, het beoordelen van de schade en het uitvoeren van een toets.

Een PCA start met het identificeren van mogelijke schadeoorzaken en het op een systematische wijze verzamelen van informatie over de schade, het gebouw en de omgeving. Deze informatie wordt verzameld door middel van een bureaustudie en een bezoek aan het adres waar schade gemeld is. De bureaustudie is uitgevoerd door individuele leden uit het Panel op basis van de betreffende deskundigheid. De informatie is gedeeld met door hen geïnstrueerde inspecteurs (W+B) en bewonersbegeleiders (CVW) die zijn ingezet om interviews af te nemen en visueel kenmerken te verzamelen van alle schade, het gebouw en de omgeving. De informatie wordt centraal opgeslagen in een digitaal informatiemanagementsysteem.

Vervolgens worden de mogelijke schadeoorzaken op basis van de verzamelde informatie beoordeeld. De eerste stap is het reduceren van mogelijke oorzaken door falsificatie op basis van omgevings- en gebouwkenmerken. De falsificatie geschiedt op basis van discrete informatie (iets komt wel of niet voor) of op basis van een grenswaarde. De tweede stap is het koppelen van schadebeelden en schadeoorzaken door middel van verificatie, waarbij het mogelijk is dat meerdere oorzaken aan een schade gekoppeld kunnen worden. Het resultaat van de beoordeling zijn de preliminaire schadeoorzaken die op basis van waarnemingen geverifieerd zijn. In het geval er gebruik is gemaakt van schematisering of bij de falsificatie sprake is van een grenswaarde, dan is voorzichtigheid geboden.

Daarom is de laatste stap in het uitvoeren van een PCA een toets op de uitgangspunten. De toets bestaat uit aanvullende onderzoeken op locatie en patroonherkenning. De aanvullende onderzoeken bestaan uit aselechte grondonderzoeken en het select en aselechte verzamelen van aanvullende informatie over gebouwen door additionele metingen zoals sonderingen en het opvragen van aanvullende informatie. De patroonherkenning bestaat uit zowel het gestuurd als ongestuurd zoeken naar patronen, relaties, verbanden en trends in de verzamelde gegevens. Door het uitvoeren van de toetsen wordt de verificatie verder onderbouwd door aanvullend doch indirecte bewijsvoering en wordt gecontroleerd of uitgangspunten bij het falsificeren aantoonbaar invloed hebben gehad op het resultaat. Na het uitvoeren van de toets kunnen de definitieve schadeoorzaken worden vastgesteld, gebaseerd op de waarnemingen van de beoordelingen en de uitkomsten van de toetsen.

Resultaten

In het onderzoek zijn op 1.564 adressen, waar schade gemeld is, inspecties uitgevoerd aan 2.077 gebouwen waarbij in totaal 33.877 schades zijn vastgelegd. Van de schades betrof 95 % een scheur. Van de scheuren waarvan de scheurwijdte is gemeten wordt 92 % gecategoriseerd als 'zeer lichte' en 'lichte' schade op basis van de classificaties van de Building Research Establishment [6].

Uit het onderzoek volgt dat één of meer schades bij:

- 1.960 gebouwen veroorzaakt zijn door vervormingen;
- 1.831 gebouwen veroorzaakt zijn door belastingen;
- 1.651 gebouwen veroorzaakt zijn door ongelijkmatige zetting van de ondergrond.

Deze resultaten gelden voor het totaal van de onderzochte gebouwen in het gebied. Specifiek per gebouw is in een individueel rapport voor de eigenaar per schade aangegeven wat de mogelijke oorzaak is of oorzaken van het schadebeeld zijn.

De beoordeling is gebaseerd op de waargenomen schadebeelden, de vergelijking van de berekende trillingssnelheid met de grenswaarde uit de SBR en ondersteund door de toetsing daarvan. Alhoewel voor een klein aantal individuele schades beïnvloeding door mijnbouwactiviteiten niet met zekerheid is uit te sluiten, is op basis van de beoordeling op gebiedsniveau en gebouwniveau schade veroorzaakt door mijnbouwactiviteiten niet geconstateerd. Besloten in het gebruik van de grenswaarde uit de SBR is dat beïnvloeding voor een klein aantal individuele schades in het hele onderzoek niet met zekerheid is uit te sluiten.

Aanbevelingen

Met het oog op het gebruik van de gehanteerde methodiek in de toekomst en een verdere ontwikkeling van de methodiek voor vaststellen van mogelijke oorzaken van schades is het volgende aan te bevelen:

- onderzoek gebouwen in gebieden waar trillingen veroorzaakt door aardbevingen niet meer voelbaar zijn, om meer waarde te kunnen geven aan het beperkte aantal schades in het onderzoek, waarvan niet met zekerheid is uit te sluiten dat deze beïnvloed zijn door aardbevingen;
- monitor periodiek en systematisch schades aan een groep gebouwen om bij mogelijke toekomstige geïnduceerde aardbevingen duidelijk andere patronen en trends te kunnen herkennen bij individuele schades;
- gebruik de analyses die hier zijn gebruikt voor een toets om, in gebieden waar, op basis van de vergelijking van de berekende VTOP met de SBR richtlijn, schade aan gebouwen door trillingen door aardbevingen verwacht kan worden, verbanden tussen deze trillingen en schade te verifiëren;
- bepaal hoe invulling gegeven dient te worden aan de hiervoor genoemde onderzoeken. Dit dient bij voorkeur te gebeuren samen met de TU Delft en TNO die andere onderzoeken uitvoeren aan gebouwen aan de rand van het aardbevingsgebied naar trillingen ten gevolge van aardbevingen en oorzaken van schades;
- verzamel aanvullende informatie uit bouwdoSSIERS over met name de funderingswijze van een gebouw of clusters van gebouwen om daarmee het aantal mogelijke schadeoorzaken dat per schade over blijft verder terug te kunnen brengen;
- voer geen verdiepend technisch onderzoek op locatie zoals een RCA uit omdat een dergelijk onderzoek naar onze verwachting niet zal leiden tot een kwantitatieve verandering van het kleine aantal schades en

het identificeren van de individuele schades, dat mogelijk beïnvloed is door aardbevingen. Tevens wordt verwacht dat een RCA geen ander beeld zal geven met betrekking tot de voorkomende schadeoorzaken;

- onderzoek de mogelijkheden voor verdere automatisering en digitalisering van het proces om de effectiviteit en efficiëntie van het uitgevoerde onderzoek nog verder te verbeteren. Onderzoek ook de mogelijkheden om het proces voor de bewoner nog transparanter te maken

In de bijlagen I, II en III zijn voor het verzamelen van informatie, beoordelen van schade en de toets aanvullende specialistische aanbevelingen gedaan.

Daarnaast worden de volgende algemene aanbevelingen worden gedaan:

- voer aanvullend onderzoek uit naar schades aan gebouwen in zowel niet-aardbevingsgebied als aardbevingsgebied (en op schudtafels onder laboratorium omstandigheden) om de bestaande schadebeelden te verfijnen en aan te vullen met de tot nu nog ontbrekende schadebeelden en de schade aard en omvang mee te kunnen vergelijken. Wanneer deze kennis ontwikkeld is kunnen ook meer schadeoorzaken getoetst worden;
- blijf de methodiek aanpassen op basis van toekomstige ontwikkelingen in de GMPE modellen om de mate van zekerheid over het al dan niet optreden van schade door trillingen uit aardbevingen met een voldoende en breed gedragen mate van nauwkeurigheid vast te kunnen stellen om daarmee de inspanning van de toets in de toekomst te beperken;
- stel instrumentele intensiteitskaarten op bij toekomstige aardbevingen om de beleving van de bewoners beter vast te leggen en relatie tussen het voelen van en beving en het melden van schade als gevolg van de aardbeving beter te begrijpen;
- het aanbrengen van een weging in de mogelijke schadeoorzaken kan in het kader van herstel nuttig zijn. Speciale aandacht zou dan uit dienen te gaan naar het uitvoeren van aanvullend onderzoek naar het wegen van verschillende schadeoorzaken bij schades die gekwalificeerd worden als 'zeer lichte' en 'lichte' schade omdat voor dergelijke schades de praktisch haalbare meetnauwkeurigheid van de aandrijvende mechanismen grote invloed heeft op het onderscheidende vermogen.

1

INLEIDING

1.1 Aanleiding

Als gevolg van mijnbouwactiviteiten in het Groninger gasveld ontstaan worden aardbevingen geïnduceerd die kunnen leiden tot fysieke schade aan gebouwen. Fysieke schade kan mogelijk ook ontstaan door gasopslag in de regio. Meldingen van deze schade worden door het Centrum Veilig Wonen (CVW) in behandeling genomen. Een uitzondering hierop zijn schademeldingen die komen uit gebieden buiten de voormalige contour van het schade-afhandelingsgebied Groningen, in het vervolg van dit document kortheidshalve 'buitengebied' genoemd. In afbeelding 1.1 is de voormalige contour weergegeven. De onderzochte adressen in het buitengebied kenmerken zich door, in vergelijking met het schade-afhandelingsgebied, relatief lage, maar nog wel door bewoners gevoelde, trillingsbelastingen ten gevolge van geïnduceerde aardbevingen. Het CVW heeft de schademeldingen in het buitengebied wel geregistreerd, maar nog niet in behandeling genomen.

In opdracht van de NAM heeft het onderzoeksbureau Arcadis in 2015 een onderzoek gedaan naar de schademeldingen die komen uit het buitengebied. Hierbij zijn in elf gebieden rondom de voormalige contourlijn in totaal 70 gebouwen onderzocht [1]. De uitkomsten van dit onderzoek zijn in november 2015 gepubliceerd met als conclusie dat 'de kans op schade door aardbevingen in het buitengebied klein is voor gebouwen die in slechte staat zijn en verwaarloosbaar klein voor de overige gebouwen' [1].

De NAM heeft aan de Nationaal Coördinator Groningen (NCG) gevraagd om het onderzoek van Arcadis te laten controleren. Deze controle is uitgevoerd door de Technische Universiteit Delft. De conclusie hiervan was dat de gevolgde onderzoeksmethode adequaat is voor het doel van het onderzoek [2]. De aanpak om per schadebeeld oorzaken vast te stellen, voor mogelijk te houden of uit te sluiten, is objectief, navolgbaar en inzichtelijk. Samengevat wordt er verder geconcludeerd dat:

- de omvang van de steekproef te klein is. Een verwaarloosbare kleine kans op schade aan een individueel bouwkundig object kan in een groot onderzoeksgebied met een zeer grote populatie bouwkundige objecten sommen tot een betekenisvolle kans op schade in het gebied;
- het gebruik van de SBR richtlijn als hulpmiddel bij het beoordelen van schade door trillingen een mate van onzekerheid in zich heeft. Recente ervaring opgedaan in het gebruik met deze methode voor het beoordelen van aardbevingsschade door gaswinning wijst in de richting dat de criteria uit SBR richtlijn A ook voor bevingstrillingen bruikbaar zijn. Voorzichtigheid bij de toepassing van de criteria blijft echter geboden;
- er in het algemeen nog weinig kennis beschikbaar is van de schadelijke invloed van (herhaald) kortdurende lichte trillingen op kwetsbare en reeds beschadigde constructies;
- het sensornetwerk van TNO methodologisch bruikbaar is voor grotere onderzoeksgebieden, maar tegelijk nog onvoldoende (kwantitatief) is onderbouwd;
- het begrip hoofdoorzaak van een schadebeeld in een aantal gevallen een onvoldoende effectief instrument is om combinaties van invloeden in een schadebeeld (zoals cumulatie van verschillende schadeoorzaken, degradatie-effecten en verergering van bestaande schade door verschillende schadeoorzaken) goed te kunnen onderscheiden en beoordelen. Dit geldt in het bijzonder bij het aspect schade door bevingen. Hierdoor kan de invloed van bevingen door gaswinning niet volledig worden uitgesloten, ook indien een andere oorzaak als 'hoofdoorzaak' is vastgesteld.

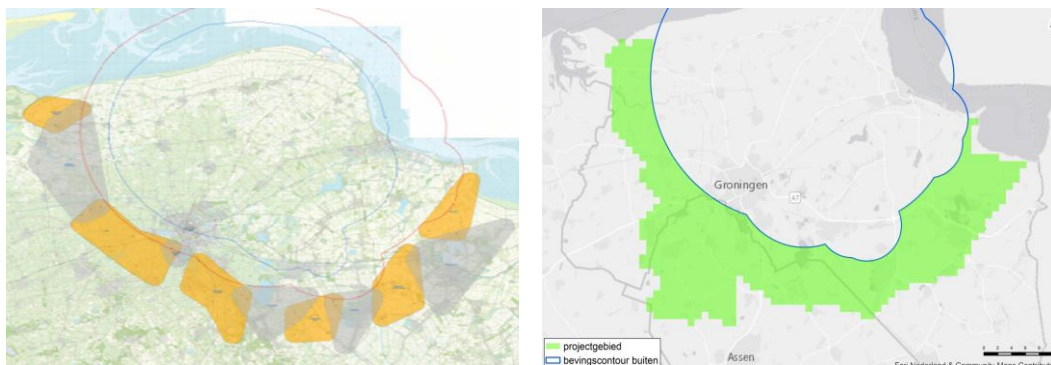
In een brief van de Minister van Economische zaken d.d. 18 augustus 2016 aan de Tweede Kamer wordt op grond van de bevindingen uit het validatie onderzoek door de NCG vastgesteld dat het besluit van de NAM, om voorlopig geen schade-inspecties uit te voeren naar meldingen van schade in het buitengebied, niet langer houdbaar is [3]. De NCG heeft de NAM dringend geadviseerd om ook de schades in het buitengebied conform het schadeprotocol af te handelen. Hierdoor ontstaat een noodzaak tot de behandeling van alle individuele schademeldingen.

1.2 Onderzoeksgebied

De behandeling van de individuele schademeldingen uit het buitengebied wordt door het CVW in opdracht van de NAM in fasen uitgevoerd. Fase 1 omvat de gebouwen in de (11) gebieden waar ook het eerder vermelde onderzoek door Arcadis betrekking op heeft, aangevuld met gebouwen waarvoor ook schade is gemeld in het gebied rond de gemeente Steenbergen, nabij de gasopslag in Norg (afbeelding 1.1). Dit betreft de schademeldingen die door het CVW en de NAM geregistreerd zijn in de periode tot 18 augustus 2016. In de vervolgfases 2 en 3 worden de overige schademeldingen, van voor 18 augustus en de schademeldingen die na 18 augustus door het CVW en de NAM zijn geregistreerd in het buitengebied, behandeld.

Dit onderzoek heeft betrekking op fase 1 en is beperkt tot reeds opgetreden schade. De invloed van mogelijk toekomstige bevingen is niet meegenomen.

Afbeelding 1.1 Onderzoeksgebied Arcadis onderzoek uit [1] (links) en in groen het gebied waarbinnen de meldingen in fase 1 liggen (rechts)



1.3 Doel van het onderzoek

In het kader van de afhandeling van de schademeldingen door het CVW is door Witteveen+Bos in opdracht van de NAM een onderzoek uitgevoerd met als doel de oorzaak of oorzaken van de schade(s) aan de gebouwen, waaraan schade is gemeld binnen het onderzoeksgebied, te achterhalen.

1.4 Randvoorwaarden

Het onderzoek is uitgevoerd met in acht name van een aantal randvoorwaarden:

- uitvoerbaar in een beperkte periode van september 2016 tot en met februari 2017;
- minimale hinder voor de bewoners;
- resultaten moeten herleidbaar, reproduceerbaar en toetsbaar zijn;
- transparantie over het proces;
- onderzoek naar reeds opgetreden gebeurtenissen. De invloed van toekomstige gebeurtenissen wordt niet onderzocht;

- zich rekenschap gevend van de conclusies uit het validatieonderzoek van de Technische Universiteit Delft op het onderzoek van Arcadis.

Specifiek voor het gebied gelegen rondom Langelo geldt dat de invloeden van de gasopslag UGS Norg voor zover mogelijke meegenomen zijn in de onderzoeksmethodiek gehanteerd voor het onderzoek aan de randen van de voormalige contourlijn. Dit betekent dat de jaarlijkse maaiveldbeweging en de bouwactiviteiten voor de uitbreiding tussen 2011-2015 wel zijn beschouwd. De mogelijke effecten van de in operatie zijnde gasopslag op de diepe ondergrond zoals de onder andere de breuklijnen en porositeit zijn niet beschouwd. Witteveen+Bos adviseert een aanvullend en specifiek onderzoek naar deze mogelijke effecten.

1.5 Samenstelling van het onderzoeksteam en begeleidingscommissie

Het team dat het onderzoek heeft uitgevoerd staat onder leiding van een Panel van deskundigen. Het Panel wordt in het onderzoek bijgestaan door inspecteurs voor de opnamen van de gebouwen en woningen, experts voor het beoordelen van de schade en het vaststellen van de mogelijke schadeoorzaken en data-analisten voor het uitvoeren van een toets op de beoordeling en het vaststellen van de definitieve schadeoorzaken.

Het Panel van deskundigen bestaat uit de volgende personen:

- dr.ir. T.A.M. Salet, constructeur (voorzitter van het Panel);
- ir. F.J. Kaalberg, expert risk assessment grond-constructie interactie en forensic engineering;
- ir. H.J. Lengkeek, geotechniek;
- dr.ir. S. Slob, geologie en aardbevingsproblematiek;
- ir.drs. R. de Nijs, specialist trillingen ondergrond;
- ir. T.H. van Wee, geohydroloog;
- ing. H.L.M. Laagland, bouwtechniek.

Specifiek voor de toepassing van *Ground Motion Prediction Equations* (GMPE's) is het Panel van deskundigen ondersteund door Deltares.

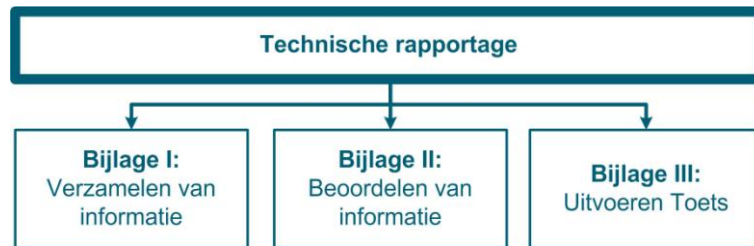
De NCG heeft een onafhankelijke begeleidingscommissie ingesteld voor de proef. Deze commissie adviseert over de vormgeving en uitvoering van de proef. De commissie zal de proef evalueren, ook met het oog op de vraag of deze aanpak model zou kunnen staan voor bredere werking.

De begeleidingscommissie bestaat uit de volgende personen:

- de heer Beukema, burgemeester van de gemeente Delfzijl;
- de heer Wassenaar, onafhankelijk bouwkundig expert;
- de heer Wienk, vertegenwoordiger van het Gasberaad;
- de heer Wiersema, burgemeester van de gemeente De Marne;
- de heer Wijte, hoogleraar aan de Technische Universiteit van Eindhoven.

1.6 Leeswijzer

Dit rapport beschrijft de wijze waarop het onderzoek is uitgevoerd en beschrijft de onderzoeksresultaten op gebiedsniveau en kan los worden gelezen van de bijlagen met nadere onderbouwing en uitleg.



Naast dit rapport zijn afzonderlijk individuele beoordelingsrapportages opgesteld. Deze zijn gericht aan de bewoners, met als bijlage een individueel inspectieverslag per woning.

2

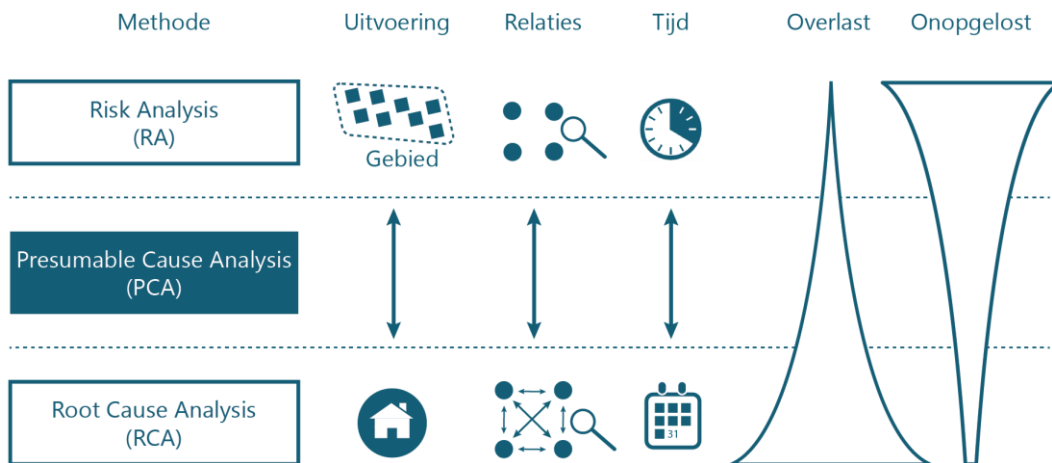
AANPAK ONDERZOEK

De oorzaak of oorzaken van de schade is, met in achtneming van de gegeven randvoorwaarden, achterhaalt met een methodiek die in dit document wordt geduid als 'Presumable Cause Analysis' (PCA). De methodiek bestaat uit drie, onderling samenhangende, onderdelen zijnde het verzamelen van informatie, het beoordelen van de schade en het uitvoeren van een toets. Deze drie onderdelen worden in dit hoofdstuk afzonderlijk beschreven en de onderlinge samenhang wordt nader toegelicht.

2.1 Opzet van een PCA

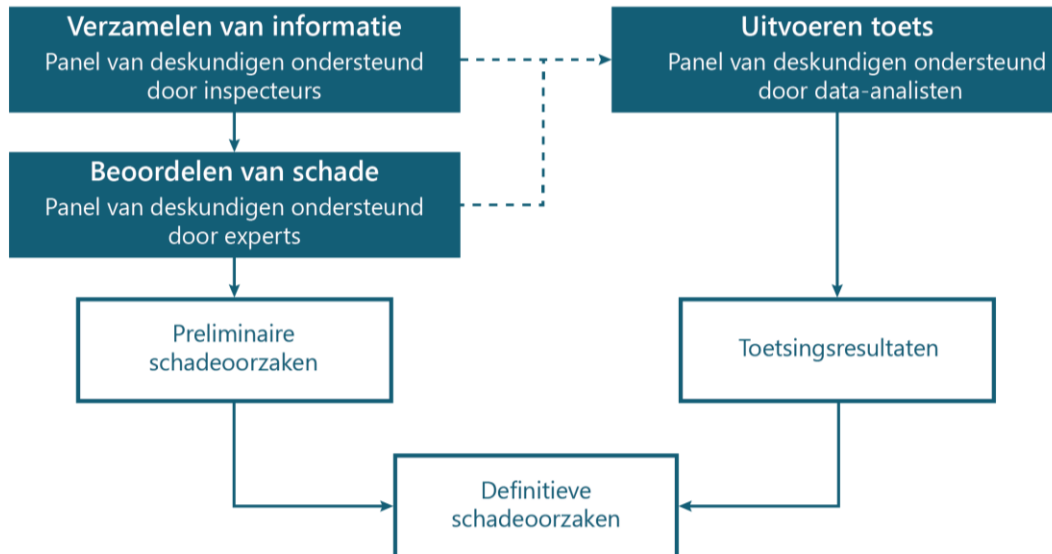
De 'Presumable Cause Analysis' (PCA) kan in haar aanpak worden geplaatst tussen een generieke Risk Analysis (RA) op gebouwen in een gebied door middel van uitsluitend een bureaustudie en een volledig technisch onderzoek aan een enkel afzonderlijk gebouw in het onderzoeksgebied door middel van een 'Root Cause Analysis (RCA), zoals schematisch weergegeven in afbeelding 2.1.

Afbeelding 2.1 Positionering PCA ten opzichte van RA en RCA



In de PCA methodiek wordt elke woning, tot op een bouwkundig en technisch niveau, individueel onderzocht en wordt daarnaast gebruik gemaakt van de verzamelde data afkomstig van alle onderzochte gebouwen in het gebied om patronen te herkennen. Deze combinatie maakt het mogelijk het onderzoek uit te voeren binnen een beperkte doorlooptijd, met minimale hinder voor de bewoners, een herleidbaar, reproduceerbaar en toetsbaar resultaat en met een hoog oplossend vermogen.

Afbeelding 2.2 Presumable Cause Analysis



De in afbeelding 2.2 weergegeven PCA-methode, start met het verzamelen van informatie die relevant is voor de beoordeling van de schade door het Panel van deskundigen, daarbij ondersteund door inspecteurs en bewonersbegeleiders van het CVW.

Nadat de informatie is verzameld wordt (op kantoor) de schade aan het gebouw beoordeeld door het Panel van deskundigen, hierbij ondersteund door een team van experts. Het verzamelen van informatie en het beoordelen is ontkoppeld. Daardoor ontstaat er een hogere mate van specialisatie/expertise en dus kwaliteit van de losse onderdelen. Door middel van een systematische werkwijze, het in detail vastleggen van de woning en schade op foto's in een robuust informatiemanagementsysteem, wordt een verlies van informatie tijdens de overdracht beheerst.

Resultaat van de beoordeling zijn preliminaire (voorlopige) schadeorzaken van schade aan de gebouwen. Het is inherent aan de wijze van beoordelen dat hiermee een of meerdere schadeorzaken aan een schade worden toegekend, zonder nadere weging in termen van een 'hoofdoorzaak' in deze fase van het proces.

De oorzaak van de schade die op grond van de beoordeling is bepaald, is op dat moment nog preliminair, omdat bij het verzamelen van informatie en de beoordeling gebruik is gemaakt van uitgangspunten, waarvan de invloed op de resultaten nog moet worden getoetst. Deze toets is de derde en noodzakelijk laatste stap in een PCA. De toets bestaat uit aanvullende onderzoeken op locatie en patroonherkenning. Met de toets worden, zowel op het niveau van individuele schade, gebouwniveau en omgevingsniveau, systematisch controles en onderzoeken uitgevoerd om uitgangspunten van gebruikte modellen te controleren. De toets wordt ingezet om aanvullend (indirect) bewijs te leveren om de aannemelijkheid van de benoemde schadeoorzaak verder te versterken, de invloed van uitgangspunten van de falsificatie op de resultaten te controleren en als extra kwaliteitstoets op de verzamelde informatie en beoordeling te dienen.

Na het vaststellen van de preliminaire schadeorzaken en de toetsresultaten kunnen de definitieve schadeorzaken vastgesteld worden.

In de volgende paragrafen wordt de invulling van de onderdelen van een PCA nader toegelicht.

2.2 Verzamelen van informatie

Nadat in de eerste stap van de PCA-methodiek alle mogelijke oorzaken van schade voor het onderzoek zijn geïdentificeerd en gecategoriseerd, wordt op een systematische wijze informatie verzameld over de schade, het gebouw en de directe omgeving. Dit proces is schematisch weergegeven in afbeelding 2.3.

Afbeelding 2.3 Verzamelen van informatie



De informatie, die benodigd is voor het beoordelen van de schade, wordt verzameld door middel van een bureaustudie en een bezoek aan het adres waar schade gemeld is. Het Panel van deskundigen voert de bureaustudie uit naar omgevingskenmerken en zet door hen geïnstrueerde inspecteurs en bewonersbegeleiders in om alle gebouwen en schade aan de gebouwen op te nemen op locatie en een interview af te nemen met de bewoners.

De inspecteur en/of de bewonersbegeleider maken - indien aan de orde - melding bij het CVW van een vermoeden van een onveilige situatie met risico op persoonlijk letsel. De melding wordt door een speciaal team van het CVW beoordeeld met betrekking tot het risico op persoonlijk letsel. Indien dat risico reëel wordt geacht is de betreffende verantwoordelijke hierover geïnformeerd. Wanneer er sprake is van een acuut risico worden direct samen met de eigenaar maatregelen getroffen om de situatie veilig te stellen.

De afzonderlijke onderdelen worden in de volgende sub paragrafen nader toegelicht.

2.2.1 Identificeren van mogelijke schadeoorzaken

Schade wordt gedefinieerd als een scheur, afspatting, vervorming of scheefstand en lekkage. De mogelijke schadeoorzaken voor dit onderzoek zijn geïdentificeerd volgens het TNO-rapport 'Methodiek voor onderzoek naar de oorzaak van gebouwschade – versie 2' opgesteld door Borsje & Richemont [4]. Onder subcategorie niveau één 'Verandering in de ondergrond' worden voor dit onderzoek op subcategorie niveau twee, ten opzichte van [4] de mogelijke schadeoorzaken 'Bomen' en 'Bodemdaling ten gevolge van mijnbouwactiviteiten' toegevoegd. De mogelijke schadeoorzaak 'Bomen' is toegevoegd naar aanleiding van 'Bomen zijn soms een gevaar voor de fundering en riolering' van KCAF [5]. De mogelijke schadeoorzaak 'Bodemdaling ten gevolge van mijnbouwactiviteiten' is toegevoegd omdat eigenaren aangaven te vermoeden dat dit de oorzaak van de door hun gemelde schade was. Ook is bij subcategorie niveau één 'geen overbelasting: onvoldoende sterkte' het woord 'stijfheid' toegevoegd om schade in deze categorie niet alleen gerelateerd kunnen zijn aan sterkte maar ook aan stijfheid. Daarnaast worden de hoofdcategorieën D. Geen schade toegevoegd.

De hoofdcategorie D. Geen schade is toegevoegd omdat de eigenaar van het gebouw soms schade anders definieert en ook wil dat deze onderdeel zijn van het dossier. Voorbeelden zijn slijtage, scheuren in kitnaden en scheuren in een enkele steen.

De hoofdcategorieën en subcategorieën niveau één zijn categorisch opgenomen in tabel 2.1. Een overzicht van alle mogelijke schadeoorzaken op subcategorie niveau twee en een beschrijving van de mogelijke oorzaken is opgenomen in bijlage I, hoofdstuk 2 (I.2).

Tabel 2.1 Identificeren van mogelijke oorzaken

Hoofdcategorie	Subcategorie niveau één
A. belasting	A.1 geen overbelasting: onvoldoende sterkte/stijfheid
	A.2 overbelasting vanuit gebruik
	A.3 overbelasting door trillingen
	A.4 incidentele overbelasting
B. vervormingen	B.1 verhinderde vervormingen
	B.2 opgelegde vervormingen
C. ongelijkmatige zettingen in de ondergrond	C.1 autonome zettingen
	C.2 verandering van de belasting op de ondergrond
	C.3 verandering in de ondergrond
D. geen schade	

De omgevings-, gebouw- en schadekenmerken worden onderstaand toegelicht.

2.2.2 Omgevingskenmerken

Het hoogste aggregatieniveau waarop informatie wordt verzameld is de omgevingsinformatie. De omgevingsinformatie bestaat uit de onderdelen zoals gedefinieerd in [4] met toevoeging van informatie over achtergrondruis en de aanwezigheid van bomen:

- verkeer;
- bodemopbouw (inclusief diepe ondergrond);
- grondwaterstand;
- aardbevingen (alle geregistreerde bevingen tot oktober 2016 zijn meegenomen);
- bouwactiviteiten;
- industriële activiteiten;
- achtergrondruis;
- bomen.

De verzamelde omgevingskenmerken zijn locatiespecifiek gemaakt op het niveau van elk individueel gebouw en de resultaten daarvan zijn opgenomen in een Geografisch Informatie Systeem (GIS) dat beschikbaar is bij de beoordeling. Bij de omgevingskenmerken verkeer, bodemopbouw, grondwater, aardbevingen, bouwactiviteiten en achtergrondruis is bij het bepalen van de waarden of de vertaling naar de specifieke locatie, gebruik gemaakt van modellen, model parameters en inter- en extrapolaties van gegevens tussen de publiekelijk beschikbare meetpunten. Waar mogelijk is hierbij aansluiting gevonden bij algemeen beschikbare modellen omwille van openheid en traceerbaarheid.

Voor een nadere beschrijving van de gebruikte bronnen, omgevingskenmerken en de gehanteerde modellen met interpolatie technieken wordt verwezen naar technische beschrijvingen in bijlage I, hoofdstuk 4 (I.4).

2.2.3 Gebouwenkenmerken

Het volgende aggregatieniveau waarop informatie wordt verzameld, is het gebouw. Met het oog op de beoordeling is hierbij onderscheid gemaakt tussen gebouw, bouwlaag en bouwdeel, waarbij een aantal bouwdelen vooraf zijn gedefinieerd. Er is, anders dan beschreven in [4] geen onderscheid gemaakt in de dragende functie van het bouwdeel bij de inspectie. Er zijn vier soorten informatie geclassificeerd op gebouwniveau, te weten [4]:

- basisgegevens;
- bouwkundige wijzigingen;
- historische gegevens;
- historische gegevens schade.

De verzamelde gebouwenkenmerken zijn per sub-aggregatieniveau onderling gekoppeld opgeslagen in een database en vormen een digitaal informatiemodel van het gebouw dat beschikbaar is bij de beoordeling. De opname van de gebouwenkenmerken berust op openbare bronnen, visuele waarneming en informatie die door de bewoners beschikbaar is gesteld in het interview.

Voor een overzicht van de kenmerken die zijn verzameld wordt verwezen naar bijlage I, hoofdstuk 3 (I.3).

2.2.4 Schadekenmerken

Het laagste aggregatieniveau waarop informatie verzameld wordt, is het niveau van de individuele schade. Alle schades van een gebouw worden vastgelegd, ook de schade die niet is gemeld. Hierdoor kunnen schades worden gecombineerd tot schadebeelden en ontstaat er geen verschil in aantal schades tussen verschillende inspecties van gebouwen door de subjectiviteit van het aantal gemelde schades. Ook de historie van de schade wordt vastgelegd. In aanvulling op de methodiek in [4] wordt per schade vastgelegd of de schade gemeld is als zijnde schade ontstaan of verergerd ten gevolge van mijnbouwactiviteiten. De volgende kenmerken zijn verzameld [4]:

- plaats van de schade;
- vorm van de schade;
- overige kenmerken van de schade;
- overzichtsfoto's en detailfoto's van de schade.

De kenmerken van elke schade zijn gekoppeld aan een bouwdeel en opgenomen in het digitaal informatiemodel van het gebouw dat beschikbaar is bij de beoordeling. De inspectie betreft een systematische visuele inspectie (SVI), waarbij gebruik is gemaakt van een speciaal ontwikkelde inspectieapplicatie. Echter, ondanks de geautomatiseerde verwerking van de gegevens blijft de kans op menselijke fouten aanwezig bij de inspectie. Een andere beperking van de SVI is dat enkel zichtbare kenmerken vastgelegd worden. Ontoegankelijke plaatsen of plaatsen die niet veilig te bereiken zijn worden niet geïnspecteerd. Hierdoor wordt de overlast voor de bewoner beperkt en de veiligheid van de inspecteur geborgd. Tot slot wordt opgemerkt dat slechts voor een deel van de onderzochte gebouwen bij de inspectie en later bij de beoordeling bouwtekeningen beschikbaar waren. De tekeningen die er wel waren, betroffen vaak tekeningen uit de ontwerpfase, waarbij het onduidelijk is of het gebouw daadwerkelijk overeenkomstig tekening is gebouwd.

Nadat een bezoek aan een adres is afgerond is de verzamelde informatie in de vorm van een individueel inspectieverslag gedeeld en besproken met de eigenaar. De eigenaar is hierbij in de gelegenheid gesteld om relevante ontbrekende informatie toe te voegen en mogelijke onjuistheden te laten corrigeren. Indien nodig heeft er een nieuw bezoek aan het adres plaatsgevonden.

Voor een overzicht van de kenmerken die zijn verzameld en de beperkingen die de visuele wijze van inspectie met zich meebrengt wordt verwezen naar bijlage I, hoofdstuk 3 (I.3).

2.3 Beoordelen van schade

Nadat de informatie is verzameld wordt de schade aan het gebouw beoordeeld, waarbij gebruik wordt gemaakt van alle verzamelde informatie in het GIS en het gebouw informatiemodel. De wijze waarop de beoordeling wordt uitgevoerd is gebaseerd op [4] en schematisch weergegeven in afbeelding 2.4.

2.3.1 Falsificatie

De eerste stap in de beoordeling is falsificatie op grond omgevingskenmerken en gebouwenkenmerken, niet van schadekenmerken. Hierbij wordt van alle potentieel mogelijke schadeoorzaken (in afbeelding 2.4 zijn dit er bij wijze van voorbeeld vijf) vastgesteld of de oorzaak een verklaring kan geven van de schade. Indien dit niet het geval is, wordt de betreffende oorzaak als mogelijke hypothese voor de schade gefalsificeerd en verworpen. Dit proces, dat leidt tot een eerste reductie in het aantal mogelijke schadeoorzaken, geschiedt op grond van discrete informatie (iets komt wel of niet voor) of op basis van een grenswaarde, waarbij een zekere waarde moet worden overschreden om als schadeoorzaak in aanmerking te komen. In het geval er sprake is van grenswaarden, is het goed zich te realiseren dat de eerdergenoemde modellen, modelparameters en interpolatiewaarden direct van invloed zijn op de beoordeling. In afbeelding 2.4 zijn bij wijze van voorbeeld twee schadeoorzaken gefalsificeerd en blijven er nog drie mogelijke schadeoorzaken over.

Op basis van een grenswaarde wordt op omgevingsniveau de subcategorie A.3 'overbelasting door trillingen' en bijbehorende subcategorieën niveau twee gefalsificeerd, indien trillingen ten gevolge van wegverkeer, treinverkeer, bouwactiviteiten in de omgeving, industriële activiteiten en aardbevingen de grenswaarde niet overschreden hebben. Op basis van een andere grenswaarde worden bij subcategorie C.3 'verandering in de ondergrond' mogelijke schadeoorzaken op subcategorie niveau twee gefalsificeerd wanneer de trilling afkomstig van een van de mogelijke bronnen de grenswaarde voor verandering in de ondergrond niet overschrijdt. Voor lokale wijzigingen in grondwaterstand en wijzigingen van grondwaterstand door aanpassingen aan het peilbesluit, wordt ook aan de hand van grenswaarden bepaald of de mogelijke schadeoorzaak gefalsificeerd kan worden.

Op basis van het wel/niet optreden, worden op omgevingsniveau mogelijke schadeoorzaken gefalsificeerd op subniveau twee op basis van het:

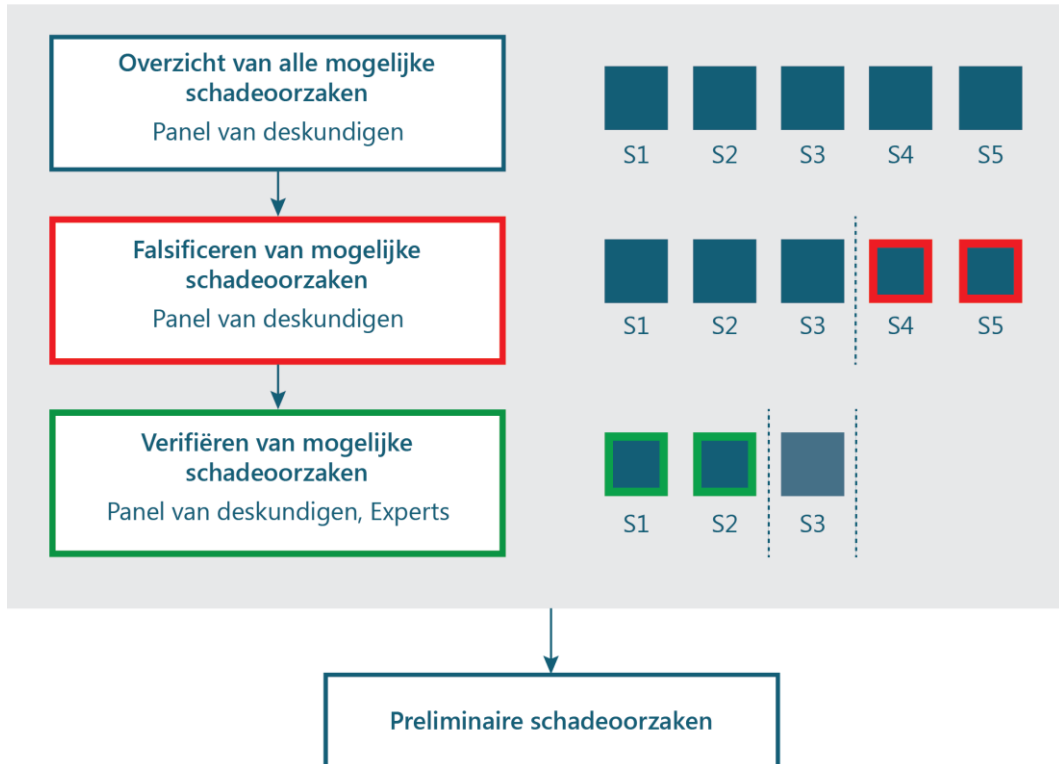
- wel/niet op kunnen treden van autonome zettingen van de ondergrond;
- het wel/niet voorkomen van geïnduceerde aardbevingen;
- het wel/niet voorkomen van een weg- en/of spoorlichaam en
- het wel/niet plaats hebben gevonden van bouwactiviteiten.

Op basis van het wel/niet optreden, worden op gebouwniveau mogelijke schadeoorzaken gefalsificeerd op subniveau twee, indien het gebouw:

- wel/niet ondiep of op staal gefundeerd is;
- er wel/niet sprake is geweest van een wijziging in gebruik;
- er wel/niet een verbouwing of uitbreiding heeft plaatsgehad;
- er wel/niet sprake kan zijn geweest van ophoping van regenwater en/of sneeuw en
- er wel/niet een calamiteit heeft plaatsgevonden in het verleden.

Voor een beschrijving van de falsificatie wordt verwezen naar bijlage II, hoofdstuk 2 (II.2).

Afbeelding 2.4 Beoordelen van schade



2.3.2 Verificatie

De tweede stap in de beoordeling is de verificatie. Hierbij worden de (nog) resterende schadeoorzaken gelegd naast schades en gecombineerde schadebeelden, waarbij het mogelijk is dat een schade aan meerdere oorzaken wordt gekoppeld. Het resultaat van de verificatie zijn preliminaire schadeoorzaken, zonder weging in termen van een mogelijke hoofdoorzaak. De oorzaak van de schade is op dat moment nog preliminair omdat bij de beoordeling gebruik is gemaakt van modellen en uitgangspunten, waarvan de waarde nog moet worden getoetst. Het is goed zich te realiseren dat in deze stap van de beoordeling een invloed aanwezig is van de persoon die de beoordeling uitvoert, ofwel de factor mens. De invloed van de factor mens is groter naarmate het onderscheidend vermogen afneemt, zoals bijvoorbeeld het geval is bij lichte schade. Een complicerende factor is dat eisen en voorschriften aan bestaande bouw en nieuwbouw de ontwikkeling van lichte schade niet uitsluiten. Met andere woorden, bij schadeklasse weinig schade (scheurwijdte < 5 mm) kan de behaalde bouwkwaliteit ook verantwoordelijk zijn voor het schadebeeld. In afbeelding 2.4 zijn van de drie overgebleven schadeoorzaken bij wijze van voorbeeld twee oorzaken geverifieerd.

Ook de expert kan op basis van de informatie (alsnog) melding maken van het vermoeden van een onveilige situatie bij het CVW.

Voor een beschrijving van de analysestappen binnen de verificatie procedure, op basis van schadeoorzaken en schadebeelden, wordt verwezen naar bijlage II, hoofdstuk 3 (II.3).

2.4 Uitvoeren toets

De schadeoorzaken die volgen uit de beoordeling zijn (nog) preliminair omdat bij het verzamelen van informatie en de beoordeling gebruik is gemaakt van uitgangspunten, waarvan de waarde nog moet worden getoetst. Om deze reden wordt als laatste belangrijke stap binnen de PCA een toets uitgevoerd. De toets wordt ingezet om aanvullend (indirect) bewijs te leveren om de aannemelijkheid van de benoemde

schadeoorzaak verder te versterken, de invloed van uitgangspunten van de falsificatie op de resultaten te controleren en als extra kwaliteitstoets op de verzamelde informatie en beoordeling. De toets bestaat uit gestuurde en ongestuurde patroonherkenning en een aantal aanvullende onderzoeken op locatie. Met de toets worden op alle drie de aggregatieniveaus, schade, gebouw en omgeving systematisch onderzoeken en controles uitgevoerd. Door het uitvoeren van de toets wordt de cirkel van Deming gesloten.

2.4.1 Gestuurde patroonherkenning

Met behulp van gestuurde patroonherkenning is actief gezocht naar patronen, relaties, verbanden en trends. Door het analyseren van deze patronen zijn uitgangspunten achter de modellen getoetst. Daarnaast zijn opvallende afwijkingen ten opzichte van gevonden patronen zichtbaar en zijn deze uitzonderingen nader beschouwd.

De gestuurde patroonherkenning is uitgevoerd door het Panel van deskundigen. Het Panel voert deze patroonherkenning uit op basis van logica door toepassing van het principe van combinatie-deductie-eliminatie. Bij combinatie, deductie en eliminatie worden logische scenario's opgesteld en vervolgens getoetst. Bij het gebruik van combinatie, deductie en eliminatie wordt, op basis van de combinatie van gegevens, door middel van deductie hypothesen van mogelijke afwijkingen onderbouwd of juist geëlimineerd op basis van logica. Het Panel is hierbij ondersteund door data-analisten die de scenario's visualiseren.

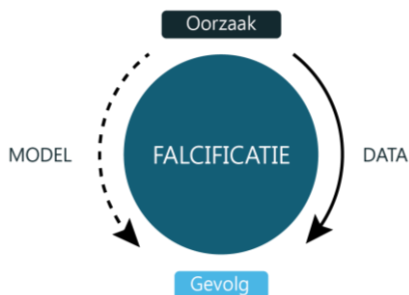
Bij het uitvoeren van de toetsen is gezocht naar meerdere patronen, relaties, verbanden en trends. In dit onderzoek gaat het vaak om een patroon tussen een mogelijke schadeoorzaak en schade, waarbij gebruik wordt gemaakt van gegevens op alle aggregatieniveaus. Om deze patronen te achterhalen zijn meerdere maatstaven gebruikt voor zowel de mogelijke schadeoorzaak als schade. Voor schade zijn dit bijvoorbeeld aantal schades, scheuoppervlakte, schades per vierkante meter vloeroppervlak, etc. De patronen worden zowel in de gehele groep onderzochte gebouwen gezocht als in subgroepen binnen de populatie. Door de expertise van het Panel van deskundigen in te zetten kunnen ook uitersten met elkaar vergeleken worden om patronen zichtbaar te maken.

De gestuurde patroonherkenning op alle verzamelde data wordt ingezet om de falsificatie en verificatie te toetsen en daarnaast als extra kwaliteitstoets op de verzamelde informatie en beoordeling.

Falsificatie

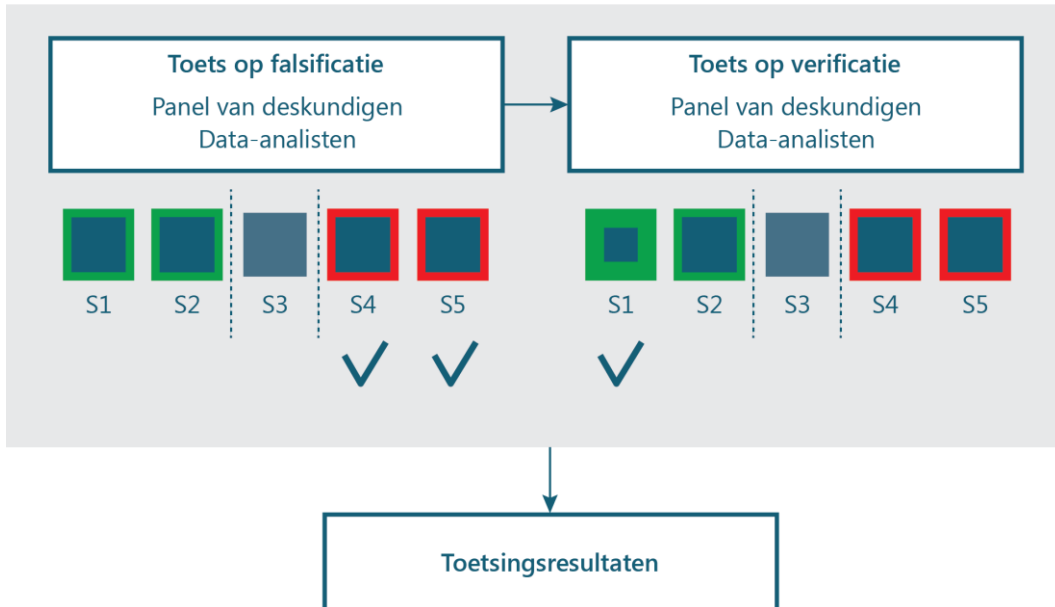
De toets op falsificatie is een toets op de uitgangspunten die ten grondslag liggen aan de modellen, modelparameters en interpolaties, die hebben geleid tot het falsificeren van bepaalde schadeoorzaken. Zoals weergegeven in afbeelding 2.5 wordt door de toets op falsificatie losgekomen van het model dat gebruikt wordt voor de relatie tussen de oorzaak en de schade (het gevolg) en wordt met gegevens (data) gezocht of de verwachte patronen ook zichtbaar zijn.

Afbeelding 2.5 Toets op falsificatie



Zonder deze toets kunnen deze schadeoorzaken immers op voorhand ten onrechte zijn verworpen. In afbeelding 2.6 is dit geïllustreerd door de twee schadeoorzaken die zijn verworpen bij de falsificatie weer zichtbaar te maken voor de toets.

Afbeelding 2.6 Uitvoeren toets door middel van patroonherkenning

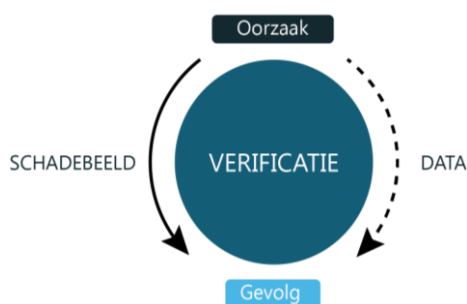


Door op basis van combinatie, deductie en eliminatie scenario's op te stellen is gekeken naar patronen, relaties, verbanden en trends en zijn eventuele opvallende afwijkingen van daarvan beschouwd. Hierdoor kan een uitspraak worden gedaan over de waarde van de gekozen uitgangspunten. Dit is in afbeelding 2.6 aangegeven door de 'vinkjes' onder de gefalsificeerde schadeoorzaken waarmee wordt aangegeven dat de uitgangspunten van de falsificatie getoetst zijn en geen aanleiding geven voor een aanpassing van de falsificatie.

Verificatie

De toets op verificatie is een toets op de uitgangspunten achter de schadeoorzaken die zijn geverifieerd. Deze schadeoorzaken zijn niet gebaseerd op modellen maar op (indirecte) waarnemingen van het schadebeeld. Een voorbeeld hiervan zijn zettingschades die volgen uit de waarneming van verschilverplaatsing in het metselwerk van een wand (zonder dat de fundering zelf is beschouwd). Zoals weergegeven in afbeelding 2.7 is op basis van patronen die waargenomen zijn in de gegevens (data) tussen oorzaak en schade (gevolg), de aannemelijkheid van de betreffende schadeoorzaken versterkt of ontkracht.

Afbeelding 2.7 Toets op verificatie



Het gaat hier om aanvullende doch indirecte bewijslast. In afbeelding 2.6 is dit schematisch aangegeven door de dikke groene lijn rondom het vakje, waarmee wordt bedoeld dat het bewijs dat de schadeoorzaak is geverifieerd door de toets in kracht is toegenomen.

Kwaliteit

De toets wordt ook ingezet om de kwaliteit van de data te controleren. Een deel van de data is immers afhankelijk van menselijk handelen en kan daarmee gevoelig zijn voor fouten en/of afwijkingen. Bij vrijwel elk patroon zijn er gebouwen waarvan de schade afwijkt van de trend. Deze 'uitbijters' zijn een reden de betreffende dossiers nog een keer te beoordelen en te toetsen op menselijke fouten. Hierdoor wordt de kwaliteit van de gegevens verder verbeterd.

Voor een uitgebreidere beschrijving van de gestuurde patroonherkenning wordt verwezen naar bijlage III, hoofdstuk 2 (III.2).

2.4.2 Ongestuurde patroonherkenning

Bij het gestuurd zoeken naar patronen, relaties, verbanden en trends bestaat het risico dat patronen die wel bestaan in de gegevens niet achterhaald worden, omdat het scenario niet is opgesteld. Gezien het grote aantal mogelijke scenario's dat opgesteld kan worden is het niet mogelijk om alle scenario's te doorlopen. Daarom wordt er door middel van data mining ook ongestuurd gezocht naar patronen in de gegevens.

Daarom is, in samenwerking met de TU/e, gezocht in alle gegevens met een 'multiple linear regression' (MLR) analyse en door middel van 'exceptional model mining' (EMM) naar patronen en speciale subgroepen.

Met MLR wordt de vergelijking van een hyperplane opgesteld op basis van elk gegeven aantal variabelen waarmee een doelvariabele het beste geschat kan worden. Hoe dichter de met het opgestelde model geschatte waarde van de doelvariabele overeenkomt met de werkelijke waarde van de doelvariabele, hoe interessanter de relatie. De kwaliteit van de schatting van het model wordt uitgedrukt in R^2 . Er zijn meerdere analyses uitgevoerd waarbij als doelvariabele zowel alle schades als de meest voorkomende schadeoorzaken zijn gebruikt. Op deze manier is wiskundig gekeken welke variabelen het meest van invloed zijn bij die schadeoorzaak.

Met EMM wordt binnen de relatie tussen verklarende variabele en doelvariabele die voor de gehele groep onderzochte gebouwen geldt, gezocht naar significante subgroepen met een afwijkende relatie. Het zoeken naar de subgroepen gebeurt middels een zoekalgoritme en waarbij de afwijkende relatie, de bijzonderheid van het model en de significantie van de subgroep, bepaald worden. Bij het toepassen van EMM is gefocust op de schadeoorzaken die gefalsificeerd zijn op basis van modellen en grenswaarden.

De resultaten van beide analyses zijn voorgelegd aan het Panel van deskundigen. Het Panel beschouwt de belangrijke variabelen en afwijkende subgroepen. Overige variabelen en subgroepen die op basis van de analyse niet interessant worden geacht, geven op basis van deze analyse geen aanleiding voor uitgebreidere analyse.

Voor een methodische beschrijving van de ongestuurde patroonherkenning wordt verwezen naar bijlage III, hoofdstuk 3 (III.3).

2.4.3 Aanvullende onderzoeken op locatie

Naast het toetsen van de gegevens door middel van patroonherkenning zijn ook meerdere aanvullende onderzoeken op locatie verricht om aannames te toetsen. Met de resultaten van de aanvullende onderzoeken op locatie worden de uitgangspunten van de methodiek en de gebruikte modellen getoetst. De aanvullende onderzoeken bestaan uit:

- grondonderzoek bestaande uit 46 sonderingen en 92 grondboringen op 23 locaties;
- uitvoeren van lintvoegmetingen aan 23 gebouwen;
- analyse van informatie uit bouwdoSSIers op 73 locaties (exclusief door bewoner aangeleverde documentatie);
- verzamelen van aanvullend beeldmateriaal en uitvoeren van extra metingen op 225 locaties;
- analyse van schades bij seriematige woningbouw 5 gebieden met in totaal betrekking op 19 woningen;
- analyse van 50 mogelijk afwijkende gebouwen;
- analyse van 15 dossiers in het schade-afhandelingsgebied.

Voor een overzicht van de inhoud van de aanvullende onderzoeken op locatie wordt verwezen naar bijlage III, hoofdstuk 4 (III.4)

2.5 Vaststellen definitieve schadeoorzaken

Na het verzamelen van informatie, beoordelen en toetsen worden de definitieve mogelijke schadeoorzaken vastgesteld. De definitieve mogelijke schadeoorzaken zijn gebaseerd op de combinatie van waarnemingen, de resultaten van de patroonherkenning en de resultaten van de aanvullende onderzoeken op locatie.

3

RESULTATEN

3.1 Algemeen

In het buitengebied zijn in fase 1 in totaal op 1.564 adressen 2.077 gebouwen geïnspecteerd. De bezochte gebouwen zijn divers in type en omvang. De meeste geïnspecteerde gebouwen waren vrijstaande woningen (896) zoals te zien in tabel 3.1.

Tabel 3.1 Aantal geïnspecteerde gebouwen per type

Gebouwtype	Aantal gebouwen
vrijstaande woning	896
schuur	368
twee onder één kap	294
woonboerderij	135
appartement	34
anders/niet opneembaar	99
hoekwoning	80
tussenwoning	69
boerderij	62
loods	40

Tijdens de inspecties zijn 33.877 schades vastgelegd. De mogelijke schadeoorzaken zijn beschreven in individuele beoordelingsrapporten voor iedere eigenaar van een gebouw. Om redenen van privacy wordt in dit technische rapport uitsluitend een totaaloverzicht van de resultaten van de beoordeling gegeven. Het aantal resultaten dat in dit hoofdstuk beschreven wordt is beperkt omwille van de leesbaarheid, meer resultaten van de beoordeling en de toets zijn te vinden in respectievelijk bijlage II en bijlage III.

Van alle vastgelegde schades tijdens de inspectie, vermoedt de eigenaar voor 56 % van de schades (18.921 schades) dat deze veroorzaakt of verergerd zijn door mijnbouwactiviteiten. Hiervan zijn 17.127 schades gemeld als veroorzaakt (nieuw) en 1.794 schades als verergerd. De andere 14.956 schades hadden volgens de eigenaar geen relatie met mijnbouwactiviteiten. Het verschil tussen het percentage schades waarvan per woning al dan niet vermoedt wordt dat deze veroorzaakt of verergerd zijn door mijnbouwactiviteiten, verschilt sterk. In sommige gevallen vermoedt de eigenaar dat alle schades veroorzaakt of verergerd zijn door mijnbouwactiviteiten, daar waar het in andere gevallen slechts bij één schade vermoedt wordt.

Tabel 3.2 toont dat het overgrote deel van de vastgelegde schades scheuren betrof. De overige schades waren vervormingen/scheefstanden, afspattingen en lekkages. In 577 gevallen (1,7 %) viel de tijdens de inspectie vastgelegde schade niet onder de definitie van schade zoals beschreven in paragraaf 2.2.1.

Tabel 3.2 Vastgelegde soorten schade

Soort schade	Aantal opgenomen	Percentueel
scheur	32.237	95,2 %
vervorming/scheefstand	775	2,3 %
afspatting	714	2,1 %
lekkage	151	0,4 %

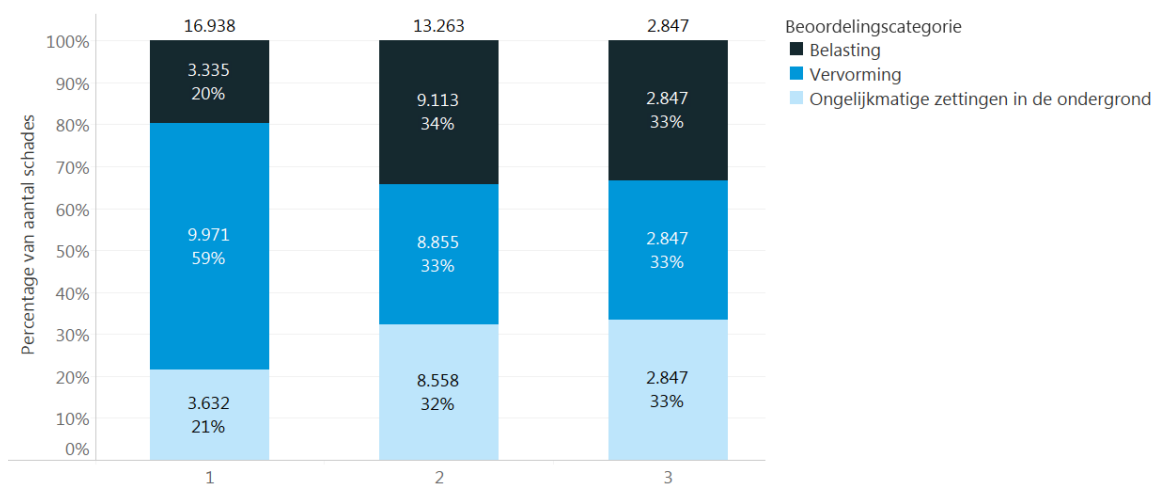
Van 252 schades (0,7 %) was op het moment van publiceren onvoldoende beeldmateriaal. Op basis van kenmerken van de omgeving en van het gebouw was het wel mogelijk een aantal oorzaken te falsificeren voor deze schades. Door aanvullende bezoeken die in uitvoering zijn kunnen deze schades wel worden toebedeeld aan één van de andere hoofdcategorieën.

Van de vastgelegde schades die wel volledig beoordeeld konden worden (33.048) zijn één of meerdere mogelijke oorzaken van de schade geverifieerd. Op basis van de indeling in hoofdcategorieën, kan een schade veroorzaakt zijn door belastingen, vervormingen of door ongelijkmatige zettingen in de ondergrond.

Bij 1.831 gebouwen zijn één of meer schades veroorzaakt door belastingen, bij 1.960 gebouwen zijn één of meer schades veroorzaakt door vervormingen en bij 1.651 gebouwen zijn één of meer schades veroorzaakt door ongelijkmatige zetting van de ondergrond.

In afbeelding 3.1 is zichtbaar dat van de verschillende schadeoorzaken ‘vervormingen’ het meest voorkomt. Uit de afbeelding kan worden afgelezen dat bij 16.938 schades de mogelijke schadeoorzaak binnen één hoofdcategorie valt. Bij 3.335 schades met één oorzaak is de mogelijke oorzaak belastingen, bij 9.971 vervormingen en bij 3.632 ongelijkmatige zettingen in de ondergrond.

Afbeelding 3.1 Verdeling schadeoorzaak bij oorzaken afkomstig uit één of meer hoofdcategorieën



Uit afbeelding 3.1 blijkt ook dat bij 13.263 schades de mogelijke oorzaken uit twee verschillende hoofdcategorieën afkomstig zijn. 9.113 schades kennen belastingen als mogelijke oorzaak, 8.855 vervormingen en 8.558 ongelijkmatige zettingen in de ondergrond. Omdat deze groep schades een mogelijke oorzaak heeft uit twee verschillende hoofdcategorieën dient de som van het aantal schades per hoofdcategorie door twee gedeeld te worden om het aantal schades in deze groep te vinden.

Bij 2.487 schades hebben de mogelijke schadeoorzaken betrekking op alle drie de hoofdcategorieën. Omdat er drie hoofdcategorieën zijn komen deze in gelijke mate voor.

De scheurvorming kan op basis van beschikbare literatuur worden geclassificeerd naar omvang op basis van scheurwijdte. In deze studie is gebruik gemaakt van de classificaties uit 'Assessment of damage in low rise building' de Building Research Establishment (BRE) [6], de 'Guide to standards and tolerance' van de Victorian Building Commission [7] en de *Manual 7 'Design Clay Masonry for Serviceability'* van TBA [8]. De indeling heeft voornamelijk betrekking op bruikbaarheids- en esthetische eisen die aan een gebouw worden gesteld, alleen de BRE hanteert een klasse > 25 mm waarbij schade als constructief gecategoriseerd wordt. Dit in tegenstelling tot [7] en [8] die geen uitspraken doen over schades met scheurwijdte > 25 mm. In tabel 3.3 staat de classificatie van deze schades op basis van 64 % van het totaal aantal aan scheuren waarvan tijdens de inspecties de scheurwijdte ook is vastgelegd. Van de overige scheuren was de scheurwijdte niet meetbaar.

Tabel 3.3 Classificatie van scheuren in het onderzoeksgebied

Klasse	Scheur-wijdte	Volgens [6]	Volgens [7]	Aantal scheuren	%	Omschrijving [7]
0	< 0,1 mm	verwaar-loosbaar	verwaar-loosbaar	176	0,9 %	- alleen haarscheurtjes
1	0,1 - 1 mm	zeer licht	heel weinig	11.248	54,8 %	- fijne scheuren die niet gerepareerd hoeven te worden
2	1 - 5 mm	licht	weinig	7.305	35,6 %	- scheuren zijn zichtbaar, maar makkelijk te vullen - ramen en deuren klemmen licht
3	5 - 15 mm of meerdere scheuren > 3 mm	matig	gemiddeld	1.453	7,1 %	- scheuren kunnen worden gerepareerd en er is minimale vervanging van de muur nodig - ramen en deuren klemmen verlies van dragend vermogen van balken; - mogelijk scheuren van pijpleidingen - aantasting van waterdichtheid
4	15 - 25 mm	ernstig	heel erg	228	1,1 %	- uitgebreid reparatiewerk en vervanging van delen van de muur - vervorming van muren balken verliezen dragend vermogen - zichtbare vervorming van muren - los scheuren van pijpleidingen
5	> 25 mm	zeer ernstig		98	0,5 %	

Op basis van de gradatie conform [6] valt 92 % van de scheuren in de categorie 'zeer lichte' en 'lichte'.

De Building Research Establishment geeft in [6] ook als enige een kwalificatie aan de scheuren. In tabel 3.4 is deze kwalificatie weergegeven. Een kwalificatie van scheuren op basis van alleen scheurwijdte dient vooral indicatief te worden beschouwd aangezien scheurwijdte niet het enige criterium is dat gehanteerd kan worden bij een kwalificatie.

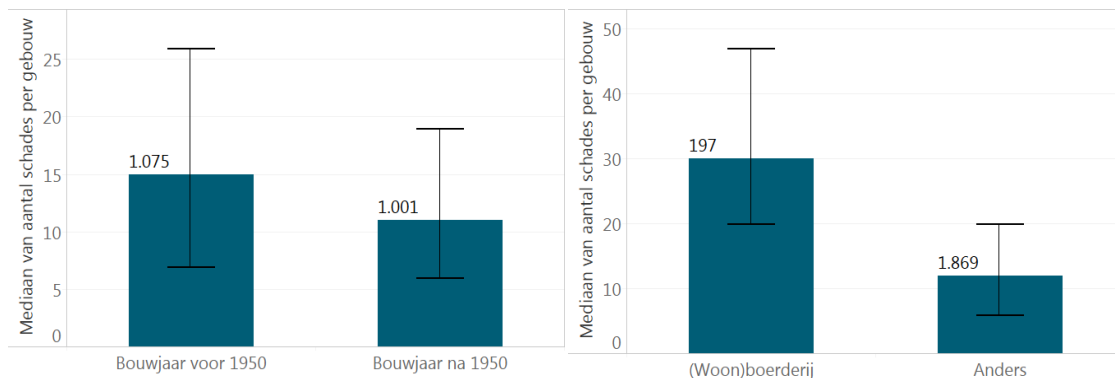
Tabel 3.4 Kwalificatie van scheuren op basis [6]

Kwalificatie	Klasse	Scheurwijdte
esthetisch	0,1,2	< 5 mm
functioneel	3,4	5 tot 25 mm
constructief	5	> 25 mm

Tijdens het uitvoeren van de inspecties en beoordelingen is op 64 adressen melding gemaakt bij het CVW van het vermoeden van een onveilige situatie. Het CVW heeft in zeven gevallen geoordeeld dat er inderdaad sprake was van een onveilige situatie en dit bij de gemeente gemeld. In drie van de zeven gevallen was sprake van een acuut onveilige situatie en zijn, in samenspraak met de eigenaar, maatregelen genomen om de situatie veilig te stellen.

Afbeelding 3.2 toont de diversiteit in de hoeveelheid schades binnen de populatie geïnspecteerde gebouwen. In de groep onderzochte gebouwen hebben oudere gebouwen meer schades dan nieuwere gebouwen en hebben de grote gebouwen, zoals (woon)boerderijen, meer schades dan kleinere gebouwen. Dit geldt zowel voor het totaal aantal schades als voor de grote scheuren. Grote scheuren zijn in dit onderzoek gedefinieerd als scheuren in klasse 3 en 4 met een scheurlengte van minimaal 1 meter.

Afbeelding 3.2 Gemiddeld aantal schades voor gebouwen van voor en na 1950 (links) en (woon)boerderijen en andere gebouwen (rechts)

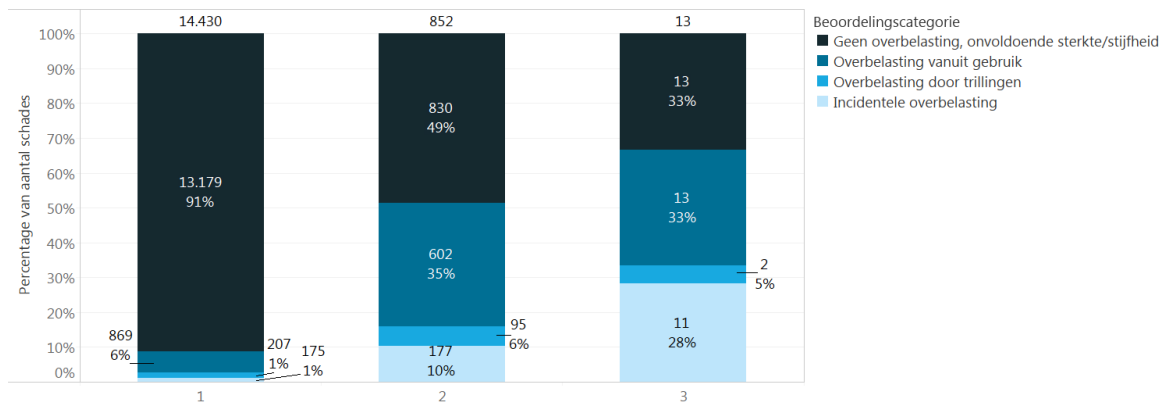


In de volgende paragrafen volgt een nadere beschouwing van iedere afzonderlijke hoofdcategorie. Per hoofdcategorie worden resultaten van de beoordeling en toetsing besproken. De beoordeling is beschreven in bijlage II, hoofdstuk 4 (II.4) en de toets in bijlage III, hoofdstuk 5 (II.5).

3.2 Belastingen

De hoofdcategorie belastingen is als mogelijke oorzaak van de schade vastgesteld bij 15.295 schades. Deze hoofdcategorie bestaat uit een viertal subcategorieën. De subcategorieën zijn 'geen overbelasting, onvoldoende sterkte/stijfheid', 'overbelasting vanuit gebruik', 'overbelasting door trillingen' en 'incidentele overbelasting'. De verdeling over de subcategorieën is weergegeven in afbeelding 3.3.

Afbeelding 3.3 Verdeling schadeoorzaak bij oorzaken afkomstig uit één of meer subcategorieën van de hoofdcategorie belastingen



De subcategorie A1 'geen overbelasting, onvoldoende sterkte/stijfheid' komt het meest voor. Zichtbaar is verder in afbeelding 3.3 dat er bij 14.430 schades één mogelijke schadeoorzaak uit de hoofdcategorie belastingen is. Bij 13.179 schades is de mogelijke oorzaak 'geen overbelasting, onvoldoende sterkte/stijfheid', bij 869 'overbelasting vanuit gebruik', bij 207 'overbelasting door trillingen' en bij 175 'incidentele overbelasting'.

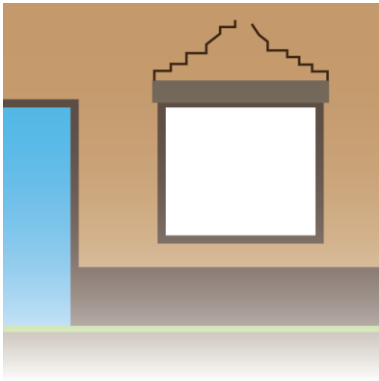
Ook is in afbeelding 3.3 is zichtbaar dat er bij 852 schades twee mogelijke schadeoorzaken uit de hoofdcategorie belastingen zijn. Een aantal van 830 schades heeft als mogelijke oorzaak 'geen overbelasting, onvoldoende sterkte/stijfheid', 602 'overbelasting vanuit gebruik', 95 'overbelasting door trillingen' en 177 'incidentele overbelasting'.

3.2.1 Geen overbelasting, onvoldoende sterkte/stijfheid - initieel

Binnen de hoofdcategorie belastingen komt de subcategorie 'geen overbelasting, onvoldoende sterkte/stijfheid' het meest voor. Op basis van een nadere beschouwing blijkt dit voornamelijk voort te komen uit de subcategorie niveau twee 'geen overbelasting, onvoldoende sterkte/stijfheid - initieel' (9.939 schades). Dit zijn schades die ontstaan zijn doordat de bouwkundige elementen die zijn toegepast bij de bouw onvoldoende sterkte of stijfheid hebben om de normale belastingen tijdens de levensduur op te nemen.

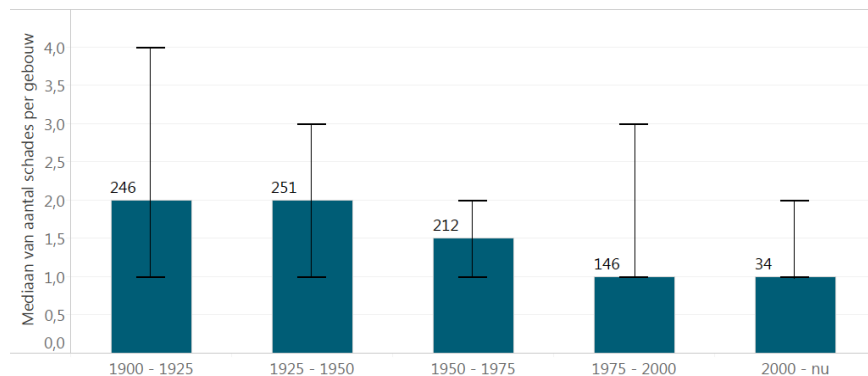
Een schadebeeld dat bij deze oorzaak hoort en 5.843 keer is waargenomen zijn scheuren rondom gevelopeningen. Bij dit schadebeeld heeft de latei onvoldoende stijfheid om de bovenbelasting op de latei af te dragen zonder dat daarbij scheuren ontstaan in de latei zelf of in het bouwdeel waar de latei onderdeel van is. Een uiting van dit schadebeeld is weergegeven in afbeelding 3.4.

Afbeelding 3.4 Schadebeeld onvoldoende sterkte/stijfheid latei



Het schadebeeld kan niet alleen fysiek worden waargenomen bij de beoordeling maar kan ook getoetst worden door een trendanalyse. Verondersteld wordt dat het schadebeeld een relatie zal hebben met het bouwjaar waarbij het schadebeeld vaker voor zal komen bij oudere gebouwen. Deze veronderstelling wordt gedaan omdat het schadebeeld een sterke relatie heeft met de kwaliteit van de latei en de kwaliteit van de uitvoering van de lateiconstructie. Zowel de kwaliteit van lateien als de kwaliteit van de uitvoering van de lateiconstructie zijn in de tijd op basis van opgedane ervaringen verbeterd. Daarnaast zullen oudere gebouwen meer belastingscycli doorlopen hebben en is de invloed van tijd op degradatie van bouwmaterialen groot.

Afbeelding 3.5 Mediaan van aantal schades per gebouw ten gevolge van onvoldoende draagkracht latei ten opzichte van het bouwjaar



In afbeelding 3.5 is een dalende trend zichtbaar van de mediaan van het aantal schades door onvoldoende sterkte/stijfheid latei bij meer recent gebouwde woningen, zoals werd verwacht. De uitkomst van deze toets geeft daardoor geen aanleiding om over te gaan tot heroverweging van de beoordeling en versterkt daarmee de beoordeling van deze schades.

3.2.2 Overbelasting door trillingen - aardbevingen

Bij de hoofdoorzaak belastingen is op subniveau twee de mogelijke schadeoorzaak 'overbelasting door trillingen - aardbevingen' voor alle gebouwen gefalsificeerd en daarmee in geen enkel geval op basis van een berekening als mogelijke schadeoorzaak vastgesteld. Zoals beschreven door Martens in [9] is het verband tussen scheurvorming in metselwerk en trillingen door aardbevingen een blinde vlek in diagnostiek met betrekking tot de Nederlandse bouwwijzen. Er is geen typisch schadebeeld voor schade ten gevolge van

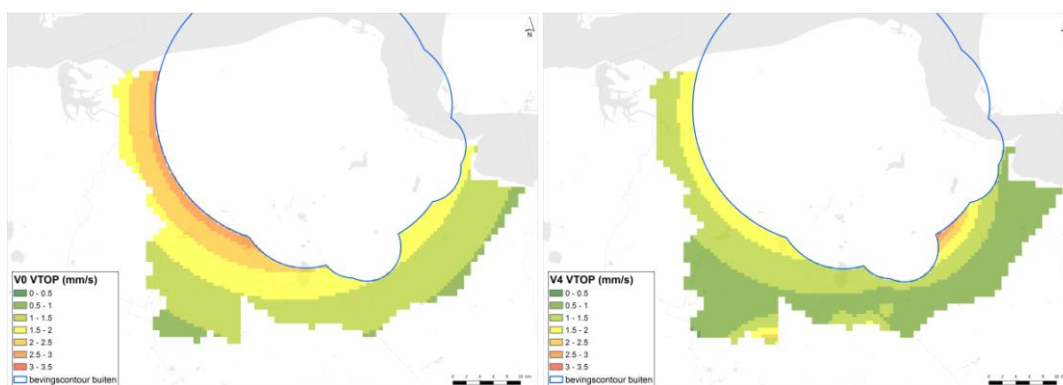
trillingen door geïnduceerde aardbevingen bij de intensiteiten die voorkomen in het buitengebied. Het is niet mogelijk, om enkel op basis van schadebeelden, deze oorzaak te herkennen. Het is daarnaast denkbaar dat schade als gevolg van geïnduceerde aardbevingen zich voordoet als een schade afkomstig van een andere oorzaak en niet los daarvan herkenbaar is. Hierbij kan worden gedacht aan een situatie waarbij bouwdelen onder spanning staan door andere oorzaken en de trillingen de laatste aanzet geven tot scheuren. Dit laatste 'tikje' kan niet worden waargenomen als een afzonderlijk schadebeeld.

Omdat het schadebeeld ontbreekt is er bij de beoordeling gebruik gemaakt van rekenmodellen en grenswaarden om vast te stellen of de trillingen ten gevolge van de geïnduceerde aardbevingen schade veroorzaakt kunnen hebben. De empirische modellen zijn gebaseerd op registraties van het KNMI in Noordoost Nederland. Met de modellen is voor alle geregistreerde geïnduceerde aardbevingen sinds 1986 de piekgrondsnelheid (VTOP) of de piekgrondversnelling per adres bepaald. De berekende piekgrondsnelheid per adres is onder andere afhankelijk van de magnitude van de aardbeving, - afstand tot het epicentrum en de lokale grondcondities.

De gebruikte modellen zijn zogenaamde ground motion prediction equations (GMPE) of ground motion models (GMM). De trillingsbelasting voor vergelijking met de grenswaarde is berekend met de GMPE/GMM die als uitkomst direct een piekgrondsnelheid geven. De piekgrondsnelheid (PGV) wordt omgerekend met een factor naar een piektrillingssnelheid (VTOP) om de vergelijking aan de grenswaarde mogelijk te maken. Zowel GMPE V0 uit [10] en [11] is gebruikt omdat deze reeds gepubliceerd is, als GMM V4 uit [12] omdat dit de laatste stand van de techniek is en deze volgens de opstellers (Bommer, Deltares, KNMI, TNO en de NAM) een verbetering is ten opzichte van V0. GMM V4 is reeds wetenschappelijk getoetst door een onafhankelijk expertteam maar is nog niet gepubliceerd. In het kader van herleidbaarheid is vooralsnog GMPE V0 het uitgangspunt, waarbij GMM V4 wordt gebruikt om te kunnen oordelen of de resultaten van GMPE V0 al dan niet als conservatief beschouwd kunnen worden.

Het ruimtelijk patroon voor het buitengebied op basis van GMPE V0 is in afbeelding 3.6 links te zien en het patroon van GMM V4 rechts. Voor deze vergelijking is een constante conservatieve waarde voor de ondergrond aangehouden. Per adres is de ondergrond nauwkeuriger bepaald waardoor afwijkingen ten opzichte van onderstaande kaarten kunnen voorkomen. De individuele waarde per adres is daarbij altijd leidend ten opzichte van de waarden gepresenteerd in afbeelding 3.6. In bijlage I paragraaf 4.7 is beschreven hoe de trillingssnelheden met GMPE/GMM V0 en V4 bepaald zijn.

Afbeelding 3.6 Maatgevende berekende VTOP waarden op basis van model GMPE V0 (links) en op basis van GMM V4 (links)



In afbeelding 3.6 zijn de verschillen in piektrillingssnelheid (VTOP) tussen de resultaten van GMPE V0 en V4 zichtbaar, V0 geeft over het algemeen hogere waarden dan V4. De V4 geeft echter wel plaatselijk rondom de epicentra van kleinere aardbevingen buiten het Groninger gasveld hogere waarden dan de V0 berekening. Tabel 3.5 geeft weer dat voor het gehele gebied de V0 over het algemeen hogere (en dus conservatieve) trillingssnelheden als resultaat geeft.

Tabel 3.5 Overzicht aantal adressen waarvan de berekende VTOP op basis van GMPE V0 en GMM V4 in een bepaalde klasse valt

VTOP waarde (mm/s)	Aantal adressen GMPE V0	Aantal adressen GMM V4
0 - 0,5	0	546
0,5 - 1,0	548	843
1,0 - 1,5	575	171
1,5 - 2,0	276	4
2,0 - 2,5	159	0
2,5 - 3,0	6	0

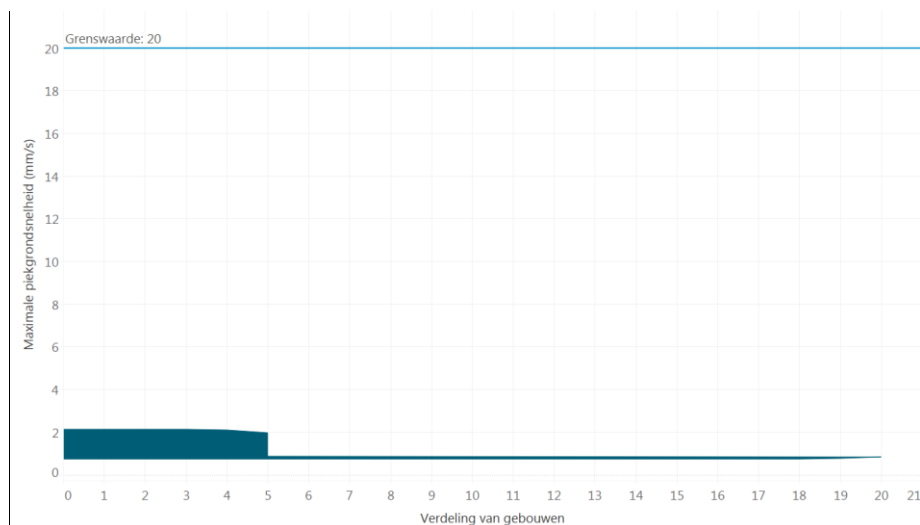
De mediane waarde van de berekende piektrillingssnelheid (VTOP) is getoetst aan de grenswaarde die is beschreven in de Nederlandse richtlijn voor schade aan de gebouwen ten gevolge van trillingen, de SBR richtlijn voor schade aan gebouwen [13]. Wanneer de grenswaarde niet overschreden wordt, is conform [13], de kans op schade 'aanvaardbaar klein'.

De grenswaarde is volgens [13] afhankelijk van de bouwwijze en staat van het gebouw, waarbij voor categorie 3 de strengste grenswaarde aangehouden wordt en voor categorie 1 de minst strenge. De indeling van de gebouwen in het onderzoeksgebied over de verschillende categorieën is als volgt: 35 in categorie 1, 1.806 in categorie 2 en 236 in categorie 3. De wijze waarop [13] is gehanteerd voor de toetsing aan de grenswaarde is beschreven in bijlage II hoofdstuk 2.2.

In afbeelding 3.7 en 3.8 zijn per categorie gebouwen de berekende grondsnelheden met GMPE V0 uitgezet tegen de bijhorende grenswaarden. In de afbeeldingen is in het donkerblauwe deel van de verticale as afgebeeld welke maximale trillingssnelheden zijn berekend en op de horizontale as is de verdeling over het aantal gebouwen afgebeeld, waarbij een grote uitschieter naar rechts betekent dat voor relatief veel gebouwen binnen de categorie die waarde de maximale waarde is.

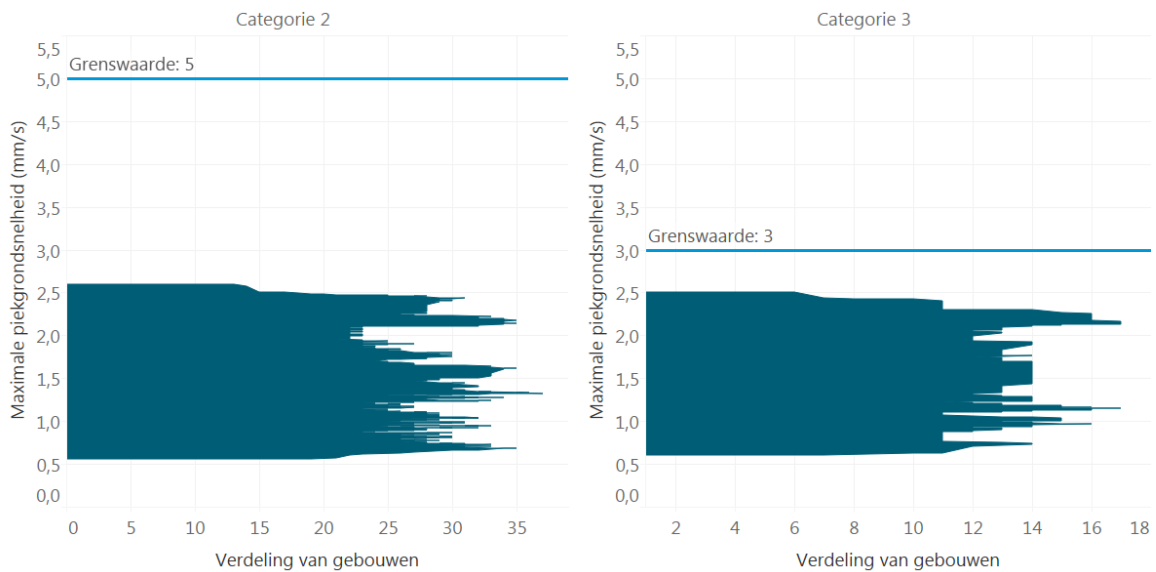
Afbeelding 3.7 toont voor gebouwcategorie 1 de vergelijking van de bepaalde trillingsniveaus per adres met de grenswaarde en de verdeling over het aantal gebouwen. Omdat op geen enkel adres de berekende trillingswaarde de grenswaarde heeft overschreden is deze mogelijke schadeoorzaak gefalsificeerd voor gebouwen in categorie 1.

Afbeelding 3.7 Vergelijking berekende VTOP op basis van V0 met grenswaarde voor categorie 1 gebouwen



In afbeelding 3.8 zijn de assen verschaald ten opzichte van afbeelding 3.7 om dezelfde vergelijking voor categorie 2 en 3 gebouwen beter zichtbaar te maken. Bij de categorie 3 gebouwen komt de grenswaarde wel in zicht bij. Van de categorie 3 gebouwen ligt 29 % van de berekende waarden boven de 1,5 op basis van de GMPE V0 en daarmee binnen een factor twee van de grenswaarde. Op basis van de GMM V4 geldt dit voor geen van de gebouwen. Bij de GMPE V0 zit er bij 97 % van de gebouwen meer dan een factor twee tussen de berekende trillingssnelheid en de grenswaarde. Bij de GMM V4 zit er altijd minimaal een factor twee tussen berekende trillingssnelheid en de grenswaarde. Ook voor deze categorieën worden de grenswaarden niet overschreden en daardoor zijn ook voor deze gebouwen schade als gevolg van trillingen door geïnduceerde aardbevingen gefalsificeerd.

Afbeelding 3.8 Vergelijking berekende VTOP op basis van V0 met grenswaarde voor categorie 2 en 3 gebouwen. De schaal op beide assen wijkt af ten opzichte van afbeelding 3.9



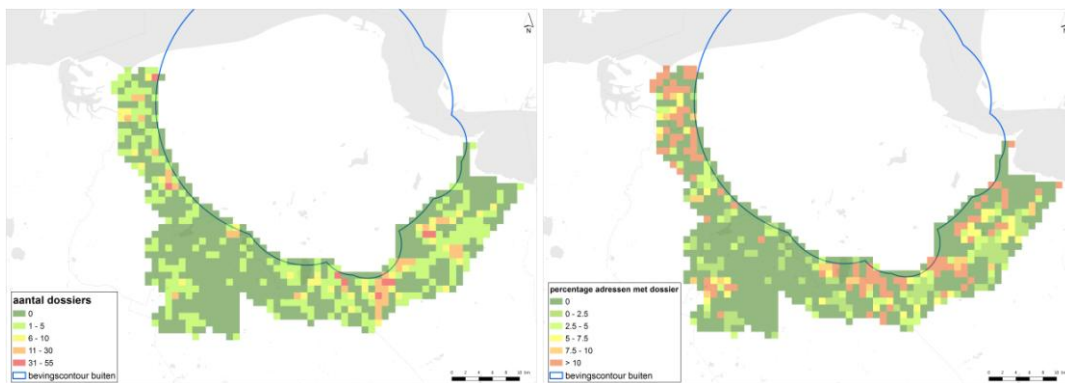
Gezien het feit dat deze mogelijke schadeoorzaak op basis van een rekenmodel, met bijhorende uitgangspunten, wordt gefalsificeerd, is extra aandacht gegeven aan het uitvoeren van een toets, door te kijken of er een patroon is tussen schades en geïnduceerde bevingen in het gebied. Met de toets wordt gecontroleerd of de falsificatie op basis van het model en de grenswaarde houdbaar is.

In het buitengebied zijn geen deterministische instrumentele intensiteitskaarten voor trillingen ten gevolge van geïnduceerde aardbevingen gemaakt (Instrumental Intensity ShakeMaps). Deze kaarten kunnen direct na een aardbeving gemaakt worden op basis van een combinatie van metingen en de observaties van bewoners. Uiteindelijk geven deze kaarten per aardbeving de intensiteit weer naar mate van beleving van de trilling door bewoners en naar geobserveerde schade.

Deze beoogde intensiteitskaarten wijken af van de Shakemaps die het KNMI sinds 2013 maakt. Deze Shakemaps van het KNMI geven de verdeling van de piekgrondversnellingen (in g) weer rond een epicentrum en zijn gebaseerd op metingen in combinatie met GMPE-predicties. De beleving en mogelijk schade observaties zijn hier geen onderdeel van.

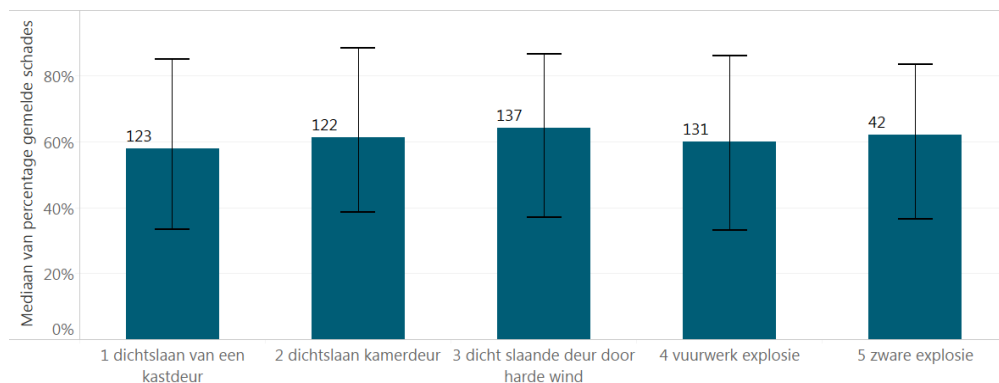
Een maat om de ervaring van de bewoners wel te beschouwen is door te kijken naar het (relatieve) aantal schademeldingen in het gebied. In afbeelding 3.9 is links weergegeven het aantal meldingen per vierkante kilometer in fase 1 en rechts hoeveel procent van de BAG-adressen een schademelding in fase 1 heeft gedaan. In deze afbeeldingen komen de patronen uit afbeelding 3.6 niet terug.

Afbeelding 3.9 Links absolute aantal meldingen (dossiers) in fase 1 per km², rechts relatieve aantal meldingen (dossiers) in fase 1 per km²



Wanneer de bewoner aangaf op het schadeadres een aardbeving te hebben gevoeld, is gevraagd hoe deze aardbeving is beleefd op een schaal van 1 tot 5. In afbeelding 3.10 is verticaal procentueel aangegeven hoeveel van het totaal aantal schades op het adres onderdeel is van de schademelding en horizontaal de beleving van de bewoner. Zichtbaar is dat het percentage gemelde schades geen duidelijke relatie heeft met de beleving. Opvallend is wel de grote spreiding in het percentage gemelde schades. Vanwege de tijd die verstreken is, tussen het optreden van de maatgevende aardbevingen, in de meeste gevallen Huizinge (16 augustus 2012), en het bezoek aan de woning, is voorzichtigheid geboden bij de interpretatie van de dit resultaat.

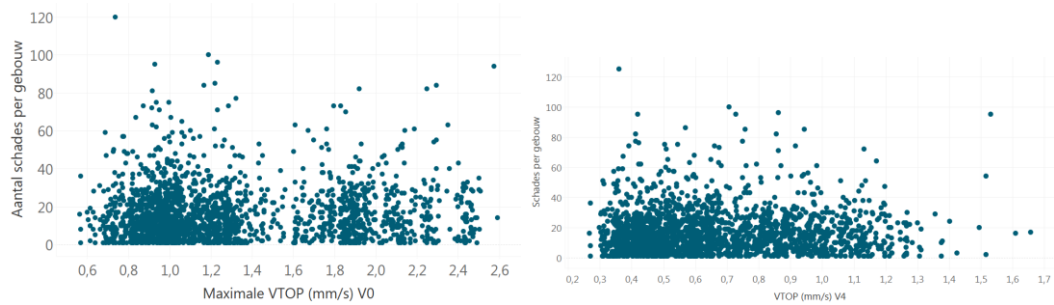
Afbeelding 3.10 Relatieve aantal gemelde schades (%) per adres ten opzichte van beleving van de zwaarst ervaren aardbeving



Omdat er geen eenduidige relatie is tussen de aardbeving en het aantal meldingen en het percentage gemelde schades per gebouw, is verder gezocht naar een verband tussen de hoeveelheid schade en de trillingssnelheid in het geval van aardbevingsschade.

Zoals eerder beschreven is het denkbaar dat schade als gevolg van geïnduceerde aardbevingen zich voordoet als schade afkomstig van een andere oorzaak, waarbij de trillingen door de aardbeving net het laatste 'tikje' zijn. Om te onderzoeken of dit 'tikje' zich heeft voorgedaan is gekeken of er een patroon bestaat in het aantal schades per gebouw en de trillingssnelheid op basis van GMPE/GMM V0 en V4 in afbeelding 3.12.

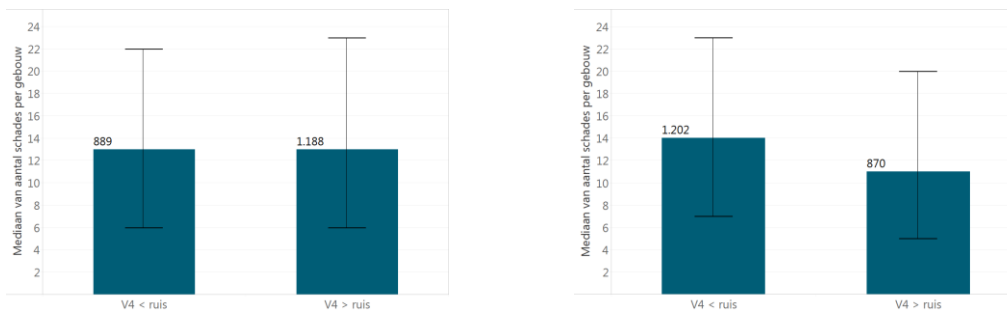
Afbeelding 3.11 Totaal aantal schades per gebouw ten opzichte van de VTOP voor V0 (links) en V4 (rechts)



Afbeelding 3.11 toont dat er in de dataset geen patroon zichtbaar is dat duidt op een relatie. Wat opvalt in de grafiek is een grote spreiding in het aantal schades per gebouw. Dit wordt verklaard uit de aanwezigheid verschillende gebouwtypes en bouwjaren zoals besproken bij afbeelding 3.2.

Op basis van de GMM V4 berekening volgt dat voor een groep gebouwen in het onderzoek de zogenaamde achtergrondruis hoger is dan de maximale berekende trillingsnelheid ten gevolge van de aardbevingen. Onder achtergrondruis wordt het achtergrondtrillingsniveau verstaan dat voor een gebouwtype door andere trillingsbronnen dan aardbevingen over een tijdspanne van een jaar verwacht kan worden. Hierdoor kan onderscheid in twee groepen gemaakt worden. Eén groep waarvoor verwacht kan worden dat aardbevingen de bron is van de maatgevende trillingsbelasting en één groep waarvoor aardbevingen niet de bron van de maatgevende trillingsbelasting zijn. In afbeelding 3.12 is aan de linkerzijde de vergelijking gemaakt op basis van de achtergrondruis zoals generiek bepaald per gebouwtype, aan de rechterzijde zijn hiervoor ook aanvullende trillingswaarden voor specifiek het wegverkeer gehanteerd.

Afbeelding 3.12 Vergelijking mediaan van het aantal schades per gebouw voor groep waarvoor volgens GMM V4 de trillingsniveaus ten gevolge van aardbevingen lager zijn dan de achtergrondruis (links) en de achtergrondruis of trillingsniveaus verwacht door verkeer (links)



Op basis van de GMPE V0 berekening is de trillingsintensiteit door de aardbevingen hoger dan de achtergrondruis en is het niet mogelijk om twee groepen te vergelijken.

Naast de toets voor alle gebouwen is in bijlage III ook naar speciale groepen gekeken die mogelijk gevoeliger zouden zijn. Voorbeelden zijn de categorie 3 gebouwen en gebouwen nabij epicentra in het buitengebied, waar TNO trillingsmetingen van vergelijkbare aardbevingen in het schade-aanbehandelingsgebied soms afwijkingen vertonen. Al deze toetsen bevestigden het resultaat van de beoordeling aan de hand van de berekende trillingsnelheid en de grenswaarde uit [13].

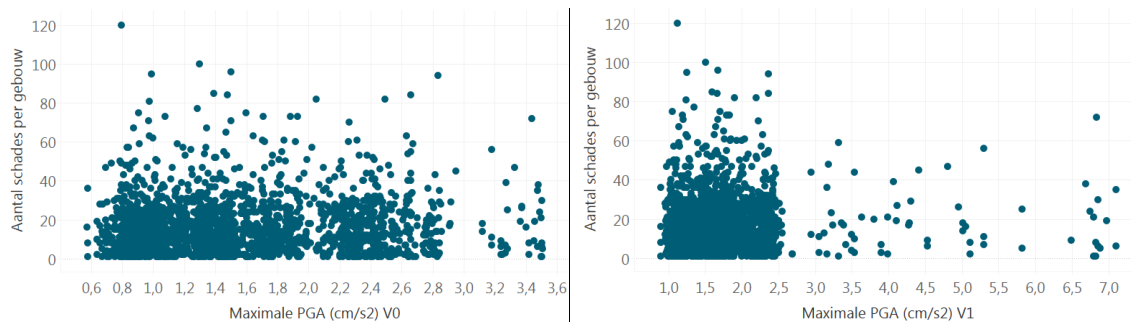
Een speciale toets die ook is uitgevoerd betrof een steekproef bestaande uit het beschouwen van 15 gebouwen in het schade-aanbehandelingsgebied. Deze 15 gebouwen zijn meegenomen om te beschouwen op het mogelijk is om de methodiek ook in het schade-aanbehandelingsgebied te kunnen toepassen. Bij de

beoordeling van schades aan deze gebouwen was het in deze gevallen conform de systematiek niet mogelijk om 'overbelasting door trillingen - aardbevingen' te falsificeren. De beoordeling resulteerde bij circa 70 % van schadebeelden in verificatie van 'overbelasting door trillingen - aardbevingen' als preliminaire schadeoorzaak. Gezien de omvang van de steekproef was het echter nog niet mogelijk om de toets uit te voeren.

Met behulp van EMM is ook ongestuurd naar afwijkende subgroepen gezocht voor de meest voorkomende schadeoorzaken in relatie met de trillingsnelheid op basis van GMPE V0. De resultaten zijn opgenomen in bijlage III paragraaf 5.2. Hieruit volgden geen subgroepen die aanleiding gaven om de beoordeling te herzien.

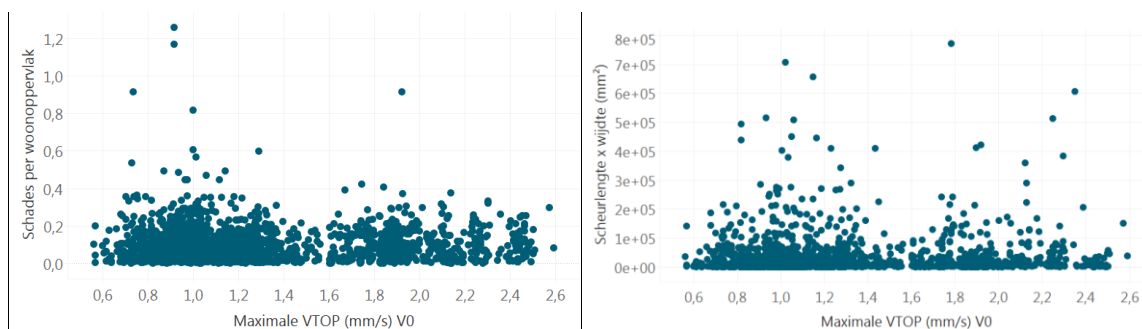
De schadeomvang is in alle voorgaande grafieken uitgezet tegen de berekende VTOP op basis van de GMPE berekeningen. Andere maatstaven voor de trillingen ten gevolge van geïnduceerde aardbevingen, zoals piekgrondversnelling (PGA), zijn ook gebruikt voor toetsing. Omdat er voor de Nederlandse bouwwijze geen normatieve relaties bestaan tussen PGA en schade is het niet mogelijk om deze berekende waarden te vergelijken met een grenswaarde. Wel kan er in de verzamelde gegevens onderzocht worden of er een patroon te herkennen is tussen PGA en hoeveelheid schade. Hiervoor is de PGA zowel berekend met GMPE V0 en met GMPE V1 uit [14] en [15] en uitgezet tegen het aantal schades per gebouw in afbeelding 3.13.

Afbeelding 3.13 Totaal aantal schades per gebouw ten opzichte van de PGA op basis van V0 (links) en V1 (rechts)



Afbeelding 3.14 toont ook andere maatstaven voor schade, zoals aantal schades per vierkante meter woonoppervlak of scheuroppervlak per gebouw (scheurwijdte x scheurlengte). Andere combinaties zijn weergegeven in bijlage III en tonen evenals afbeelding 3.13 en 3.14 geen patronen die duiden op een causaal verband.

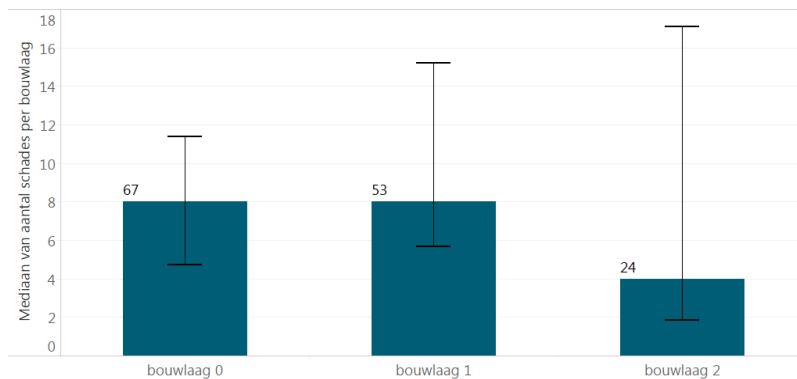
Afbeelding 3.14 Totaal aantal schades per m² woonoppervlak (links) en scheuroppervlak per gebouw (rechts) ten opzichte van VTOP op basis van V0



Los van de relaties tussen trillingsnelheid of trillingsversnelling en maten voor de hoeveelheid schade aan gebouwen kan ook worden gekeken naar patronen op gebouwniveau zoals het zogenaamde

'opslingereffect'. Op basis van [13] kan worden verwacht dat de meeste schade op de begane grond voor zou komen. Als opslingering van het gebouw juist een belangrijk effect zou zijn, kan verwacht worden dat er in tegenstelling tot [13] meer schade is op de eerste verdieping (en tweede verdieping). Uit afbeelding 3.15 blijkt dat de mediaan van het aantal schades op de begane grond en eerste verdieping gelijk is voor tussenwoningen met de kanttekening dat er echter wel een verschil is in interkwartielafstand. Enkel schades die niet in het bouwdeeltype buitenzijde gevel voorkomen zijn meegenomen in de analyse, omdat de buitenzijde van de gevel altijd is toegekend aan de begane grond bij de inspectie.

Afbeelding 3.15 Aantal schades per verdieping in vloeren, daken en binnenwanden voor tussenwoningen



Voor een overzicht van alle analyses die zijn uitgevoerd om de falsificaties te toetsen wordt verwezen naar bijlage III, hoofdstuk 4 & 5 (III.4 en III.5). Van belang is dat de uitgevoerde toetsen geen aanleiding geven om de resultaten van de vergelijking van de berekende grondsnelheid met de grenswaarde uit [13] te herzien.

3.2.3 Overbelasting door trillingen - wegverkeer

Bij de hoofdoorzaak belastingen is op subniveau twee de mogelijke schadeoorzaak 'overbelasting door trillingen - wegverkeer' gefalsificeerd als de weg meer dan 10 m van het gebouw af ligt en/of de maximum snelheid op de weg minder dan 50 km/u is. Dit criterium is vastgesteld op basis van metingen van TNO gebouwsensoren in Groningen en de grenswaarden uit [13].

Wanneer het criterium gehaald wordt, wordt de schadeoorzaak niet gefalsificeerd en is het een mogelijke schadeoorzaak die geverifieerd kan worden. De intensiteit van de trillingen is over het algemeen laag waarbij de overschrijding van de grenswaarde nog beperkt is. Er is geen uniek schadebeeld voor schade ten gevolge van trillingen door verkeer gegeven in 'Structural damage in Masonry' van De Vent [16]. Als een schade mogelijk veroorzaakt is door verkeerstrillingen zijn ook altijd meerdere andere mogelijke oorzaken mogelijk.

Daarom is bij schades waarbij de grenswaarde uit [13] waarschijnlijk overschreden is, de mogelijke schadeoorzaak 'overbelasting door trillingen - wegverkeer' door de expert aangemerkt als een schade waarbij een trilling mogelijk van invloed kan zijn geweest. In totaal is voor 198 schades deze mogelijke schadeoorzaak aangemerkt als preliminaire schadeoorzaak. Het betrof echter altijd een schade waarbij ook meerdere andere mogelijke oorzaken geverifieerd waren.

Afbeelding 3.16 Invloed van verkeerstrillingen op een gebouw

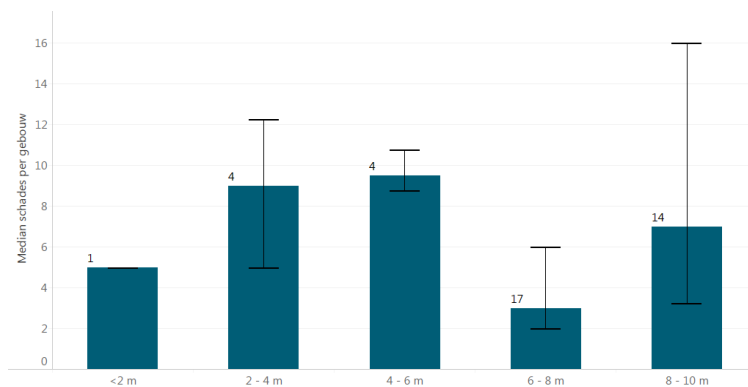


Omdat het schadebeeld niet los waarneembaar is en er gebruik wordt gemaakt van een model met een grenswaarde [13], is met een toets gecontroleerd of er een patroon te herkenbaar is tussen het verkeer en de schade.

Wanneer trillingen ten gevolge van wegverkeer van invloed zijn op schades aan gebouwen, wordt verwacht dat de intensiteit van de trilling invloed heeft op het aantal schades. De afstand van de woning tot de weg, de snelheid op de weg, en het wegdek spelen hierbij mogelijk een rol.

Afbeelding 3.17 toont de relatie tussen het aantal schades per gebouw en de afstand tot de weg. In de grafiek zijn alleen die woningen als groep meegenomen waarvoor de schadeoorzaak 'overbelasting door trillingen - wegverkeer' is aangemerkt om vervuiling en verstoring van het beeld te voorkomen.

Afbeelding 3.17 Mediaan van het aantal schades ten gevolge van trillingen door wegverkeer ten opzichte van de afstand tot de weg



Het patroon dat wordt verwacht wordt niet bevestigd door de resultaten in het meetgebied. Er zijn echter te weinig waarnemingen om conclusies aan te kunnen verbinden. Ook de toetsen voor het type wegdek en de maximumsnelheid op de weg zijn gebaseerd op te kleine groepen.

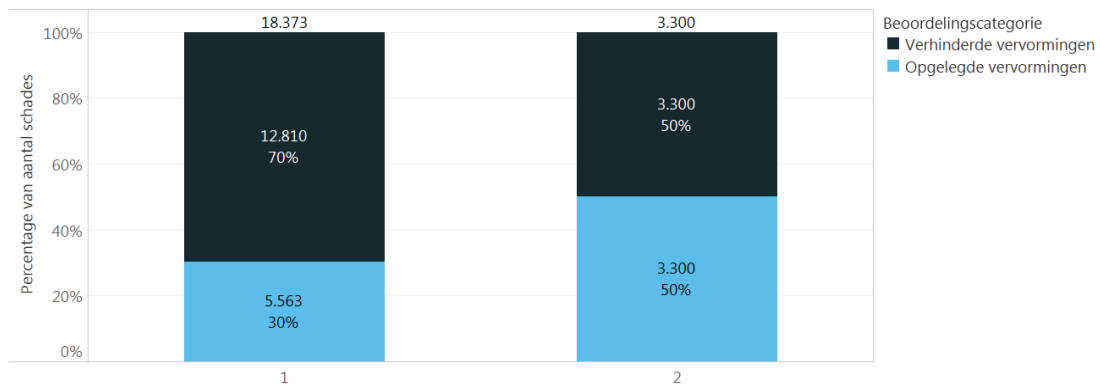
Omdat er geen duidelijk waarneembaar schadebeeld is en de toets de relatie tussen trillingen ten gevolge van wegverkeer en schade niet aantoont, is het niet mogelijk gebleken om de schadeoorzaak te verifiëren als definitieve schadeoorzaak. Gezien het mogelijk overschrijden van de grenswaarde kan deze mogelijke schadeoorzaak echter ook niet voor alle gebouwen gefalsificeerd worden. Daarom wordt de mogelijke schadeoorzaak niet gefalsificeerd en niet geverifieerd wanneer niet aan het falsificatiecriterium wordt voldaan.

3.3 Vervormingen

De hoofdcategorie vervormingen is bij 21.673 schades als mogelijke oorzaak van de schade vastgesteld. Deze hoofdcategorie bestaat uit twee subcategorieën. De eerste subcategorie is 'verhinderde vervormingen' en de tweede subcategorie is 'opgelegde vervormingen'. Bij verhinderde vervormingen wil een element vervormen, maar wordt deze vervorming verhinderd waarbij schade ontstaat in het element zelf. Bij opgelegde vervormingen vervormt een ander element en kan het element met schade deze vervorming niet volgen, waarbij schade ontstaat. Het onderscheidende vermogen in de schadebeelden is beperkt, waardoor het vaak lastig is om onderscheid te maken tussen beide schadeoorzaken.

De verdeling van de schades over de subcategorieën is weergegeven in afbeelding 3.18.

Afbeelding 3.18 Verdeling schadeoorzaak bij oorzaken afkomstig uit één of meer subcategorieën van de hoofdcategorie vervormingen



In afbeelding 3.18 is zichtbaar dat er bij 18.373 schades één mogelijke schadeoorzaak uit de hoofdcategorie vervormingen is. Met 12.810 schades is de mogelijke oorzaak 'verhinderde vervormingen' een meer voorkomende schadeoorzaak dan 'opgelegde vervormingen' waarvan 5.563 schades zijn waargenomen. Bij een beperkt aantal van 3.300 schades zijn beide mogelijke subcategorieën van schadeoorzaken uit de hoofdcategorie vervormingen geverifieerd.

3.3.1 Verhinderde vervormingen - initieel

Binnen de hoofdcategorie vervormingen komt de subcategorie 'verhinderde vervormingen' het meest voor. Op basis van een nadere beschouwing blijkt dit voornamelijk voort te komen uit de subcategorie niveau twee 'verhinderde vervormingen - initieel' (15.624 schades). Dit zijn schades die ontstaan zijn doordat de vervormingen van het element zelf verhinderd worden met spanningen tot gevolg.

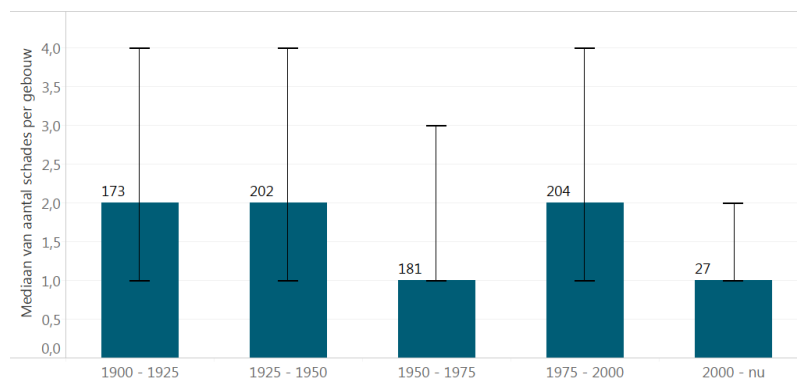
Een schadebeeld dat bij deze oorzaak hoort en 4.476 keer is waargenomen, zijn scheuren in buitenwanden door het ontbreken van dilataties. Bij dit schadebeeld zet de buitenwand uit of krimpt deze ten gevolge van met name veranderingen in temperatuur. De wand wordt verhinderd (uit te zetten of te krimpen) door vloeren, andere wanden en/of de fundering, waardoor scheuren ontstaan. Een uiting van het schadebeeld is schematisch weergegeven in afbeelding 3.19.

Afbeelding 3.19 Schadebeeld ontbreken dilataties in een metselwerk buitenwand



De verwachting is dat de ervaringen door de tijd met dergelijke schade hebben geleid tot het meer en systematisch toepassen van dilatatievoegen. In de huidige bouw is dit een overweging die binnen een ontwerpproces veelal bewust wordt gemaakt. Daarnaast zullen metselwerk gevels van oudere gebouwen meer temperatuurswisselingen hebben doorlopen dan metselwerkgevels van nieuwere gebouwen. Dit betekent dat het aantal schades als gevolg van verhinderde vervormingen in de tijd af moeten nemen. Deze verwachting is getoetst aan alle schades in buitengevels die binnen dit onderzoek zijn geduid als schade als gevolg van verhinderde vervorming door het ontbreken van een dilatatie in metselwerk. De resultaten zijn weergegeven in afbeelding 3.20.

Afbeelding 3.20 Mediaan van het aantal schades per gebouw in metselwerk buitenwanden ten opzichte van het bouwjaar



Uit de afbeelding is een afname zichtbaar van het aantal schades door verhinderde vervormingen bij meer recent gebouwde woningen, zoals werd verwacht. De uitkomst van deze toets geeft daardoor geen aanleiding om over te gaan tot heroverweging van de beoordeling en versterkt daarmee de beoordeling van deze schades.

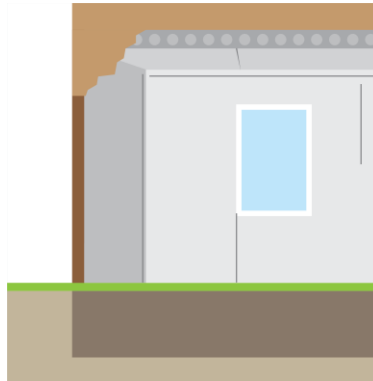
3.3.2 Opgelegde vervormingen - initieel

Binnen de hoofdcategorie vervormingen komen ook schades voor met als mogelijke schadeoorzaak 'opgelegde vervormingen'. Op subcategorie niveau twee is de meest voorkomende oorzaak 'opgelegde vervormingen - initieel' (8.255 schades). Dit zijn schades die ontstaan zijn doordat het element de vervormingen van een ander element niet kan volgen, waardoor er schade ontstaat.

Een schadebeeld dat bij deze oorzaak hoort en 5.237 keer is waargenomen, zijn scheuren tussen bouwelementen binnen. Doordat de elementen uitzetten, krimpen en vervormen ten gevolge van

veranderingen in temperatuur, vocht en belastingen kunnen er scheuren ontstaan in of nabij overgangen tussen verschillende elementen. Een uiting van dit schadebeeld is te zien in afbeelding 3.21.

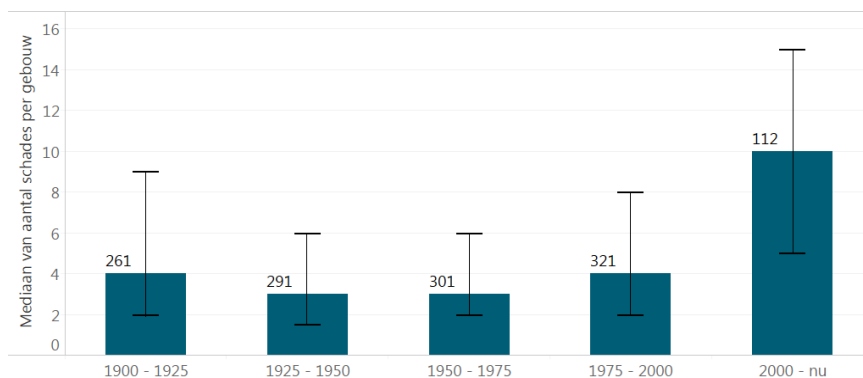
Afbeelding 3.21 Schadebeeld scheuren tussen bouwelementen binnen door vervormingen



Het schadebeeld heeft een sterke relatie met de hoeveelheid grote krimpgevoelige elementen dat gebruikt wordt in de bouw. Een groot element zet in absolute zin meer uit en krimpt meer dan een klein element, terwijl er minder aansluitingen zijn tussen de elementen waarin deze vervorming kan worden opgenomen. In de moderne bouw is een tendens waarneembaar naar steeds meer grote elementen (vloerelementen, binnenspouwbladen, binnenwanden) om sneller te kunnen bouwen. Het aantal scheuren ten gevolge van opgelegde vervormingen in binnenwanden zal naar verwachting dus toenemen naar mate woningen van recenter datum zijn.

Deze verwachting is getoetst aan alle schades aan binnenwanden die binnen dit onderzoek zijn geduid als schade als gevolg van opgelegde vervorming tussen twee elementen. De resultaten zijn weergegeven in afbeelding 3.22.

Afbeelding 3.22 Mediaan van het aantal schades aan binnenwanden per gebouw ten opzichte van het bouwjaar

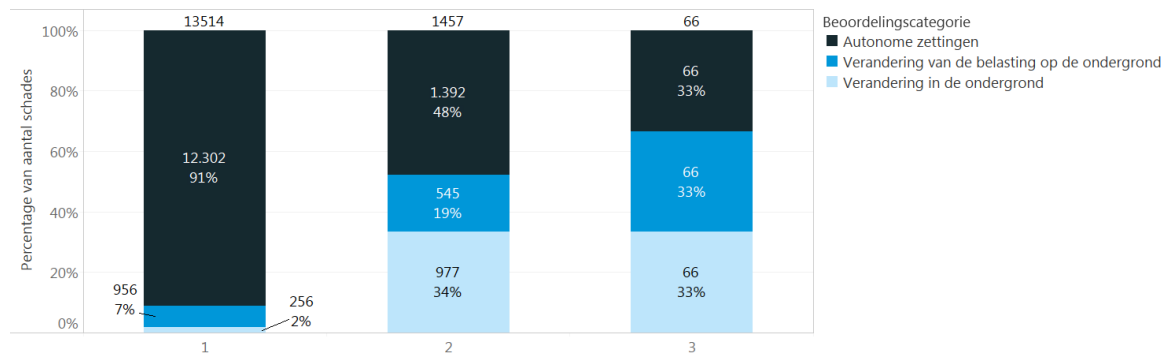


Uit de afbeelding is duidelijke toename zichtbaar van het aantal schades in binnenwanden door opgelegde vervormingen bij meer recent gebouwde woningen, zoals ook werd verwacht. De uitkomst van deze toets geeft daardoor geen aanleiding om over te gaan tot heroverweging van de beoordeling en versterkt daarmee de beoordeling van deze schades.

3.4 Ongelijkmatige zettingen in de ondergrond

De hoofdcategorie ongelijkmatige zettingen in de ondergrond is bij 15.037 schades als mogelijke oorzaak van de schade vastgesteld. Deze hoofdcategorie bestaat uit drie subcategorieën. De subcategorieën zijn 'autonome zettingen', 'verandering van belasting op de ondergrond' en 'verandering in de ondergrond'. De verdeling over de subcategorieën is weergegeven in afbeelding 3.23.

Afbeelding 3.23 Verdeling schadeoorzaak bij oorzaken afkomstig uit één of meer subcategorieën van de hoofdcategorie ongelijkmatige zettingen in de ondergrond



De subcategorie 'autonome zettingen' komt met meest voor. De categorieën 'verandering van belasting op de ondergrond' en 'verandering in de ondergrond' komen veel minder voor.

Uit afbeelding 3.23 volgt dat er bij 13.514 schades één mogelijke schadeoorzaak uit de hoofdcategorie ongelijkmatige zettingen in de ondergrond is. Bij 12.302 schades is de mogelijke oorzaak 'autonome zetting', bij 956 'verandering van de belasting op de ondergrond' en bij 256 'verandering in de ondergrond'.

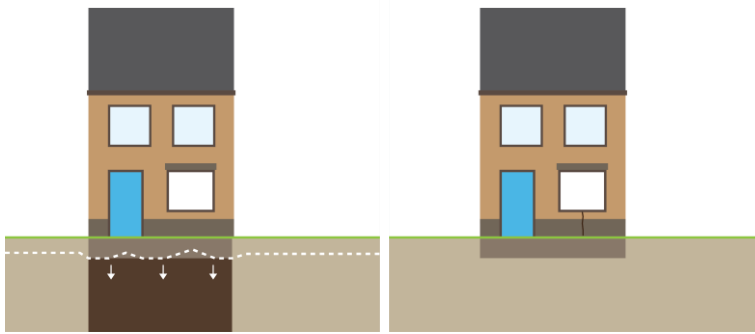
Ook is in afbeelding 3.23 is zichtbaar dat er bij 1.457 schades twee mogelijke schadeoorzaken uit de hoofdcategorie ongelijkmatige zettingen in de ondergrond zijn. 1.392 schades hebben als mogelijke oorzaak 'autonome zetting', 545 'verandering van de belasting op de ondergrond' en 977 'verandering in de ondergrond'.

3.4.1 Autonome zetting - gelijkblijvende belastingen

Binnen de hoofdcategorie ongelijkmatige zettingen in de ondergrond komt de subcategorie 'autonome zetting' het meest voor (13.760 schades). Deze schades worden veroorzaakt doordat er of lokale variatie is in de autonome zetting van de ondergrond of de belasting niet uniform verdeeld wordt over de ondergrond of een combinatie van beiden.

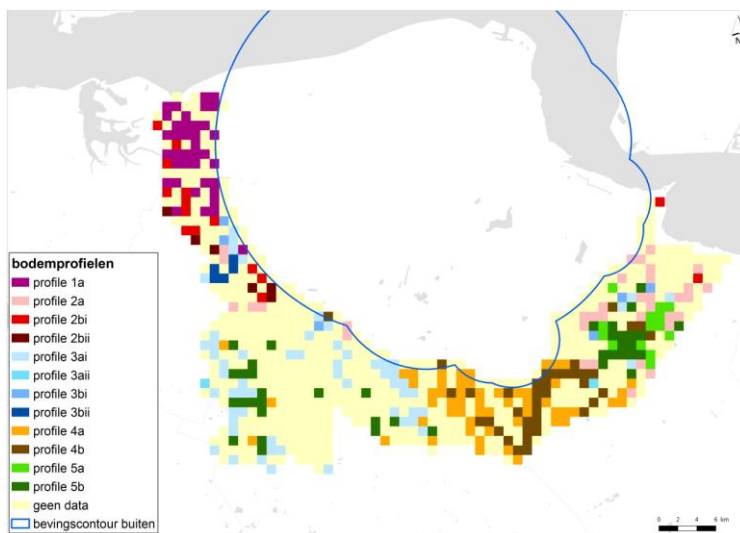
Het schadebeeld dat bij deze oorzaak hoort en 13.760 keer is waargenomen is schematisch weergegeven in afbeelding 3.24.

Afbeelding 3.24 Schadebeeld autonome zetting ten gevolge van niet uniforme belasting



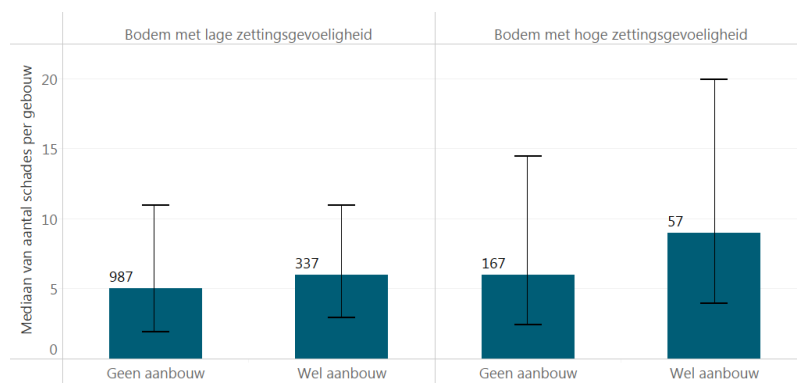
In het buitengebied komen verschillende ondergronden voor zoals weergegeven in afbeelding 3.25. Op basis van een analyse van de bodemopbouw is deze mogelijke schadeoorzaak niet te falsificeren voor alle gebouwen, omdat verschilzettingen bij alle ondergronden in het buitengebied kunnen leiden tot scheurvorming. De ervaring leert dat met name de werkwijze en maatregelen tijdens de bouw hierbij een belangrijke rol spelen. Hierdoor kunnen (onnodig) zettingen optreden bij gebouwen op zettingsongevoelige gronden en met de juiste maatregelen zettingen op zettingsgevoelige gronden worden beperkt.

Afbeelding 3.25 Overzicht van meest voorkomende verschillende bodemprofielen per km²



Aangezien het schadebeeld op basis van een analyse van de ondergrond nergens is te falsificeren is het verklaarbaar dat op iedere ondergrond het schadebeeld zettingschade is aangetroffen. Gegeven het feit dat het schadebeeld op ieder type ondergrond voorkomt, kan verwacht worden dat het schadebeeld relatief meer voorkomt op ondergrond die gevoeliger is voor zettingen. Om dit vermoeden te toetsen is een analyse uitgevoerd waarbij enkel naar schades met het schadebeeld ongelijkmatige zetting is gekeken. Hierbij is het aantal schades met dit schadebeeld vergeleken voor een ondergrond in het gebied met een relatief lage zettinggevoeligheid ten opzichte van een gebied met een relatief hoge zettinggevoeligheid. Dit is afgebeeld in afbeelding 3.26.

Afbeelding 3.26 Mediaan van het aantal schades per gebouw ten gevolge van ongelijkmatige zetting in ondergrond op relatief laag zettingsgevoelige ondergrond en relatief hoog zettingsgevoelige ondergrond voor gebouwen met en zonder aanbouw



Deze afbeelding toont dat het schadebeeld op alle soorten ondergrond is waargenomen in de beoordelingen, maar dat ongelijkmatige zetting inderdaad vaker voorkomen op ondergrond die gevoeliger is voor zettingen.

Naast de zettinggevoeligheid van de ondergrond kan ook een ongelijkmatige belasting leiden tot het schadebeeld ongelijkmatige zetting. De kans op het schadebeeld ongelijkmatige zetting zal groter zijn bij een aanbouw. De bestaande bouw en aanbouw zullen anders zettingen in de tijd waardoor er een scheur kan ontstaan tussen de bestaande bouw en de aanbouw. In afbeelding 3.26 is zichtbaar dat gebouwen met aanbouw zowel op relatief weinig zettinggevoelige ondergrond en meer zettinggevoelige ondergrond meer schades hebben dan gebouwen zonder aanbouw. Wanneer naar de individuele schadebeelden wordt gekeken is bij een gebouw met aanbouw ook vaker een scheur tussen bestaande bouw en aanbouw zichtbaar.

Ook is er op 23 locaties aanvullend grondonderzoek verricht om het gebruikte ondergrondmodel (GeoTop) te toetsen op basis van project specifieke metingen. Deze locaties zijn op basis van de verwachte variatie in de ondergrond strategisch gekozen om zo een representatief beeld van het buitengebied te geven. Per locatie zijn twee sonderingen van 15 m diepte verricht, 4 handboringen tot 3 m diepte gemaakt en is een lintvoegmeting uitgevoerd. De uitkomst van dit onderzoek was dat het oordeel met betrekking tot de gevoeligheid voor zettingen van de ondergrond niet veranderd en ook de beoordeling niet veranderd door de aanvullende grondonderzoeken.

Voor een overzicht van de analyses die zijn uitgevoerd om de beoordeling van de ondergrond te toetsen wordt verwezen naar bijlage III, hoofdstuk 4 & 5 (III.4 en III.5).

3.4.2 Verandering in de ondergrond - trillingen

Bij de hoofdoorzaak zettingen in de ondergrond is de suboorzaak niveau twee 'verandering in de ondergrond - trillingen' voor alle gebouwen gefalsificeerd. Zoals in paragraaf 3.2.2 beschreven is er geen duidelijk schadebeeld voor schade ten gevolge van trillingen door aardbevingen met betrekking tot de Nederlandse bouwwijzen. Daardoor is het niet mogelijk om op basis van schadebeelden deze oorzaak te herkennen.

Het optreden van verandering in de ondergrond ten gevolge van trillingen door geïnduceerde aardbevingen is in dit onderzoek beschouwd als het optreden van verdichting van losgepakt zand of het optreden van *liquefaction*.

Om te beoordelen of trillingen ten gevolge van de aardbevingen veranderingen in de ondergrond veroorzaakt hebben, die mogelijk schade veroorzaakt kunnen hebben, is per adres de piekgrondversnelling

bepaald. De piekgrondversnelling is bepaald met zowel de GMPE V0 als GMM V4 en getoetst aan de grenswaarde voor verweking van grond uit de NPR [17]. In bijlage I, hoofdstuk 4.6 is beschreven hoe deze waarden bepaald zijn. De grenswaarde is beschreven in de NPR 9998 [17] en is afhankelijk van de ondergrond. Hoe de richtlijn is toegepast voor toetsing is beschreven in bijlage II, hoofdstuk 2.3.3.

Gezien het feit dat deze mogelijke schadeoorzaak op basis van een model wordt gefalsificeerd is hier extra aandacht aan gegeven bij het uitvoeren van de toets. De uitgevoerde toets is gelijk aan de toets beschreven in paragraaf 3.2.2 en verder uitgewerkt in bijlage III, omdat het ook hier om de relatie tussen schade en trillingen ten gevolge van aardbevingen gaat. De toetsen geven geen aanleiding om de resultaten van de vergelijking van de berekende piekgrondversnelling met de grenswaarde uit [17] te herzien.

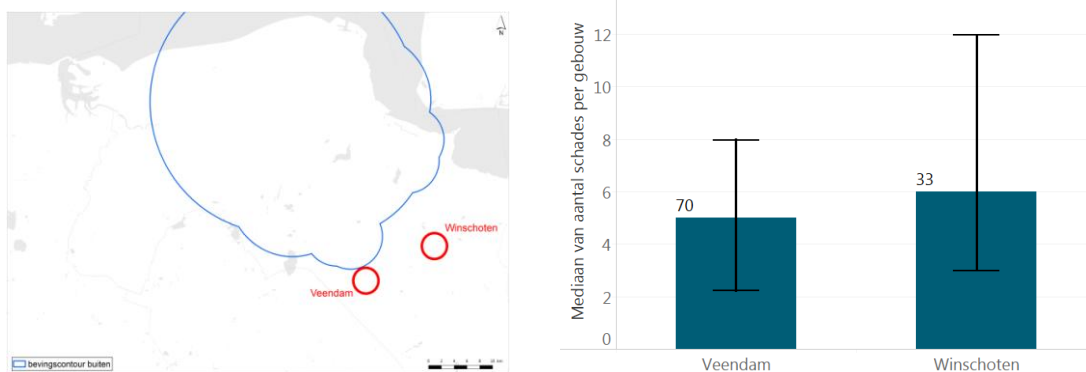
3.4.3 Verandering in de ondergrond - bodemdaling ten gevolge van mijnbouwactiviteiten

Binnen de hoofdoorzaak ongelijkmatige zettingen in de ondergrond is de oorzaak in subcategorie niveau twee 'verandering in de ondergrond - bodemdaling ten gevolge van mijnbouwactiviteiten' in alle gevallen niet gefalsificeerd noch geverifieerd.

Dit komt omdat het niet mogelijk is om voor panden met schades, ten gevolge van ongelijkmatige zetting van de ondergrond, een invloed als gevolg van een verwaarloosbaar kleine hoekverdraaiing, van in het buitengebied maximaal 0,5 mm per 10 m, ten gevolge van gaswinning op basis van [18] te falsificeren. Hetzelfde geldt voor de maximale hoekverdraaiing van 2,2 mm per 10 m ten gevolge van de zoutwinning nabij Veendam op basis van [19]. Het is ook niet mogelijk om de invloed hiervan te verifiëren, omdat deze hoekverdraaiing op zichzelf niet tot schade leidt. Dit omdat deze aanzienlijk kleiner is dan de strengste grenswaarde op basis van Kratzsch [20], namelijk 25 mm per 10 m. Op basis van deze grenswaarde is bodemdaling door gaswinning in het buitengebied daarmee altijd minimaal een factor 50 kleiner dan de andere aandrijvende mechanismen achter de ongelijkmatige zetting. De bodemdaling ten gevolge van zoutwinning is altijd een factor 11 kleiner.

Om te toetsen of er inderdaad geen directe aanwijzing is dat de bodemdaling ten gevolge van mijnbouwactiviteiten geleid heeft tot het schadebeeld ongelijkmatige zettingen, zijn twee onder een kap woningen en vrijstaande woningen met het schadebeeld ongelijkmatige zettingen uitgelicht in de omgeving Veendam en de omgeving van Winschoten, zie afbeelding 3.27. Er is gekozen voor deze vergelijking omdat in de omgeving van Veendam de bodemdaling ten gevolge van diepe bodemdaling het grootst is en de opbouw van de ondergrond in de omgeving van Winschoten een overeenkomstige opbouw heeft als die van Veendam. De keuze voor een beperkt aantal gebouwtypes maakt het mogelijk om het aantal variabelen nog verder te beperken in de vergelijking. Uit deze vergelijking in afbeelding 3.27 volgt dat er geen aanwijzing is om te concluderen dat het gehanteerde criterium niet klopt.

Afbeelding 3.27 Vergelijking zettingschades Veendam en Winschoten



4

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

4.1 Conclusies

In het kader van de afhandeling van de schademeldingen door het CVW is door Witteveen+Bos, in opdracht van de NAM, een onderzoek uitgevoerd naar de oorzaak of oorzaken van de schade(s) aan gebouwen in het buitengebied. De onderzochte adressen in het buitengebied kenmerken zich door, in vergelijking met het schade-afhandelingsgebied, relatief lage, maar nog wel door bewoners gevoelde, trillingsbelastingen ten gevolge van geïnduceerde aardbevingen.

In het onderzoek zijn, in navolging op het advies van de validatiecommissie Rots, alle gebouwen waaraan schade is gemeld visueel onderzocht en zijn daarbij alle schades die op dat moment aanwezig waren, systematisch opgenomen en beoordeeld. Het onderzoek is op transparante wijze uitgevoerd met in acht neming een minimale hinder voor de bewoners, herleidbaarheid, reproduceerbaarheid en toetsbaarheid van de resultaten en binnen de beschikbare onderzoeksperiode (september 2016 - februari 2017).

In het onderzoek zijn op 1.564 adressen, waar schade gemeld is, inspecties uitgevoerd aan 2.077 gebouwen waarbij in totaal 33.877 schades zijn vastgelegd. Meer dan 95 % van de schades betrof een scheur. Van de scheuren waarvan de scheurwijdte is gemeten wordt 92 % gecategoriseerd als 'zeer lichte' en 'lichte' schade op basis van de kwalificaties van de Building Research Establishment [6]. Een kwalificatie van scheuren op basis van alleen scheurwijdte dient vooral als indicatief voor de staat van het gebouw te worden beschouwd aangezien scheurwijdte niet het enige criterium is voor kwalificatie van de ernst van een scheur. Een andere indeling voor de staat van het gebouw zoals bijvoorbeeld het aantal schades per gebouw is niet mogelijk bij gebrek aan een classificatie en/of gegevens van een referentiegebied.

Circa 2 % van de opgenomen schades viel niet onder de definitie van schade en betrof bijvoorbeeld een slijtage, vertering van een kitnaad of een scheur in een enkele losse baksteen. Bij 97 % van de schades zijn de oorzaken achterhaald door middel van falsificatie en verificatie van mogelijke oorzaken zoals beschreven door Borsje & Richemont [4]. In minder dan 1 % van de gevallen was onvoldoende beeldmateriaal beschikbaar ten tijde van de publicatie van dit onderzoek. Aanvullende onderzoeken, die in uitvoering zijn, zullen naar verwachting nader uitsluitsel geven over de oorzaak van deze schades.

Uit het onderzoek volgt dat één of meer schades bij:

- 1.960 gebouwen veroorzaakt zijn door vervormingen;
- 1.831 gebouwen veroorzaakt zijn door belastingen;
- 1.651 gebouwen veroorzaakt zijn door ongelijkmatige zetting van de ondergrond.

Bij meer dan de helft van de schades is de oorzaak enkelvoudig, in de overige gevallen is er meer dan één mogelijke schadeoorzaak vastgesteld. Er is geen weging aangebracht in de verschillende oorzaken. Deze resultaten gelden voor het totaal van de onderzochte gebouwen in het gebied. Specifiek per gebouw is in een individueel rapport voor de eigenaar per schade aangegeven wat de mogelijke oorzaak is of oorzaken van de schades zijn. In bijlage II hoofdstuk 3 zijn de meest voorkomende schadebeelden met de bijbehorende oorzaak weergegeven.

De onderzoeksresultaten zijn gebaseerd op fysieke waarnemingen gedaan tijdens de inspecties, waarbij de informatie systematisch is verzameld en vastgelegd. De waarnemingen en informatie zijn gedeeld en besproken met de eigenaar. In 510 gevallen heeft de eigenaar gebruik gemaakt van de gelegenheid om relevante ontbrekende informatie toe te voegen en mogelijke onjuistheden te laten corrigeren. In een beperkt aantal gevallen heeft er een nieuw bezoek aan het adres plaatsgevonden. Daarnaast is aanvullend omgevingsinformatie verzameld uit publieke bronnen over onder andere ondergrond en grondwater. De schades zijn vervolgens beoordeeld door het verband te leggen tussen het complete beeld van het gebouw, bijbehorende waargenomen schadebeelden en de mogelijke schadeoorzaken. De beoordeling is uitgevoerd door het Panel van deskundigen ondersteund door een multidisciplinair team van experts. De inspectie en beoordeling zijn losgekoppeld om voor beiden een hogere mate van herleidbaarheid, specialisatie en daardoor kwaliteit te kunnen bereiken. Om deze reden is extra aandacht gegeven aan de informatieoverdracht door middel van het systematische verzamelen en vastleggen van de gegevens en een hoge kwaliteit van het beeldmateriaal dat gebruikt is bij het uitvoeren van de beoordeling en de toets.

Bij de mogelijke schadeoorzaak 'overbelasting door trillingen ten gevolge van aardbevingen' is specifiek bij lage trillingsintensiteiten en lichte schade zoals in het buitengebied veel voorkomt een beoordeling op basis van het fysiek waargenomen schadebeeld niet mogelijk. Zoals Martens [9] beschrijft is het verband tussen scheurvorming in metselwerk en trillingen door aardbevingen een blinde vlek in diagnostiek met betrekking tot de Nederlandse bouwwijzen.

Daarom is de trillingsbelasting berekend met een GMPE/GMM, die direct een piekgrondsnelheid (PGV) als uitkomst geeft, en getoetst aan de grenswaarde uit de SBR richtlijn voor schade aan gebouwen door trillingen [13]. Er is in dit onderzoek gebruik gemaakt van twee verschillende modellen die beiden direct een piekgrondsnelheid (PGV) als uitkomst geven. Zowel GMPE V0 is gebruikt omdat deze reeds gepubliceerd is, als GMM V4 omdat dit de laatste stand van de techniek is en deze volgens de opstellers (Bommer, Deltares, KNMI, TNO en de NAM) een verbetering is ten opzichte van V0. GMM V4 is reeds wetenschappelijk getoetst door een onafhankelijk expertteam maar is nog niet gepubliceerd. De GMM V4 is toegepast als toetscriterium op de mate van conservatisme van het gehanteerde GMPE V0-model.

De PGV is omgerekend naar de piektrillingsnelheid (VTOP) voor vergelijking met de grenswaarde uit de SBR. Op basis van de vergelijking van de berekende VTOP met zowel GMPE V0 als V4 aan de grenswaarde uit de SBR is de kans op schade, aanvaardbaar klein, conform deze richtlijn, omdat deze onder de grenswaarde ligt. Op basis van de GMPE V0 ligt 97 % van de gebouwen hierbij minimaal een factor 2 van de grenswaarde af. Indien er geen wijzigingen optreden in de GMM V4 geldt dit zelfs voor alle gebouwen.

In het kader van zorgvuldigheid is toetsing van de resultaten noodzakelijk. Deze toetsing bestaat uit reguliere kwaliteitstoetsingen door reviews tijdens de afzonderlijke stappen, aanvullende onderzoeken op locatie en controle (via combinatie, deductie en eliminatie) op de gegevens die verzameld zijn tijdens de inspecties en uit zowel de publieke bronnen als de beoordeling.

De toets op verificatie heeft aanvullend indirect bewijs geleverd voor de meest voorkomende schadeoorzaken. Een voorbeeld hiervan is dat uit aanvullend grondonderzoek op locatie bleek dat op de locaties waar zettingsgevoelige grond verwacht werd, op basis van het ondergrondmodel deze grond ook is aangetroffen. Het aanvullende grondonderzoek leidde niet tot verandering van de beoordeling. Een ander voorbeeld is dat op basis van verandering in bouwwijze werd verwacht dat krimpscheuren tussen twee bouwelementen zich meer voor zal doen bij relatief nieuwe gebouwen, omdat steeds grotere en krimpgevoeligere elementen worden toegepast in de bouw. Een analyse op de verzamelde gegevens in dit onderzoek toonde deze relatie ook.

Op basis van de uitkomst van vergelijking van de berekende VTOP waarden aan de SBR grenswaarde is de verwachting dat er geen verband waar te nemen is tussen de schades en trillingen ten gevolge van aardbevingen in het buitengebied. Met de toets op falsificatie is onafhankelijk van het gebruikte model gekeken of er op basis van de verzamelde gegevens inderdaad geen aantoonbaar verband is. De analyses met de verzamelde gegevens tonen ook aan dat er geen verband waarneembaar tussen de schades en trillingen ten gevolge van aardbevingen in het buitengebied en geven daarmee geen aanleiding om de uitkomsten van het model anders te interpreteren.

De beoordeling is gebaseerd op de waargenomen schadebeelden, de vergelijking van de berekende trillingssnelheid met de grenswaarde uit de SBR en ondersteund door de toetsing daarvan. Alhoewel voor een klein aantal individuele schades beïnvloeding door mijnbouwactiviteiten niet met zekerheid is uit te sluiten, is op basis van de beoordeling op gebiedsniveau en gebouwniveau schade veroorzaakt door mijnbouwactiviteiten niet geconstateerd. Besloten in het gebruik van de grenswaarde uit de SBR is dat beïnvloeding voor een klein aantal individuele schades in het hele onderzoek niet met zekerheid is uit te sluiten.

4.2 Aanbevelingen

Het onderzoek naar de oorzaken van de schade aan gebouwen in het buitengebied is uitgevoerd met in acht name van een aantal specifieke randvoorwaarden, zoals vermeld in hoofdstuk 1. Dit heeft geleid tot een Presumable Cause Analysis (PCA) als onderzoeksmethode. Na afloop van het onderzoek kunnen, op basis van de opgedane ervaringen voor dit toepassingsgebied, de volgende aanbevelingen worden gedaan met betrekking tot het uitgevoerde onderzoek;

- onderzoek gebouwen in gebieden waar trillingen veroorzaakt door aardbevingen niet meer voelbaar zijn, om meer waarde te kunnen geven aan het beperkte aantal schades in het onderzoek, waarvan niet met zekerheid is uit te sluiten dat deze beïnvloed zijn door aardbevingen;
- monitor periodiek en systematisch schades aan een groep gebouwen om bij mogelijke toekomstige geïnduceerde aardbevingen duidelijk andere patronen en trends te kunnen herkennen bij individuele schades;
- gebruik de analyses die hier zijn gebruikt voor een toets om, in gebieden waar, op basis van de vergelijking van de berekende VTOP met de SBR richtlijn, schade aan gebouwen door trillingen door aardbevingen verwacht kan worden, verbanden tussen deze trillingen en schade te verifiëren;
- bepaal hoe invulling gegeven dient te worden aan de hiervoor genoemde onderzoeken. Dit dient bij voorkeur te gebeuren samen met de TU Delft en TNO die andere onderzoeken uitvoeren aan gebouwen aan de rand van het aardbevingsgebied naar trillingen ten gevolge van aardbevingen en oorzaken van schades;
- verzamel aanvullende informatie uit bouwdoSSIERS over met name de funderingswijze van een gebouw of clusters van gebouwen om daarmee het aantal mogelijke schadeoorzaken dat per schade over blijft verder terug te kunnen brengen;
- voer geen verdiepend technisch onderzoek op locatie zoals een RCA uit omdat een dergelijk onderzoek naar onze verwachting niet zal leiden tot een kwantitatieve verandering van het kleine aantal schades en het identificeren van de individuele schades, dat mogelijk beïnvloed is door aardbevingen. Tevens wordt verwacht dat een RCA geen ander beeld zal geven met betrekking tot de voorkomende schadeoorzaken;
- onderzoek de mogelijkheden voor verdere automatisering en digitalisering van het proces om de effectiviteit en efficiëntie van het uitgevoerde onderzoek nog verder te verbeteren. Onderzoek ook de mogelijkheden om het proces voor de bewoner nog transparanter te maken.

In de bijlagen I, II en III zijn voor het verzamelen van informatie, beoordelen van schade en de toets aanvullende specialistische aanbevelingen gedaan.

Daarnaast worden de volgende algemene aanbevelingen worden gedaan:

- voer aanvullend onderzoek uit naar schades aan gebouwen in zowel niet-aardbevingsgebied als aardbevingsgebied (en op schudtafels onder laboratorium omstandigheden) om de bestaande schadebeelden te verfijnen en aan te vullen met de tot nu nog ontbrekende schadebeelden en de schade aard en omvang mee te kunnen vergelijken. Wanneer deze kennis ontwikkeld is kunnen ook meer schadeoorzaken getoetst worden;
- blijf de methodiek aanpassen op basis van toekomstige ontwikkelingen in de GMPE modellen om de mate van zekerheid over het al dan niet optreden van schade door trillingen uit aardbevingen met een voldoende en breed gedragen mate van nauwkeurigheid vast te kunnen stellen om daarmee de inspanning van de toets in de toekomst te beperken;

- stel instrumentele intensiteitskaarten op bij toekomstige aardbevingen om de beleving van de bewoners beter vast te leggen en relatie tussen het voelen van een beving en het melden van schade als gevolg van de aardbeving beter te begrijpen;
- het aanbrengen van een weging in de mogelijke schadeoorzaken kan in het kader van herstel nuttig zijn. Speciale aandacht zou dan uit dienen te gaan naar het uitvoeren van aanvullend onderzoek naar het wegen van verschillende schadeoorzaken bij schades die gekwalificeerd worden als 'zeer lichte' en 'lichte' schade omdat voor dergelijke schades de praktisch haalbare meetnauwkeurigheid van de aandrijvende mechanismen grote invloed heeft op het onderscheidende vermogen.

5

REFERENTIES

- [1] Nationaal Coördinator Groningen. (2016, augustus 18). *TU Delft: Omvang steekproef te klein om aardbevingen als oorzaak schade uit te sluiten*. Opgehaald van Nationaal Coördinator Groningen: <https://www.nationaalcoördinatorgroningen.nl/actueel/nieuws/2016/augustus/18/validatie-onderzoek-contouren>.
- [2] Rots, J.G., Blaauwendraad, J., Hölscher, P., & Van Staalduinen, P.C. (2016). *Validatieonderzoek rapporten Arcadis 'Schade buiten de Contour' - Fase 1*. Delft: TU Delft.
- [3] Kamp, H.G.J. (2016, augustus 18). Validatie onderzoek Arcadis 'schademeldingen buiten de contour'. Ministerie van Economische Zaken.
- [4] Borsje, H., & Richemont, S. (2011). *Methodiek voor onderzoek naar de oorzaak van gebouwschade – versie 2*. Delft: TNO.
- [5] Kennis Centrum Aanpak Funderingsproblematiek (KCAF). (2012). *Bomen zijn soms een gevaar voor de fundering en riolering*.
- [6] Building Research Establishment (BRE). (1995). *Assessment of damage in low-rise buildings*. BRE digest 251.
- [7] Victorian Building Commission (2007). *Guide to standards and tolerances*. Melbourne.
- [8] TBA (2009). *Manual 7 Design Clay Masonry for Serviceability*.
- [9] Martens, D.R.W. (2016). *Scheurvorming bij metselwerk (1) Zijn scheuren zorgwekkend?*. Cement. (4) 2016. pp. 38-41.
- [10] Dost, B., Caccavale, M., Eck, T. van, en Kraaijpoel, D. (2013). Report on the expected PGV and PGA values for induced earthquakes in the Groningen Area (Version 0). KNMI, December 2013. KNMI Report.
- [11] Beyer, K. and Bommer, J.J. (2006). Relationships between Median Values and Aleatory Variabilities for Different Definitions of the Horizontal Component of Motion. Bull. Seismol. Soc. Am., 96(4). pp. 1512-1522.
- [12] Julian J Bommer, et al. (2017). *Summary of Groningen V4 Ground-Motion Model*. Unpublished report.
- [13] Waarts, P.H. (TNO Bouw) en Ostendorf, C.J. (Cauberg-Huygen) (2006). *Schade aan gebouwen, Deel A uit de Meet- en beoordelingsrichtlijn: Trillingen*. CUR-SBR.
- [11] Bommer, J. J., B. Dost, B. Edwards, P.J. Stafford, J. van Elk, D. Doornhof and M. Ntinalexis (2016). Developing an Application-Specific Ground-Motion Model for Induced Seismicity, Bull. Seismol. Soc. Am., 106(1).

[12] Julian J Bommer, Peter J Stafford, Benjamin Edwards, Bernard Dost and Michail Ntinalexis (2015). Development of GMPEs for Response Spectral Accelerations and for Strong-Motion Durations (Version 1). Eds: Jan van Elk en Dirk Doornhof (NAM). 21 June 2015.

[16] I.A.E. de Vent. (2011). *'Prototype of a diagnostic decision support tool for structural damage in masonry'*.

[17] NEN (2015), Nederlandse praktijkrichtlijn NPR 9998, Beoordeling van de constructieve veiligheid van een gebouw bij nieuwbouw, verbouw en afkeuren. Grondslagen voor aardbevingsbelastingen: geïnduceerde aardbevingen.

[18] NAM (2015). Bodemdaling door gaswinning. NAM-velden in Groningen, Friesland en het noorden van Drenthe. EP201511213444.

[19] NEDMAG industries (2014). Contourkaart bodemdaling 1993-2014 (in mm.) Contourkaarten 2014. 14 augustus 2014.

[20] H. Kratzsch. (1983). Mining Subsidence Engineering.

