

Rapport

Validatieonderzoek rapporten Arcadis ‘Schade buiten de Contour’ - Fase 1

Faculty of Civil Engineering and Geosciences

Structural Mechanics Section

Report number: CM-2016-18

Authors:

Prof.Dr.Ir. J.G. Rots

Prof.Dr.Ir. J. Blaauwendraad

Dr.Ir. P. Hölscher

Ir. P.C. van Staalduinen

Date:

14 July 2016

Inhoudsopgave

1. Samenvatting	3
2. Het validatieonderzoek	6
2.1 Hoofdvraag	6
2.2 Scope van het validatieonderzoek	6
2.3 Doelen van het validatieonderzoek.....	7
2.4 Fasering van het onderzoek	8
2.5 Samenstelling van het validatieteam	8
3. Beschrijving van de aanpak van het validatieonderzoek Fase 1	10
4. Het vaststellen van de hoofdoorzaak van schade aan de hand van schadebeelden	12
4.1 De methodologie met betrekking tot de schadebeelden	12
4.2 Oordeel over toepassing methodologie ‘schadebeelden’ in algemene zin	13
4.3 Kritische kanttekeningen bij onderdelen van de methodologie	14
4.4 Tussenconclusie van het validatieteam met betrekking tot de schadebeelden	15
5. De invloed van overbelasting door trillingen als gevolg van bevingen	16
5.1 De methodologie met betrekking tot de beoordeling van sensordata.....	16
5.2 Oordeel over toepassing methodologie ‘beoordeling sensordata’ in algemene zin	17
5.3 Kritische kanttekeningen bij onderdelen van de methodologie	18
5.4 Tussenconclusie van het validatieteam met betrekking tot de beoordeling van sensordata	20
6. De invloed van bodemdaling en peilaanpassing als gevolg van gaswinning	22
6.1 De methodologie met betrekking tot de beoordeling bodemdaling en peilaanpassing	22
6.2 Oordeel over toepassing methodologie ‘bodemdaling en peilaanpassing’ in algemene zin.....	24
6.3 Kritische kanttekeningen bij onderdelen van de methodologie	24
6.4 Tussenconclusie van het validatieteam met betrekking tot bodemdaling en peilaanpassing....	24
7. De steekproefgrootte bij het onderzoek	25
8. Conclusies volgend uit het Arcadisonderzoek	28
9. Conclusies van het validatieteam	31
Referenties	34
Bijlage - Onderzoekverantwoording	35

1. Samenvatting

Aanleiding

Het Centrum voor Veilig Wonen hanteert in opdracht van NAM een grenscontour voor de beslissing of op basis van een melding van bevingsschade door een bewoner/eigenaar wel of niet tot een technische inspectie en verdere behandeling wordt overgegaan. Arcadis heeft in opdracht van NAM onderzoek verricht naar de juistheid van genoemde beslissing op basis van de contour. Arcadis heeft het doel van het onderzoek omschreven als “vast te stellen of de in het onderzoeksgebied voorkomende schades aan gebouwen en woningen te taxeren zijn als aardbeving-gerelateerde schade, of dat andere factoren van invloed zijn geweest op het ontstaan van deze schades”. Arcadis onderscheidt in zijn onderzoek elf deelgebieden direct buiten deze contour. Voor elk deelgebied heeft Arcadis een afzonderlijke conclusie getrokken. Arcadis heeft geen overkoepelende conclusies geformuleerd. Enkele belangrijke bevindingen van Arcadis zijn:

- Op basis van de inspecties blijkt dat geen enkel onderzocht pand een schadebeeld heeft waarvoor als hoofdoorzaak trillingen door aardbeving geldt.
- Op basis van de gemeten trillingsniveaus bij de beschouwde set bevingen mag verwacht worden dat de grenswaarde voor de meest kwetsbare ‘in slechte staat verkerende gebouwen uit metselwerk of in slechte staat verkerende onderdelen van gebouwen’ (categorie C3) voor kortdurende trillingen uit de SBR-richtlijn A ‘Schade door Trillingen’ in de beschouwde gebieden niet of nauwelijks overschreden is. In drie onderzoeksgebieden wordt een geringe overschrijding van grenswaarde C3 gerapporteerd.
- Op basis van de bekende zakkingen en aanpassingen aan de waterstand mag verwacht worden dat de gangbare toelaatbare waarden voor zakkingen in de beschouwde gebieden niet worden overschreden.

Per saldo levert het onderzoek als resultaat dat Arcadis de kans op schade door bevingen als gevolg van gaswinning buiten de contour in alle onderzoeksgebieden verwaarloosbaar klein acht voor minder kwetsbare gebouwen in categorie C1 (in goede staat verkerende panden in hout of beton) en C2 (in goede staat verkerende panden in metselwerk), en nog steeds zeer klein acht voor gebouwen in categorie C3.

Opdracht aan TU Delft

De Nationaal Coördinator Groningen (NCG) heeft de TU Delft opdracht gegeven de geldigheid van de door Arcadis getrokken conclusie te beoordelen, hierna aangeduid als validatie. De eerste fase van de validatie richt zich uitsluitend op de vraag of de door Arcadis gehanteerde methodologie wel of niet standhoudt. In deze eerste fase zijn nadrukkelijk geen afzonderlijke schadegevallen onderzocht.

Conclusies van het TU Delft validatieteam

- Arcadis heeft zijn conclusies gebaseerd op drie verschillende deelonderzoeken, ten eerste een onderzoek naar schadebeelden bij een aantal panden waar schade is gemeld op basis van inspecties ter plaatse, waarbij gebruik is gemaakt van een door TNO eerder ontwikkelde analysemethode, ten tweede een onderzoek naar de trillingswaarden van het sensornetwerk en

een toetsing daarvan aan SBR richtlijn A en ten derde een onderzoek naar peilaanpassingen en wijzigingen van de grondwaterstand.

- De door Arcadis toegepaste methodes zijn adequaat voor het geval, hoewel hier enkele opmerkingen bij geplaatst worden:
 - Arcadis hanteert het begrip *schadebeelden*. Een schadebeeld wordt gevormd door meerdere schades (veelal scheuren) met specifieke kenmerken, die aan één oorzaak worden toegerekend. De door Arcadis gevolgde aanpak om per schadebeeld oorzaken vast te stellen, voor mogelijk te houden of uit te sluiten is objectief, navolgbaar en inzichtelijk. Echter, Arcadis constateert dat toerekenen van de oorzaak van een schadebeeld aan trillingen op basis van uitsluitend visuele kenmerken van het schadebeeld heel moeilijk is. Hiervoor is het onderscheidend vermogen van bouwkundige inspecties bij beoordeling van de invloed van (lichte) trillingen door bevingen niet voldoende. Ter ondersteuning van zijn oordeel heeft Arcadis ook gebruik gemaakt van de beoordeling van de trillingswaarden van het sensornetwerk op basis van de SBR richtlijn A.
 - Het door Arcadis gehanteerde begrip *hoofdoorzaak van een schadebeeld* is in een aantal gevallen een onvoldoende effectief instrument 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.
 - SBR richtlijn A is ruim 20 jaar geleden opgesteld voor de beoordeling van de schadelijke invloed van trillingen op basis van praktijkervaring met trillingen door verkeer en bouwwerkzaamheden. Praktijkervaring met de invloed van aardbevingstrillingen was er toen nauwelijks en is niet in de SBR richtlijn A meegenomen. Sindsdien is er enige ervaring opgedaan die in de richting wijst dat de criteria uit SBR richtlijn A ook voor bevingstrillingen bruikbaar zijn. Voorzichtigheid bij de toepassing van de criteria blijft geboden. De trillingen door gaswinning buiten de contour liggen aan de rand van het toepassingsgebied (frequentiegebied) van SBR richtlijn A. Ook is er in het algemeen nog weinig kennis van de schadelijke invloed van (herhaald) kortdurende lichte trillingen op kwetsbare en reeds beschadigde constructies en op de bodem, bijvoorbeeld in de vorm van differentiële zettingen.
- Het onderzoek van Arcadis naar de oorzaak van schades heeft alleen betrekking op de effecten van reeds opgetreden bevingen. Dit wordt expliciet door Arcadis bevestigd. Over de invloed van eventuele toekomstige sterkere aardbevingen doet het Arcadisonderzoek geen uitspraak. Hierbij moet men zich realiseren dat een toename van magnitude van 0,5 aanleiding geeft tot 2 à 3 keer sterkere trillingen en ook 2 à 3 keer groter spanningen in constructies.
- De gehanteerde aanpak waarbij trillingswaarden van het sensornetwerk worden vergeleken met grenswaarden uit de SBR richtlijn A is een bruikbare methode en moet een indicatie kunnen geven voor de kans op bouwkundige schade aan een individueel bouwkundig object. Het Arcadisonderzoek geeft echter onvoldoende aandacht aan het objectief en kwantificeerbaar in rekening brengen van de volgende onzekerheden: (1) de beperkte set gebruikte aardbevingen, (2) de variatie van de trillingswaarden met de afstand tot het epicentrum als gevolg van de

bodemopbouw en eventuele variaties in bodemopbouw in verschillende richtingen vanuit het epicentrum en (3) de variatie van de trillingswaarden tussen verschillende bouwkundige objecten. De keuze van het criterium uit de SBR richtlijn A voor kortdurende trillingen in plaats van het strengere criterium voor herhaald optredende kortdurende trillingen vinden wij niet juist, gezien het optreden van een groot aantal (kleine) bevingen.

- Als voor een bouwkundig object aan de criteria van SBR richtlijn A wordt voldaan, is volgens de richtlijn sprake van een verwaarloosbare kans op schade aan het desbetreffende object. Die verwaarloosbaar kleine kans ligt in de orde van 1 %. Echter, 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. Dit aspect heeft Arcadis in zijn conclusies niet meegenomen.
- De omvang van de steekproef is klein. De kans dat schade die aan de gaswinning te wijten is door toeval over het hoofd wordt gezien, is daardoor te groot. Vanuit statistisch oogpunt is het aantal beoordeelde panden te klein om de bevindingen met voldoende betrouwbaarheid te veralgemeniseren tot een uitspraak voor alle panden in het volledige beschouwde gebied. Gegeven deze omstandigheid verdient het aanbeveling de aangemelde schades buiten de thans gehanteerde contour individueel te onderzoeken.
- In algemene zin is de conclusie op basis van de Arcadisrapporten, dat de kans op schade aan alle gebouwen in de onderzoeksgebieden buiten de contour voor de tot nu toe opgetreden bevingen verwaarloosbaar klein is, te stellig en onvoldoende onderbouwd.

De opdracht aan het validatieteam van de TU Delft in deze eerste fase is om te beoordelen of de gehanteerde methodologie standhoudt. Het antwoord daarop wordt bepaald door de vraag die men op basis van de Arcadisrapporten wil beantwoorden. Het validatieteam van de TU Delft heeft het werk van Arcadis geïnterpreteerd als antwoord op de vraag of de contour terecht wordt gehanteerd als criterium voor het niet in behandeling nemen van een schadeclaim. Het validatieteam van de TU Delft doet geen uitspraak over het hanteren van een contour als criterium, maar stelt dat het onderzoek van Arcadis geen geschikt uitgangspunt is om het werken met c.q. de ligging van een contour te onderbouwen. Daarvoor houdt de methodologie geen stand.

2. Het validatieonderzoek

2.1 Hoofdvraag

De Nationaal Coördinator Groningen heeft aan de TU Delft opdracht verstrekt om een validatieonderzoek uit te voeren op de resultaten van onderzoek dat is uitgevoerd door Arcadis in elf onderzoeksgebieden in de provincie Groningen.

De hoofdvraag van de validatie betreft het oordeel over de conclusies die Arcadis uit zijn onderzoeken trekt met betrekking tot de waarschijnlijkheid van bouwkundige schade aan de onderzochte panden als gevolg van gaswinning in de elf gebieden.

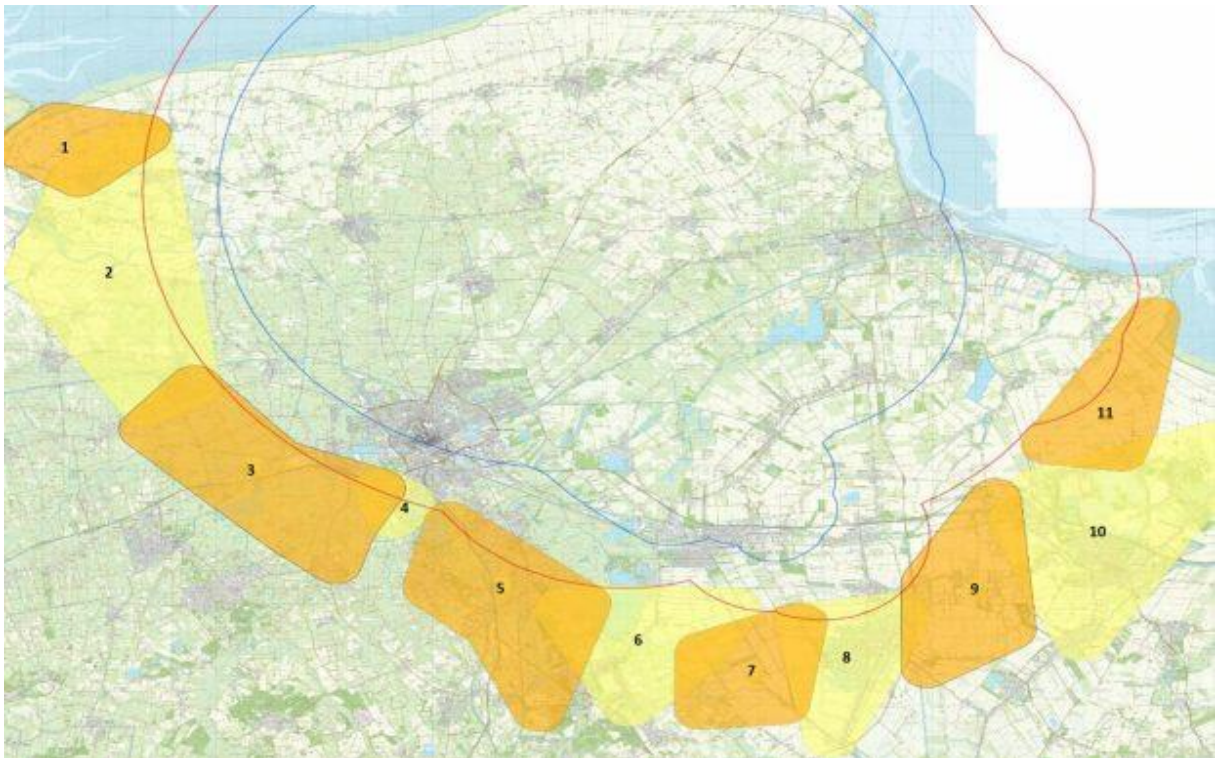
Validatie is in de context van deze studie het controleren van de gehanteerde methode op geldigheid of juistheid, of kort gezegd het toetsen of de methodologie wel of niet stand houdt.

2.2 Scope van het validatieonderzoek

Het validatieonderzoek richt zich specifiek op de voorliggende rapportages van Arcadis van de elf onderzoeksgebieden (zie figuur 1) buiten de door NAM gehanteerde contourlijn, inclusief bijlagen bij deze rapportages, de achterliggende rapporten (schade inspecties) en achterliggende data.

1. Onderzoeksrapport Hornhuizen-Noord (incl. Analyse + Bodem en Water)
2. Onderzoeksrapport Zuidhorn-Hornhuizen
 - a. Aanvullende Analyse Zuidhorn-Hornhuizen
 - b. Addendum Bodem & Water Zuidhorn-Hornhuizen
3. Onderzoeksrapport Leek (incl. Analyse + Bodem en Water)
4. Onderzoeksrapport Groningen-West
 - a. Aanvullende Analyse Groningen-West
 - b. Addendum Bodem & Water Groningen-West
5. Onderzoeksrapport Paterswolde-Glimmen (incl. Analyse + Bodem en Water)
6. Onderzoeksrapport Kropswolde
 - a. Aanvullende Analyse Kropswolde
 - b. Addendum Bodem & Water Kropswolde
7. Onderzoeksrapport Kropswolde-Zuid (incl. Analyse + Bodem en Water)
8. Onderzoeksrapport Veendam
 - a. Aanvullende Analyse Veendam
 - b. Addendum Bodem & Water Veendam
9. Onderzoeksrapport Meeden-Finsterwolde (incl. Analyse + Bodem en Water)
10. Onderzoeksrapport Finsterwolde
 - a. Aanvullende Analyse Finsterwolde
 - b. Addendum Bodem & Water Finsterwolde
11. Onderzoeksrapport Oldambt (incl. Analyse + Bodem en Water)

Figuur 1: Ligging van de elf onderzoeksgebieden



Arcadis heeft in opdracht van NAM geïnventariseerd welke oorzaken ten grondslag liggen aan de gemelde schades in de elf gebieden en heeft bepaald in hoeverre gaswinning bijgedragen heeft aan deze schades.

Arcadis formuleert als doel van zijn onderzoek: het vaststellen of aan gebouwen en woningen in het onderzoeksgebied voorkomende schades te taxeren zijn als aardbevingsgerelateerde schades of dat andere factoren van invloed zijn geweest op het ontstaan van deze schades. Arcadis merkt verder op dat de door dit onderzoek verkregen resultaten en daaruit voortvloeiende kennis vervolgens kan leiden tot een verbeterd inzicht in de reikwijdte van aardbevingsgerelateerde schades en aardbevingstrillingen veroorzaakt door gaswinning.

De elf rapportages van Arcadis geven de uitkomsten weer van de inspecties en andere onderzoeken die in de elf onderzoeksgebieden zijn uitgevoerd op een steekproef van de daar gemelde schadegevallen. Op basis daarvan trekt Arcadis conclusies over de waarschijnlijkheid van bouwkundige schade als gevolg van aardbevingen door de gaswinning.

2.3 Doelen van dit validatieonderzoek

Primair doel van dit validatieonderzoek is het beoordelen en valideren van het door Arcadis uitgevoerde onderzoek met betrekking tot de gekozen methodologie, gehanteerde richtlijnen, feitenanalyse, interpretatie van data etc. met als referentie de huidige stand der techniek en de huidige stand van de wetenschap.

Het validatieonderzoek moet een antwoord geven op de vraag over de juistheid van de conclusies van Arcadis en daarmee over de waarschijnlijkheid van bouwkundige schade aan de onderzochte panden als gevolg van de gaswinning buiten de door NAM gehanteerde contourlijn.

Secundair spelen bij dit validatieonderzoek twee nevenvragen een rol:

1. Hoe verhouden de uitkomsten van het Arcadis-onderzoek zich tot resultaten van andere onderzoeken? Op basis van andere onderzoeken zijn er nabij en buiten de contour erkende schades, dat wil zeggen schades waarvan bij ander onderzoek is vastgesteld dat de oorzaak op de aardbevingen terug te voeren is. In overleg met de NCG wordt dit vraagstuk meegenomen in de tweede fase.
2. Wat is de invloed van de gehanteerde steekproefgrootte op de conclusies, aangezien in een ander Arcadis onderzoek in Langelo [11] een groot deel van de aangemelde schadegevallen is onderzocht terwijl Arcadis in de elf onderzoeksgebieden een aanzienlijk kleinere steekproefgrootte heeft gehanteerd?

Opmerking: Methodologie wordt ook wel *methodenleer* of *methodiek* genoemd. De term stamt van het Griekse *meta* (na), *hodos* (weg), *logos* (leer), en betekent letterlijk "leer van de af te leggen weg". Tegenwoordig heeft het begrip verschillende betekenissen waaronder de analyse van de principes van methodes, regels, theorieën en uitgangspunten gebruikt in een vakdiscipline of de in een onderzoek of ontwikkeling aangewende methoden.

2.4 Fasering van het onderzoek

Dit rapport van het validatieonderzoek betreft de eerste fase van een mogelijk breder onderzoek. Deze eerste fase van de validatie richt zich uitsluitend op de door Arcadis gehanteerde methodologie. Hierbij gaat het om onderzoeksmethodologie, doelstellingen, aanpak van het onderzoek, gehanteerde aannames, veronderstellingen en uitgangspunten, theoretisch en conceptueel kader, gebruikte normen en richtlijnen, etc.

Er zijn qua invulling, afhankelijk van de uitkomsten van Fase 1, twee mogelijkheden van het vervolgtraject:

- a. Houdt de methodologie van Arcadis stand, dan zal de validatie na fase 1 worden voortgezet met een inhoudelijke beoordeling van de door Arcadis gevolgde werkwijzen op het niveau van de individuele schadegevallen die door Arcadis zijn beoordeeld. Het doel blijft om na fase 2a een oordeel te kunnen geven over de door Arcadis getrokken conclusies.

- b. Indien de methodologie geen stand houdt, dan wordt er na fase 1 een breder onderzoek opgestart met als doel om vast te stellen wat de meest waarschijnlijke oorzaak van de schade is. Indien noodzakelijk zal aanvullend veldonderzoek moeten worden gedaan bij de aangemelde schadegevallen. Op basis van dit onderzoek kunnen dan aanbevelingen worden gedaan voor het documenteren en interpreteren van schades binnen of buiten een (al dan niet) vaste contour. Die aanbevelingen zullen bruikbaar moeten zijn als kader en handvat voor een door NCG aangekondigd onderzoek naar de hoge percentages schadegevallen aan de randen van het door de huidige vaste contour omgeven gebied.

Het validatieteam doet in deze rapportage geen aanbevelingen voor de inhoud van het onderzoek in het vervolgtraject.

2.5 Samenstelling van het validatieteam

De wetenschappelijke kwaliteit, *state of the art* kennis over de aardbevingsproblematiek in Noordoost Groningen en borging van de onafhankelijkheid van het validatieteam ten opzichte van de NAM zijn belangrijke voorwaarden voor het uitvoeren van dit onderzoek en voor het samenstellen van het team van deskundigen.

Onder verantwoordelijkheid van Prof.Dr.Ir. J.G. Rots van de TU Delft is voor Fase 1 van het Validatieonderzoek een klein team gevormd met de specifiek benodigde expertises voor deze fase, met onderstaande samenstelling:

- Prof.Dr.Ir. J.G. Rots, voorzitter van het team, hoogleraar constructiemechanica TU Delft
- Prof.Dr.Ir. J. Blaauwendraad, emeritus hoogleraar constructiemechanica TU Delft, voormalig lid TCBB
- Dr.Ir. P. Hölscher, Senior Adviseur Deltares, tevens in deeltijd verbonden aan TU Delft, faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, expertisegebied grond- en bodemdynamica, lid commissie herziening SBR richtlijn A
- Ir. P.C. van Staalduinen, zelfstandig adviseur, voormalig directeur TNO Bouw, expertisegebied dynamica van constructies, medeopsteller eerste uitgave SBR richtlijn A.

Met betrekking tot de onafhankelijkheid van de leden van het validatieteam ten opzichte van de NAM wordt opgemerkt dat geen van de leden in het recente verleden opdrachten voor NAM heeft uitgevoerd verband houdend met de schadeproblematiek aan woningen in het bevingsgebied, met uitzondering van Prof. Rots. Hij is betrokken bij wetenschappelijk onderzoek door TU Delft in opdracht van NAM voor ontwikkeling en validatie van nieuwe rekenmodellen voor metselwerk onder aardbevingsbelastingen, welke modellen dienen als basis voor nieuwe Nederlandse bouwvoorschriften en als basis voor het rekenkundig vaststellen van de weerstand van constructies tegen aardbevingsbelastingen.

3. Beschrijving van de aanpak van het validatieonderzoek

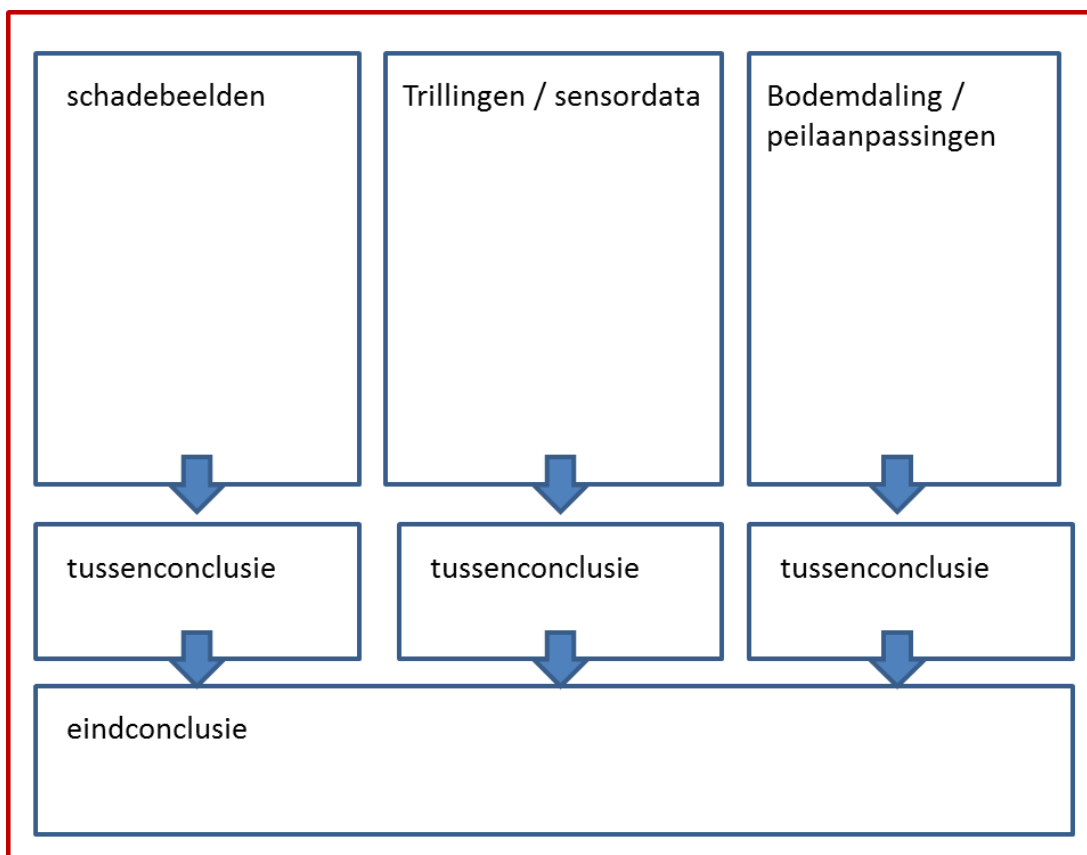
Fase 1

Dit validatieonderzoek wordt uitgevoerd in verschillende stappen. Daarbij is de opzet van de Arcadisrapporten gevolgd, waarbij de beoordeling in drie verschillende onderdelen is opgesplitst:

- Beoordeling van de oorzaak van de schade op basis van schadebeelden
- Nadere beoordeling van de oorzaak ‘trillingen door beving’ op basis van sensordata
- Nadere beoordeling van de invloed van peilaanpassing en bodemdaling.

Arcadis trekt per onderdeel tussenconclusies over de oorzaak van schade en formuleert op basis van de drie verschillende beoordelingen een eindconclusie per onderzoeksgebied. Dit is schematisch weergegeven in onderstaande figuur 2. Arcadis heeft geen overkoepelende conclusies getrokken over de bevindingen uit alle onderzoeksgebieden.

Figuur 2: Schematische methodologische opbouw van de Arcadisrapporten



Schadebeelden

Arcadis heeft gekeken naar de oorzaak van de schade in de onderzoeksgebieden, op basis van de waargenomen schadebeelden en op basis van de informatie over het bouwkundig object en over de omgeving. Dit komt aan de orde in hoofdstuk 4.

In de beoordeling van de schadebeelden komen verschillende mogelijke schadeoorzaken naar voren, waarvan er twee een directe relatie met gasproductie (of gasopslag) kunnen hebben. Dit betreft trillingen door bevingen en de invloed van bodemdaling en aanpassingen van het grondwaterpeil. Arcadis heeft deze twee schadeoorzaken nader onderzocht en hierover een aanvullend oordeel gegeven.

Trillingen door bevingen

De invloed van trillingen door bevingen als gevolg van gasproductie in de elf onderzoeksgebieden is nader beschouwd. In het aanvullend onderzoek van Arcadis zijn registraties van het meetnetwerk gebruikt van recente aardbevingen (periode 2014-2015). Die registraties zijn vergeleken met richtlijnen die een uitspraak doen over het ontstaan van schade aan bouwkundige objecten door trillingen. Dit komt aan de orde in hoofdstuk 5.

Aanpassingen grondwaterpeil en bodemdaling

Op basis van gegevens over de ondiepe bodem, de geohydrologie, de bodemdaling als gevolg van de gaswinning en de peilaanpassingen is gekeken naar de vervormingen aan het aardoppervlak als gevolg van bodemdaling en peilaanpassingen in de elf onderzoeksgebieden. Deze zijn getoetst aan beschikbare criteria. Dit wordt behandeld in hoofdstuk 6.

In hoofdstuk 7 komt de invloed van de steekproefgrootte aan de orde.

In hoofdstuk 8 staan de conclusies centraal die op basis van de Arcadisrapporten kunnen worden getrokken uit de combinatie van de bevindingen uit de drie voorgaande beschouwingen (hoofdstuk 4, 5 en 6). Het validatieteam heeft in hoofdstuk 9 zijn conclusies gegeven.

4. Het vaststellen van de hoofdoorzaak van schade aan de hand van schadebeelden

4.1 De methodologie met betrekking tot de schadebeelden

De methodologie m.b.t. de schadebeelden bestaat uit de volgende onderdelen:

- Er is door Arcadis een selecte steekproef van de gerapporteerde schadegevallen in een onderzoeksgebied genomen. Het selecte karakter van de steekproef ontstaat, doordat Arcadis bewust diversiteit in gebouwtype/typologieën heeft aangehouden bij het selecteren van de schadegevallen voor het onderzoek. Arcadis stelt: 'De steekproef omvat een zo breed mogelijke selectie van gebouwen met variatie in specifieke kenmerken zoals ligging, bouwjaar en bouwaard.'
- De gegevens over de bouwkundige objecten inclusief de fundering en de bodemgesteldheid zijn door Arcadis verzameld en gedocumenteerd. Hierbij is onder meer onderscheid gemaakt in gebouwtype (9 types), ouderdom en bouwperiode, funderingswijze (5 types), indicatie staat van onderhoud en bouwkundige wijzigingen.
- De gegevens over de omgeving en omgevingscondities zijn door Arcadis verzameld en gedocumenteerd. Daarbij zijn de volgende omgevingsfactoren in het onderzoek meegenomen: aardbevingen, verkeer, bouwactiviteiten, industriële activiteiten, omgevingsfactoren vanuit de ondiepe ondergrond (bodempopbouw en grondwaterstand), omgevingsfactoren vanuit de diepe ondergrond, zoals komvormige bodemdaling (helling, kromming, horizontale rek), bomen / wortelgroei nabij het gebouw, calamiteiten. Naast bovengenoemde omgevingsfactoren kan regionale problematiek spelen, zoals aspecten die spelen bij herverkaveling of bijvoorbeeld dijkverhogingen etc. Arcadis meldt dat dergelijke factoren aan de orde komen tijdens het gesprek met eigenaar/bewoner en zijn ingepast in het inventarisatierapport.
- De invloed van de lokale ondergrond is door Arcadis geanalyseerd op basis van: (1) gegevens over grondwaterniveaus (fluctuaties in de grondwaterstand, bijvoorbeeld ontstaan door zowel een algemeen peilbesluit als door lokale effecten op de grondwaterstand, zoals door sterk water onttrekkende vegetatie, door bemaling, infiltratie, drainage, komdaling, grondwaterwinning, etc.), (2) bodempopbouw (kans op ongelijkmatige zetting is door de huidige bodempopbouw op de locatie van het gebouw op basis van beschikbare bodemgegevens) en (3) bomen en wortelgroei in de nabijheid van het gebouw (kans schade aan de fundering en gevelmetselwerk ontstaan of door onttrekking van grondwater plaatselijk ongelijkmatige zetting). De gegevens over de risico's met betrekking tot bodempopbouw en grondwater zijn overgenomen in de inventarisatierapporten van de individuele gebouwen en zijn door Arcadis bij de beoordeling van de schadebeelden betrokken.
- De gegevens over de schade, de schadekenmerken en de schadebeelden in de objecten zijn door Arcadis verzameld en gedocumenteerd. Ter toelichting merken we op dat met *schadekenmerken* zijn bedoeld onder andere de uiterlijke verschijningsvorm en de plaats waar de schade voorkomt.

Het *schadebeeld* wordt gevormd door meerdere schades (veelal scheuren) met specifieke kenmerken welke door een gelijke oorzaak zijn ontstaan.

- De schade is op basis van schadebeelden geïnterpreteerd; er zijn door Arcadis één of meer schadebeelden per object aangetroffen.
- De schadebeelden zijn door Arcadis geïnterpreteerd en beoordeeld op basis van de gegevens over het bouwkundig object én van de gegevens over de omgeving en omgevingscondities. Bij de interpretatie is uitgegaan van een set aan mogelijke schadeoorzaken, die aan de literatuur is ontleend. Hiervoor is aangesloten bij een systematiek die door TNO is ontwikkeld [1]. Ook is aangesloten bij onderzoek van De Vent [2].
- De combinatie van kenmerken van het gebouw, de omgevingskenmerken, de schadekenmerken en de schadebeelden levert de basis voor een diagnose en voor aantal mogelijke hypothesen voor het ontstaan van de schade.
- Er is door Arcadis gebruik gemaakt van negen schadeoorzaken bij de beoordeling van de schadebeelden, gedeeltelijk betrekking hebbend op het bouwkundige object, gedeeltelijk betrekking hebbend op de omgeving, te weten (de nummering stemt overeen met de Arcadis rapporten):
 1. Onvoldoende sterkte van een constructieonderdeel
 2. Verhinderde vervorming
 3. Overbelasting vanuit gebruik/incidentele overbelasting
 4. Overbelasting door trilling door gasopslag/productie
 5. Overbelasting door trilling als gevolg van overige trillingsbronnen
 6. Opgelegde vervorming
 7. Autonome zetting
 8. Veranderde belasting op de ondergrond
 9. Veranderingen in de ondergrond (diep en ondiep)
- Per bouwkundig object en per schadebeeld is door Arcadis een beoordeling gegeven over de schadeoorzaak, in termen van: zekere oorzaak (bevestigend), mogelijke oorzaak (er mee rekening houdend) of geen oorzaak (ontkennend).
- Per schadebeeld is door Arcadis nagegaan welke (hoofd)oorzaak het meest waarschijnlijk is.
- Specifiek voor schadeoorzaak 4 (overbelasting door trilling als gevolg van gasopslag/productie), is nagegaan of er een duidelijke andere hoofdoorzaak is. Arcadis vermeldt hierover in paragraaf 4.2.2: *“Indien naast de ‘mogelijke oorzaak’ van overbelasting trilling (schadeoorzaak 4) tevens een meer zekere ‘oorzaak’ is aangeduid kan er vanuit gegaan worden dat overbelasting door trilling feitelijk niet als oorzaak is aan te merken. Voor deze situaties geldt dus dat de schade op basis van de uiterlijke kenmerken mogelijk veroorzaakt zou kunnen zijn door een trilling, maar dat hier tevens een andere, zekere oorzaak is aan te wijzen, waardoor overbelasting door trilling als gevolg van gasopslag/productie als oorzaak uitgesloten kan worden.”*

4.2 Oordeel over de toepassing van de methodologie ‘schadebeelden’ in algemene zin

Het validatieteam heeft in eerste instantie gekeken naar de mate waarin de methodologie correct en zorgvuldig is uitgevoerd, op basis van meest recente inzichten en stand der techniek/wetenschap.

- Vanuit de methodologie bezien, zijn door Arcadis de juiste en adequate achtergrondgegevens van de bouwkundige objecten verzameld.
- Arcadis heeft bij het opstellen van de inventarisatierapporten gebruikgemaakt van de door TNO ontwikkelde methodiek voor het inventariseren van gebouw- en omgevingskenmerken en het beoordelen van schadebeelden. Deze methodiek is ontwikkeld door TNO in opdracht van Provincie Groningen en Commissie Bodemdaling voor Gaswinning [1]. Deze werkwijze is consequent in alle onderzoeksgebieden gehanteerd.
- Bij de classificatie, interpretatie en beoordeling van schadebeelden is, voor zover wij op methodologische niveau kunnen beoordelen, aangesloten bij de bestaande praktijk en recente inzichten uit de literatuur [2]. Voor het stellen van hypothesen over de oorzaak van de schadebeelden en het stellen van een diagnose is, voor zover wij op methodologisch niveau kunnen beoordelen, uitgegaan van relevante gegevens, bouwkundige inzichten, etc. Deze werkwijze is consequent doorgevoerd in alle deelonderzoeken.
- Voor zover wij op methodologisch niveau kunnen beoordelen, is de beoordeling van de schadebeelden en het stellen van een diagnose over de achterliggende oorzaken bij de onderzochte panden, systematisch, traceerbaar, vakkundig en zorgvuldig uitgevoerd.

4.3 Kritische kanttekeningen bij onderdelen van de methodologie

Het validatieteam heeft specifiek gekeken naar uitgangspunten of omstandigheden, die van invloed kunnen zijn op de conclusies van Arcadis en plaatst in dit verband een aantal kritische kanttekeningen bij de gevolgde methodologie.

- Uit het Arcadisonderzoek wordt de omvang van de totale populatie beschadigde bouwkundige objecten in een onderzoeksgebied niet duidelijk. Bijgevolg is de relatieve omvang van de steekproef per onderzoeksgebied onbekend. Uit informatie op de website van NAM leiden wij af dat het over meer dan 1000 schademeldingen buiten de zgn. contour gaat; in de elf onderzoeksgebieden zijn circa 70 schademeldingen onderzocht. Daarmee is de steekproefgrootte circa 7 %. Alleen al vanuit de omstandigheid dat de variatie in bouwkundige eigenschappen van de populatie objecten ook zeer groot is, kwalificeren we deze relatieve steekproefgrootte als erg klein. In hoofdstuk 7 gaan wij nader in op de steekproefgrootte.
- Arcadis heeft een selecte steekproef uitgevoerd. Echter, de samenstelling van de totale populatie beschadigde bouwkundige objecten in een onderzoeksgebied is niet bekend. Daarmee valt niet volledig te beoordelen of de nagestreefde breedte en variëteit in de steekproef dekkend is voor de schadegevallen in het onderzoeksgebied. Ook is hierdoor onduidelijk hoe de relatieve steekproefgrootte per bouwtype uitvalt.
- Arcadis stelt dat het koppelen van een oorzakelijke relatie van een schadebeeld aan trillingen door beving op basis van uitsluitend visuele kenmerken van het schadebeeld heel moeilijk is. Arcadis merkt daarover in zijn rapporten op: *“Omdat het schadebeeld van bevingschade zich nauwelijks laat onderscheiden van schadebeelden die optreden bij andere oorzaken is het niet mogelijk de beoordeling alleen op het schadebeeld te baseren. Schadebeelden die overeenkomsten hebben met bevingschade komen voor in heel Nederland.”* De methodologie uitsluitend gebaseerd op bouwkundige inspecties is derhalve – volgens Arcadis - niet voldoende

onderscheidend om een uitspraak te doen over de oorzakelijke relatie met trillingen door bevingen. Omdat het instrument van bouwkundige inspecties binnen en buiten de contour intensief wordt benut bij het beoordelen van een oorzakelijke relatie van schade met onder meer bevingen, roept deze uitspraak van Arcadis een vraag op over het onderscheidend vermogen van bouwkundige inspecties bij schade van trillingen door bevingen.

- Wij maken tenslotte een belangrijke kanttekening bij het hanteren van het begrip hoofdoorzaak van een schadebeeld. Indien 'overbelasting door trilling als gevolg van gasproductie' als mogelijke schadeoorzaak is benoemd en als een duidelijke andere hoofdoorzaak wordt gediagnosticeerd, lijkt de mogelijke oorzaak overbelasting door trilling bij het desbetreffende schadebeeld uit de diagnose te vervallen. Het blijft daarmee onduidelijk wat de invloed is van een beving op de ontwikkeling (verergering) van schadebeelden, die primair en hoofdzakelijk een andere oorzaak hebben. Denk aan verergering van schade die is ontstaan onder invloed van zettingen, verhinderde of opgelegde vervormingen etc., ook bij de betrekkelijk lage trillingsterkten die hier aan de orde zijn. Daarmee blijft in de beoordeling onduidelijk of bij schadebeelden die een andere hoofdoorzaak hebben, trillingen als gevolg van gasproductie de schade kunnen hebben verergerd en of deze mogelijkheid van verergering voldoende is beschouwd. Het begrip hoofdoorzaak is in de gebruikte methodologie in een aantal gevallen mogelijk een onvoldoende effectief instrument 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. Hierdoor kan de invloed van bevingen door gaswinning niet volledig worden uitgesloten, ook indien een andere oorzaak als 'hoofdoorzaak' is vastgesteld.

4.4 Tussenconclusie van het validatieteam met betrekking tot de schadebeelden

Op basis van het bovenstaande trekt het validatieteam de volgende tussenconclusie over de methodologie van Arcadis bij het onderdeel 'beoordeling op basis van schadebeelden'.

- Op basis van de methodologie van het beoordelen van schadebeelden kunnen conclusies worden getrokken over *de belangrijkste oorzaken* van schades aan de onderzochte objecten.
- De methodologie lijkt minder geschikt om uitspraken te doen over wat *geen rol* of *een beperkte rol* heeft gespeeld bij het ontstaan van de schade of bij de ontwikkeling van de schade.
- Specifiek in het geval van overbelasting door trillingen als gevolg van gasproductie kan op basis van de beoordeling van schadebeelden in termen van hoofdoorzaken door Arcadis moeilijk worden vastgesteld dat er een oorzakelijke relatie is. Maar ook kan op basis van de schadebeelden niet volledig worden uitgesloten dat er invloed is op reeds aanwezige schade en of dit heeft geleid tot verergering van de schade.
- Gelet op de beperkte steekproefgrootte en de onduidelijkheid over de steekproefgrootte per gebouwtype, is vooralsnog onduidelijk of op basis hiervan met voldoende betrouwbaarheid conclusies kunnen worden getrokken over de hele populatie bouwkundige objecten, waarvoor een schademelding is gedaan.

5. De invloed van overbelasting door trillingen als gevolg van bevingen

5.1 De methodologie met betrekking tot de beoordeling van sensordata

Wanneer in de analyse uit de schadebeelden de oorzaak “overbelasting door trilling als gevolg van gasproductie” als mogelijke oorzaak wordt aangemerkt, heeft dit te maken met de uiterlijke kenmerken van de betreffende schade. Door Arcadis is vanuit het schadebeeld aan het gebouw nagegaan of die schade, gezien de aard van het schadebeeld, ontstaan kan zijn door trilling door aardbevingen. Omdat het schadebeeld van bevingschade zich als regel nauwelijks laat onderscheiden van schadebeelden die optreden bij andere oorzaken is het volgens Arcadis niet mogelijk de beoordeling van schade door trillingen alleen op het schadebeeld te baseren. Ter ondersteuning is een tweede analyse gemaakt om de invloed van trillingen op het bouwkundig object op een andere wijze vast te stellen. Deze analyse is gebaseerd op registratie van sensoren van het KNMI/TNO-meetnet in Groningen. Dit onderdeel van de methodologie bestaat uit de volgende onderdelen:

- Voor de beoordeling op basis van de sensoren van het meetnet wordt uitgegaan van beschikbare gegevens van recente bevingen gemeten in de regio door gebouw- en grondsensoren. De sensoren behoren tot het meetnet van TNO. Deze sensoren zijn pas de laatste paar jaar (vanaf 2013) in groten getale actief. KNMI heeft ook sensoren opgesteld, maar de data hiervan zijn door Arcadis in de beoordeling niet gebruikt. De geregistreerde trillingen zijn uitgedrukt in termen van de trillingsnelheid. Het validatieteam heeft het sensornetwerk niet apart beoordeeld.
- De beoordeling heeft plaatsgevonden op basis van de SBR richtlijn ‘Schade aan gebouwen, meet- en beoordelingsrichtlijn deel A’ [3], hierna genoemd SBR richtlijn A. Op basis van deze richtlijn is door Arcadis aangenomen, dat als de rekenwaarde van de gemeten trillingsterkte lager is dan de grenswaarde, de kans op trillingschade aan het bouwkundig object kleiner is dan 1%.
- De SBR richtlijn A kent drie gebouw categorieën, zoals weergegeven in onderstaand overzicht.

categorie 1 (C1)

- In goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout;
- onderdelen van een bouwwerk die geen deel uitmaken van de draagconstructie (bijvoorbeeld scheidingsconstructies), indien deze bestaan uit gewapend beton of hout;
- draagconstructies van bouwwerken, geen gebouw zijnde, die bestaan uit metselwerk zoals pijlers van viaducten, kademuren en dergelijke.

categorie 2 (C2)

- in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk;
- in goede staat verkerende onderdelen van een gebouw die niet tot de draagconstructie behoren, zoals scheidingsconstructies die bestaan uit niet-gewapend beton, metselwerk of uit brosse steenachtige materialen.

categorie 3 (C3)

- onderdelen van oude en monumentale gebouwen met grote cultuurhistorische waarde;
- in slechte staat verkerende gebouwen uit metselwerk of in slechte staat verkerende onderdelen van gebouwen.

- Arcadis heeft beoordeeld voor de categorie 'kortdurende trillingen' en voor gebouwcategorie 3 'in slecht staat verkerende gebouwen uit metselwerk of in slechte staat verkerende onderdelen van gebouwen'. Bovendien heeft Arcadis beoordeeld op basis van een zogenaamde indicatieve meting. De laagste grenswaarde voor deze gebouwcategorie is 3 mm/s. Voor de indicatieve meting moet een veiligheidsfactor van 1,6 worden gehanteerd. Dit leidt tot een toetscriterium van 1,87 mm/s.
- Op basis van dit criterium is door Arcadis beoordeeld of voor de bouwkundige objecten in het te beoordelen onderzoeksgebied kans op schade bestaat. Dit wordt uitgedrukt in groter (>) of kleiner (<) dan 1%. Kleiner dan 1% wordt in de Arcadisrapporten ook aangeduid als een kans op schade voor het bouwkundig object die *verwaarloosbaar* is. Groter dan 1% wordt in de Arcadisrapporten ook wel benoemd als een kans op schade die *niet uitgesloten* is.
- Voor de onderzochte bouwkundige objecten zelf zijn geen trillingsmetingen beschikbaar. Daarom is uitgegaan van beschikbare trillingsmetingen aan andere objecten in de nabijheid van het onderzoeksgebied. Voor een beperkt aantal geselecteerde relevante bevingen uit de periode 2014-2015 zijn de maximale trillingsnelheden geanalyseerd in relatie tot de afstand tot het epicentrum van die bevingen.
- Arcadis heeft als uitgangspunt voor de beoordeling gehanteerd, dat de trillingsterkte (monotoon) afneemt naarmate de afstand tot het epicentrum groter wordt. In een grafiek is de combinatie van de afstand van alle sensorlocatie tot het epicentrum en de rekenwaarde per sensor weergegeven. In de grafiek is de kortste afstand van het onderzoeksgebied tot het epicentrum van de desbetreffende aardbeving zichtbaar gemaakt. Daarmee kan een indruk worden verkregen van de trillingsterkte ter plaatse van de bouwkundige objecten in het onderzoeksgebied.

5.2 Oordeel over toepassing methodologie 'beoordeling sensordata' in algemene zin

Het validatieteam heeft in eerste instantie gekeken naar de mate waarin de methodologie m.b.t. de sensordata correct en zorgvuldig is uitgevoerd, op basis van meest recente inzichten en stand der techniek/wetenschap.

- Arcadis stelt dat de SBR richtlijn A voor dit onderzoek de meest bruikbare en geaccepteerde richtlijn is. De SBR richtlijn A is ruim 20 jaar geleden opgesteld om een oordeel te kunnen geven over de toelaatbaarheid van trillingen in verband met mogelijke schade aan een bouwwerk, waarbij trillingen door bouwwerkzaamheden of verkeer de praktijkreferentie vormden. Er was op dat moment in Nederland geen of nauwelijks ervaring met de invloed van lichte trillingen door aardbevingen op gebouwen. De grenswaarden uit SBR richtlijn A worden in de Nederlandse praktijk van beoordeling van trillingen door bouwwerkzaamheden of van trillingen door verkeer veelvuldig gebruikt ter toetsing of schade zou kunnen zijn ontstaan of om beheersmaatregelen te treffen om te voorkomen dat schade ontstaat. In de onderhavige situatie is de SBR richtlijn toegepast om te beoordelen of trillingen ten gevolge van bevingen een risico geven op het ontstaan van schade aan gebouwen. De SBR richtlijn A wordt in de Arcadisrapporten buiten het oorspronkelijke praktijkervaringsgebied gebruikt. Echter, al bij eerdere schadekwesities door

bevingen is door andere onderzoekers de SBR richtlijn A gehanteerd, waarbij deze richtlijn voldoende bruikbaar leek.

- De grenzen uit de SBR richtlijn A zijn eerder door TNO [4] vergeleken met trillingsterkten, die zich hebben voorgedaan bij de beving in Huizinge. Daarmee was enig concreet validatiemateriaal voor SBR richtlijn A beschikbaar voor wat betreft deze specifieke trillingen. Ook inzichten bij andere experts wijzen in de richting dat de criteria uit SBR richtlijn A bruikbaar zijn bij de hier voorkomende betrekkelijk lage trillingsterkten [5]. Er zijn in de nationale en internationale literatuur geen voor de hand liggende alternatieve criteria aangetroffen die kwalitatief beter zijn en/of beter aansluiten bij de Nederlandse gebouwde omgeving. Wij zijn daarom van mening dat de SBR richtlijn A – hoewel deze destijds geheel niet voor bevingschade is opgesteld, toch voor de toepassing in deze studie in redelijke mate is gevalideerd. Wel merken wij op dat de geregistreerde trillingen in het gebied buiten de contour zeer lage dominante frequenties bevatten in de orde van 2 à 3 Hz. Voor het hanteren van een schadecriterium bevinden deze laagfrequente trillingen zich aan de rand van het toepassingsgebied van SBR richtlijn A.
- De kans op schade als gevolg van een bepaalde trillingsterkte is in enkele studies [6] [7] [8] [9] verkennend onderzocht voor de specifiek Nederlandse bouwkundige objecten in metselwerk. Die studies wijzen allen in de richting dat de in de SBR richtlijn A gehanteerde grenswaarden passen bij een kans op schade voor een bouwkundige object *in de orde* van 1 % en bevestigen daarmee de criteria uit de SBR richtlijn A.
- Voor zover wij op methodologisch niveau kunnen beoordelen, is de aanvullende beoordeling voor de invloed van de trilling als gevolg van gasproductie, op een consistente, consequente en navolgbare manier uitgevoerd in alle deelrapporten.

5.3 Kritische kanttekeningen bij onderdelen van de methodologie

Het validatieteam heeft specifiek gekeken naar uitgangspunten of omstandigheden, die van invloed kunnen zijn op de conclusies van Arcadis en plaatst in dit verband een aantal kritische kanttekeningen bij de gevolgde methodologie.

- Arcadis heeft voor de toetsing een beperkte set van *maatgevende bevingen* gebruikt. Deze beperkte set bevingen bevat niet alle historische bevingen. Een andere omstandigheid is dat het sensornetwerk nog maar recent een redelijke dekking in de regio heeft voor wat betreft de gebouwsensoren. Daardoor is de set van bevingen beperkt tot de periode 2014-2015. De beving Huizinge uit 2012 ($M = 3,6$) zit niet in de gebruikte data-sets. De gebruikte datasets omvatten magnitudes tot $M = 3,1$; dit scheelt een halve magnitude, waardoor de trillingsterkte en spanningen in bouwconstructies bij $M = 3,6$ circa 2 à 3 keer hoger liggen. Arcadis heeft geen analyse opgenomen over de implicatie die dit zou hebben op de grootte van de sensordata van eerder opgetreden zwaardere bevingen. Onzeker en onduidelijk is daardoor of zwaardere trillingsterkten historisch kunnen zijn voorgekomen bij de onderzochte bouwkundige objecten. Hiermee is onvoldoende duidelijk of de sensordata van de gebruikte bevingen daadwerkelijk als maatgevend kunnen worden beschouwd, maatgevend in de zin dat zij de meest ongunstige omstandigheid kunnen representeren.

- Wij hebben Arcadis hierover om een reactie gevraagd. Arcadis stelt de gehanteerde set bevingen als maatgevend te beschouwen, omdat de hoogste trillingsterkten als functie van de afstand redelijk blijken te passen bij de contour van Bommer. De contour van Bommer houdt rekening met de statistiek van alle opgetreden en mogelijk nog op te treden bevingen, met de meest ongunstige bodemomstandigheden en met de kans op schade in gebouwen. Hiermee wordt via een omweg de contour van Bommer in de onderbouwing van de sensordata geïntroduceerd en ontstaat een cirkelredenering.
- Voor de gekozen bevingen zijn de trillingsnelheden bepaald ter plaatse van alle op dat moment in Groningen actieve sensorlocaties. Daarnaast zijn de afstanden opgenomen tussen de locaties van de epicentra van de bevingen enerzijds en anderzijds de locaties waarin de sensoren zich bevinden. De sensoren bevinden zich in alle gevallen niet aan de onderzochte schadeobjecten maar aan andere bouwkundige objecten. Daarmee ontstaat een extra onzekerheid met betrekking tot een mogelijke variatie in het trillingsgedrag van de onderzochte bouwkundige objecten ten opzichte van de objecten waarop de sensoren zijn aangebracht. Deze aanvullende onzekerheid kan er toe leiden dat de respons van de bouwkundige objecten in het onderzoeksgebied groter of kleiner kan zijn geweest dan geregistreerd is door de sensoren op andere gebouwen.
- Uit de sensordata blijkt dat de trillingsterkte niet altijd (monotoon) afneemt naarmate de afstand tot het epicentrum groter wordt. Er is een zekere spreiding rondom een gemiddeld met de afstand afnemende trillingsterkte. Voor zover wij hebben kunnen zien, is die spreiding, en dus de onzekerheid in het monotoon afnemen van de trillingsterkte, door Arcadis niet gekwantificeerd en is daarmee geen rekening gehouden.
- Het door Arcadis gehanteerde uitgangspunt dat trillingsterkten als gevolg van aardbevingen, gemeten aan het oppervlak aan bouwkundige objecten monotoon afnemen met de afstand is blijkens de sensordata niet correct. Met andere woorden: op grotere afstand tot het epicentrum kan toch een grotere trillingsterkte voorkomen (bijvoorbeeld onder invloed van specifieke bodemopbouw en object). De Arcadisrapportage (zie bijlage 1 – bij elk Arcadisrapport) bevestigt dit: *“Uit de meetresultaten blijkt dat er een afname van trillingsterkte over de afgelegde afstand is waar te nemen. Rekenmodellen en sensordata wijzen inmiddels uit dat er door grondopbouw kans is op niet consistente uitwaaiing van de trillingen vanuit het epicentrum. Dit betekent dat het mogelijk is dat de demping/afname van de trillingen zich niet altijd gelijkmatig naar buiten het epicentrum beweegt. De versnelling en snelheid kunnen gemeten in verschillende richtingen vanuit het epicentrum kleiner of groter zijn, terwijl de afstand tot het epicentrum gelijk is. Dit beeld is vooralsnog met de beschikbare sensordata beperkt te verifiëren.”* De extra onzekerheid die dit oplevert, is in de analyse van Arcadis niet meegewogen.
- Zowel voor wat betreft de spreiding in de respons van bouwwerken als het niet altijd monotoon dalend zijn van de trillingsterkten hebben wij Arcadis om een reactie gevraagd. Arcadis heeft aangegeven van mening te zijn door het hanteren van steeds de grootste waarden uit de registraties deze spreiding voldoende te hebben ondervangen. Naar onze mening moet spreiding en onzekerheid in de sensordata kwantitatief worden meegenomen in de analyse. Alleen dan kunnen uitspraken worden gedaan met een zeker statistische betrouwbaarheid.
- De verschillen tussen de TNO-sensordata en de KNMI-sensordata zoals gepresenteerd door Arcadis zijn opvallend groot, groter dan op grond van grond-gebouw-interactie verwacht kan

worden. Hoewel de KNMI data in de analyse niet zijn gebruikt, zijn zij in de diverse grafieken wel vermeld. Door Arcadis is geen kritische analyse aan dit grote verschil gewijd. Arcadis heeft als nadere verklaring gemeld dat de eenheid van de snelheden (cm/s) abusievelijk is gelezen als mm/s en dat bovendien verzuimd is de data met 1,6 te vermenigvuldigen. De KNMI-data zijn daardoor een factor 16 te klein weergegeven in de Arcadisgrafieken. Omdat de KNMI data niet zijn gebruikt om tot een oordeel te komen, heeft dit geen invloed op de conclusies van Arcadis.

- De SBR richtlijn A kwalificeert een kans op schade van minder dan 1 % voor een individueel bouwkundig object, indien aan de grenswaarden uit de richtlijn is voldaan, als ‘verwaarloosbaar klein’. Bij een aardbeving wordt een zeer grote populatie gebouwen tegelijk aan een trilling blootgesteld en is er in een groot gebied een cumulatie van (kleine) schadekansen van individuele objecten. De verwaarloosbare kans op schade aan een individueel bouwkundig object kan in een onderzoeksgebied met een zeer grote populatie bouwkundige objecten sommeren tot een betekenisvolle kans op schade in dat gebied.
- Evenals bij het hanteren van de schadebeelden (zie hoofdstuk 4) blijft bij toepassing van SBR richtlijn A onduidelijk wat de invloed is van een lichte trilling op de ontwikkeling (verergering) van reeds bestaande schadebeelden, die primair en hoofdzakelijk een andere oorzaak hebben. Denk aan verergering van schade door zettingen, door verhinderde of opgelegde vervormingen etc. Dit geldt ook voor de invloed van (herhaald) voorkomende lichte trillingen op de bodem, bijvoorbeeld leidend tot verdichting en tot differentiële zettingen. Over deze aspecten wordt in de wetenschappelijke literatuur nog weinig vermeld. De SBR richtlijn A beschouwt dit aspect mogelijk niet correct voor aardbevingsbelastingen, omdat hiermee op het moment van opstellen geen (praktijk-)ervaring was.
- Voor veel bouwkundige objecten betekenen de bevingen een meer dan eenmaal voorkomende kortdurende verstoring. De SBR richtlijn A biedt grenswaarden voor *herhaald kortdurende trillingen*. Deze grenswaarde liggen een factor 1,5 lager dan de grenswaarden voor eenmalig voorkomende kortdurende trillingen. In de SBR richtlijn A worden onder herhaald kortdurende trillingen die kortdurende trillingen verstaan, die meermalen voorkomen steeds gescheiden door een tijdsinterval waarin een rustsituatie heerst. Dit is bijvoorbeeld van toepassing bij heiwerkzaamheden of regelmatig passerend verkeer. De lagere grenswaarde houdt rekening met mogelijke vermoeiing- of degradatie-effecten en biedt daarmee een extra veiligheid tegen verschijnselen die kunnen optreden als een materiaal herhaaldelijk belast wordt. Gegeven de omstandigheid dat de lichte bevingen als gevolg van gaswinning herhaaldelijk blijken voor te komen, is het validatieteam van mening dat het aspect ‘herhaald kortdurend’ uit de SBR richtlijn A als een veiligheid tegen vermoeiing door herhaald belastingen wèl in rekening gebracht moet worden. In dat geval wordt het criterium is 1,25 mm/s in plaats van 1,87 mm/s.

5.4 Tussenconclusie van het validatieteam met betrekking tot de beoordeling van sensordata

Op basis van het bovenstaande trekt het validatieteam de volgende tussenconclusie over de methodologie van Arcadis bij het onderdeel ‘aanvullende beoordeling op basis van sensordata’.

- Op basis van de toetsing van de sensordata aan de SBR richtlijn A kan zonder aanvullende analyse geen conclusie worden getrokken over de kans op schade in een volledig

onderzoeksgebied (dus een gebied met een groot aantal bouwkundige objecten). De SBR richtlijn A is immers opgesteld voor het beperken van de kans op schade aan een individueel object. De conclusie moet dus in principe beperkt blijven tot een kans op schade aan een afzonderlijk bouwkundig object.

- Hoewel we SBR Richtlijn A een redelijk gevalideerde basis achten voor het toetsen van de schadelijke invloed van trillingen (ook door deze bevingen) aan gebouwen, blijven na toetsing van de sensordata van de gehanteerde set bevingen tegen de criteria van SBR richtlijn A nog te veel onzekerheden over in de aanpak van Arcadis. Dit betreft onzekerheden die onvoldoende onderbouwd in de rapportage van Arcadis zijn verwerkt:
 - Ten eerste, de onzekerheid in de gebruikte dataset bevingen, met betrekking tot in het verleden opgetreden (en eventueel op de locatie van het bouwkundig object) sterker waargenomen bevingen. Met andere woorden: is de gehanteerde set bevingen daadwerkelijk historisch maatgevend?
 - Ten tweede, de onzekerheid met betrekking tot de variatie van de trillingswaarden met de afstand tot het epicentrum als gevolg van de bodemopbouw, die naar onze mening onvoldoende is geborgd met het gehanteerde uitgangspunt van de monotoon afnemende trillingsterkte met de afstand tot het epicentrum
 - Ten derde de variatie in het trillingsgedrag tussen bouwkundige objecten, met name omdat de data zijn gemeten op andere bouwkundige objecten.

Tenslotte vinden wij dat het strengere criterium voor herhaald kortdurende trillingen uit SBR richtlijn A in dit geval gehanteerd moet worden in plaats van het criterium voor kortdurende trillingen, om daarmee vermoeiing- en degradatie-effecten bij herhaalde belasting in rekening te brengen.

Samenvattend, op basis van de beoordeling van sensordata door Arcadis kunnen geen voldoende onderbouwde conclusies worden getrokken over de kans op schade aan een individueel bouwkundig object als gevolg van bevingen in het verleden en evenmin over de kans over schade aan een groot aantal bouwkundige objecten in een onderzoeksgebied.

6. De invloed van bodemdaling en peilaanpassing door gaswinning

6.1 De methodologie met betrekking tot bodemdaling en peilaanpassing

Aanvullend op de beoordeling op basis van schadebeelden en sensordata die is behandeld in de voorgaande twee hoofdstukken, is ook de invloed van bodemdaling door gaswinning in het onderzoek door Arcadis aan de orde gesteld. De door Arcadis gehanteerde methodologie omvat twee aspecten:

1. de ondiepe bodemopbouw en hydrologie die van invloed zijn op de lokale situatie ter plaatse van een bouwkundig object (zie paragraaf 6.1.1),
2. de bodembeweging en peilaanpassingen ten gevolge van activiteiten van de NAM die invloed op een groter schaalniveau hebben (zie paragraaf 6.1.2 en 6.1.3).

6.1.1 Ondiepe bodemopbouw en geohydrologie

- De zettingsgevoeligheid van het bovenste deel van de ondergrond is door Arcadis in kaart gebracht, waarbij als mogelijke oorzaken van zetting zijn onderkend (1) de oxidatie van veen waardoor gelijkmatige of ongelijkmatige daling optreden en (2) de verandering van korrelspanning in de bodem (leidend tot zetting).
- Uitgaande van de onderscheiden hoofdgroepen uit de bodemkaart is door Arcadis een indeling gemaakt gebaseerd op gehalten organische stof (de oxideerbare delen) en de parameters zoals gehanteerd in zettingsberekeningen (primaire en secundaire zettingsconstanten): (1) Veen, gevoelig voor zowel oxidatie als zetting, (2) Klei, niet gevoelig voor oxidatie en potentieel gevoelig voor zetting en (3) Zand, niet gevoelig voor oxidatie beperkt gevoelig voor zetting.
- De bodemopbouw ter plaatse van bebouwing is door Arcadis bepaald op basis van de uitgevoerde sonderingen die uitgevoerd zijn voor de technische uitwerking van de fundering. Deze sonderingen zijn opgenomen in het bouwarchief van de gemeente. Niet van alle woningen en voornamelijk de oudere woningen, zijn sonderingen beschikbaar. Een indicatie van de bodemopbouw is dan verkregen uit andere gegevens, zoals bouwarchief van de gemeente, bodemkaarten 1:50 000 van Stiboka, gegevens van DINO-loket, gegevens van REGIS.
- Grondwaterstanden ter plaatse van bebouwing zijn door Arcadis afgeleid van gegevens uit de omgeving Als gegevensbronnen van grondwater zijn door Arcadis gehanteerd de bodemkaart 1:50 000 van Stiboka en het DINO loket.
- Bij de analyse van grondwaterstanden is door Arcadis van regionaal naar lokaal ingezoomd om een indicatie van de grondwaterstandontwikkeling in de tijd ter plaatse van de bebouwing vast te stellen.
- Er is door Arcadis analyse uitgevoerd van stijghoogten van een aantal geschikte reeksen wat betreft regelmatige stijghoogteopnamen en ook metingen tot heden.

- De reeksen zijn beoordeeld op overschrijding van de laagste stijghoogten in het laatste deel van de meetreeks 2010-heden. Een lagere stijghoogte dan historisch is opgetreden kan namelijk tot een toename van korrelspanningen en daarmee zetting leiden.
- Op basis van al dan niet aanwezige stijghoogten die lager is dan historisch heeft Arcadis een conclusie getrokken of een zetting veroorzaakt is door een verlaging van grondwaterstanden zoals gemeten in de peilbuizen.
- Niet alle lokale ingrepen in het grondwatersysteem zijn in grondwaterreeksen waar te nemen. Voorbeelden hiervan zijn bemalingen voor bouwwerkzaamheden en rioolvernieuwing. Arcadis meldt te hebben getoetst of deze lokale situaties zich hebben voorgedaan en waar nodig aanvullende analyses te hebben gedaan.

6.1.2. Bodemdaling

- Vanuit eerdere onderzoeken naar (primaire) bodemdaling door zout- en gaswinning zijn door Arcadis effecten afgeleid die vanuit de diepte door kunnen werken. De vervormingen die aan het bodemoppervlak kunnen ontstaan ten gevolge van komvormige bodemdaling zijn te onderscheiden in (1) helling (2) kromming en (3) horizontale rek.
- Arcadis heeft zich georiënteerd op criteria die in eerder onderzoek door GeoDelft zijn gebruikt voor de maximale vervorming aan een gebouw om schade te voorkomen.
- Voor de analyse van de bodemdaling heeft Arcadis gebruik gemaakt van de rapportage “Bodemdaling door Aardgaswinning, statusrapport 2010 en prognose tot het jaar 2070” (september 2010). Dit rapport is opgesteld door NAM afdelingen Bodembeweging en Geodesie.
- De daling en maximale scheefstand is per onderzoeksgebied door Arcadis vastgesteld en getoetst aan bovenstaande GeoDelft-criteria.
- Met betrekking tot de kromming stelt Arcadis dat het maaiveldverloop over een perceel, gezien de grote afstand tot het centrum van de bodemdaling, als een rechte lijn te benaderen is en niet als kromming. Hierdoor is schade als gevolg van kromming door bodemdaling uitgesloten voor het onderzoeksgebied.
- Met betrekking tot de rek stelt Arcadis dat op grotere afstand van het centrum van de bodemdaling de bodem wordt uiteen gerekt en dicht bij het centrum wordt de bodem ineengedrukt. Rekening houdend met de omstandigheid dat (1) in de diepte geen fysieke horizontale verplaatsing van het reservoir plaats heeft maar een verticale verlaging en (2) dat het onderzoeksgebied aan de rand van het veld gelegen is, is volgens Arcadis de rek verwaarloosbaar.

6.1.3 Peilaanpassingen

- Op basis van gegevens van de waterschappen zoals vastgelegd in digitaal aangemelde peilbesluiten in de gebieden die onderdeel vormen van het onderzoeksgebied zijn de peilaanpassingen door Arcadis nagegaan.
- Gezien de beperkte bodemdaling in de onderzoeksgebieden zijn in de onderzoeksgebieden geen peilaanpassingen aan de orde geweest om de bodemdaling als gevolg van de gaswinning te compenseren.
- Op basis hiervan concludeert Arcadis dat zetting door peilaanpassing niet aan de orde is.

6.2 Oordeel over toepassing methodologie bodemdaling en peilaanpassing in algemene zin

Het validatieteam heeft in eerste instantie gekeken naar de mate waarin de methodologie m.b.t. de aanpassingen van het grondwaterpeil en de invloed van bodemdaling correct en zorgvuldig is uitgevoerd op basis van de meest recente inzichten en stand der techniek/wetenschap.

- Bezien vanuit de methodologie, zijn door Arcadis de juiste en adequate achtergrondgegevens van de bodemopbouw, de geohydrologie en de peilaanpassingen verzameld.
- De werkwijze van Arcadis om de zettingen en de zettingsgevoeligheid te bepalen sluit aan bij de huidige wetenschappelijke inzichten en de vertaling daarvan in de ingenieurspraktijk.
- Arcadis heeft zich georiënteerd op door andere onderzoeksorganisaties opgestelde en breder gehanteerde en geaccepteerde criteria te voorkoming van bouwkundige schade wat betreft de invloed van de bodemdaling van de diepe ondergrond.

6.3 Kritische kanttekeningen bij de gehanteerde methodologie

Het validatieteam heeft specifiek gekeken naar uitgangspunten of omstandigheden, die van invloed kunnen zijn op de conclusies van Arcadis en plaatst in dit verband enkele kanttekeningen bij de gevolgde methodologie.

- Wij hebben van Arcadis begrepen dat gebruik gemaakt is van op internet gepubliceerde peilbesluiten /besluiten tot peilaanpassing. Arcadis heeft in een nadere toelichting gemeld dat er mogelijk ook peilaanpassingen zonder peilbesluit zijn uitgevoerd. Dit betreft dan lokale ingrepen waar mogelijk ook het waterschap niet bij betrokken is of die niet gepubliceerd worden. Omdat Arcadis daarnaast ook lokale grondwaterstandanalyses heeft onderzocht, waarin geen grote afwijkingen zijn aangetroffen, lijkt dit voldoende ondervangen te zijn.
- Hoewel de deformaties door peilaanpassing/bodemdaling ruim binnen de geaccepteerde grenzen liggen, merken wij bij deze invloedfactor op dat de combinatie met andere verstoringen door de gasproductie – zoals bevingen - hier niet worden beschouwd. Dit levert een kleine restonzekerheid op.

6.4 Tussenconclusie van het validatieteam met betrekking tot bodemdaling en peilaanpassingen

Op basis van het bovenstaande trekt het validatieteam de volgende tussenconclusie over de methodologie van Arcadis bij het onderdeel 'aanpassingen grondwaterpeil en invloed bodemdaling'.

- Op basis van deze methodologie en de geciteerde waarden van bodemdaling en peilaanpassing, kan Arcadis een valide conclusie trekken over de invloed op bouwkundige schade van bodemdaling en peilaanpassingen door langzame veranderingen in de diepe ondergrond als gevolg van gaswinning.

7. De steekproefgrootte bij het onderzoek

In het kader van deze validatiestudie heeft het validatieteam zich de vraag gesteld of het oordeel van Arcadis afhankelijk is van of beïnvloed is door de grootte van de steekproef en / of de keuze van de typologie van gebouwen.

Arcadis heeft nadrukkelijk gekozen voor een aantal verschillende typen gebouwen in de onderzoeksgebieden. Bovendien heeft Arcadis gezocht naar voldoende ruimtelijke spreiding van de objecten over het onderzoeksgebied. Daarmee is sprake van een *selecte* steekproef. Dit is op zich geen bezwaar, omdat daarmee expliciet verschillende soorten bouwtypologie in het onderzoek kunnen worden betrokken. Het vraagstuk van de steekproefgrootte verlegt zich daarmee naar het niveau van de verschillende bouwtypen, dus naar de deelverzamelingen van de steekproef.

De steekproefgrootte in de 11 onderzoeksgebieden buiten de contour bedraagt op basis van gegevens van de NAM website circa 7 % van alle schademeldingen. De steekproefgrootte in een ander Arcadisonderzoek (onderzoeksgebied Steenberg/Langelo) [11] bedroeg 35 op circa 80 schademeldingen, dus circa 45 %. Meer informatie over de steekproefgrootte hebben we in de Arcadisrapporten niet aangetroffen, ook niet over het aandeel van de diverse bouwtypen in de schademeldingen en over de steekproefgrootte per bouwtype. Arcadis kon hierover ook geen aanvullende gegevens leveren. Hierdoor kunnen we alleen iets over de steekproefgrootte zeggen op het niveau waarop we over concrete aantallen beschikken, en dat betreft de aantallen over alle elf onderzoeksgebieden.

We introduceren hier het begrip *oorzakelijk schade*. Een oorzakelijke schade is een schade waarvan door onderzoek is vastgesteld dat deze is veroorzaakt door gasproductie.

De bouwkundige schade-inspecties in het Arcadisonderzoek dienen om vast te stellen of de schade is veroorzaakt door de gaswinning. De vraag is nu hoe groot de steekproef minimaal moet zijn, om met een zekere betrouwbaarheid te kunnen concluderen dat er *geen* oorzakelijke schades zijn.

De vereiste grootte van de steekproef hangt af van het aandeel van de oorzakelijke schade in het totaal aantal aangemelde schades. Het probleem is dat dit aandeel op basis van de voorliggende rapporten van Arcadis niet goed te kwantificeren is. Arcadis concludeert dat in de steekproef voor geen van de onderzochte gevallen een oorzakelijk verband kan worden aangetoond. Maar dat wil nog niet zeggen dat in het totaal aantal aangemelde schades geen oorzakelijke schades aanwezig zijn. Dat Arcadis geen oorzakelijke schades aantreft, kan immers ook aan de grootte van de steekproef liggen.

Uit tabel 1 blijkt dat bij in totaal vijf schadebeelden van drie onderzoeksgebieden de beving als mogelijke oorzaak is aangegeven, zonder dat een andere hoofdoorzaak is vastgesteld. Dat betreft in

drie deelgebieden circa 6 % van de schadebeelden. Dit percentage zou een indicatie *kunnen* geven van het aandeel oorzakelijke schade.

Tabel 1 – Kwantitatieve gegevens schadebeelden (N is aantal schadebeelden)

Gebied	Object aantal	Totaal N	aantal objecten met beving als mogelijke oorzaak	N mogelijk door beving veroorzaakt	N waarbij geen andere hoofd oorzaak is gevonden	% schadebeelden waar beving als 'mogelijke oorzaak' resteert
1 Hornhuizen	5	15	0	0	0	0
2 Zuidhorn	8	23	0	0	0	0
3 Leek	10	33	5	7	0	0
4 Groningen West	4	16	4	6	0	0
5 Paterswolde	7	25	3	6	0	0
6 Kropswolde	14	53	5	10	3	6
7 Kropswolde Zuid	6	29	3	6	0	0
8 Veendam	8	32	1	2	0	0
9 Meeden	5	19	2	7	0	0
10 Finsterwolde	6	16	1	1	1	6
11 Oldambt	4	19	3	9	1	5

Als we onze kritische kanttekeningen met betrekking tot de methodologie bij de schadebeelden meewegen en veronderstellen dat bij het vaststellen van een andere hoofdoorzaak dan trillingen de invloed van trillingen toch niet geheel is uit te sluiten, volgt uit de vierde kolom van tabel 1 dat in ten hoogste 27 op de 77 onderzochte schades (dat is 35 %) trillingen een rol zouden kunnen spelen.

Een voorbeeld maakt de invloed van het aandeel oorzakelijke schades op de steekproefgrootte duidelijk.

Stel dat het aandeel oorzakelijke schade slechts 1 % is van het aantal gemelde schades. We hebben 1000 gemelde schades buiten de contour, en in de Arcadis rapporten is daaruit een steekproef van 70 getrokken. Vergelijk dit met een vaas met 1000 ballen, 990 witte en 10 rode (de rode ballen zijn de oorzakelijke schades, zij maken 1 % van het aantal ballen uit). We halen één keer aselect 70 ballen uit de vaas. Elementaire statistiek geeft aan dat de kans dat we in de 70 getrokken ballen in totaal 0 rode ballen aantreffen 49 % is. De kans dat we ten onrechte op basis van het steekproefresultaat veronderstellen dat er geen oorzakelijke schades zijn is bij dit schadeaandeel en bij deze steekproefgrootte dus 49 %.

In de studie naar de gasopslag Langelo [11] is een grotere steekproef van 45 % van de gemelde schadegevallen onderzocht. Veronderstel daar hetzelfde oorzakelijke schadeaandeel van 1 %, dan is daar de kans op nul rode ballen in de trekking nog steeds 63%. Met andere woorden, ook met een grote steekproef is de kans nog groot dat we ten onrechte op basis van het steekproefresultaat veronderstellen dat er geen oorzakelijke schades zijn.

In tabel 2 hebben we het aandeel van oorzakelijke schades in de populatie van aangemelde schades gevarieerd van 1% tot 50%. We hebben in deze tabel aan de hand van een binomiale verdeling voor de gehanteerde steekproefgrootte van 70 de kans bepaald om een oorzakelijke schade *ten onrechte* over het hoofd te zien.

Tabel 2: Kans om geen oorzakelijke schades waar te nemen in de steekproef, afhankelijk van het aandeel oorzakelijke schades, bij een steekproefomvang van 70 op 1000.

aandeel oorzakelijke schades in populatie schademeldingen (1000 meldingen)	Kans op nul oorzakelijke schades bij steekproefgrootte 70
1 %	49 %
2 %	24 %
4 %	5,7 %
5 %	2,7 %
10 %	< 0,1 %
20 %	< 0,1 %
50 %	< 0,1 %

De vereiste steekproefgrootte om *met voldoende betrouwbaarheid* een uitspraak te kunnen doen, hangt samen met een vooraf aanvaarde kleine kans om een oorzakelijke schade in de steekproef over het hoofd te zien, dus niet aan te treffen in de steekproef. Uit tabel 3 blijkt dat de noodzakelijke steekproefgrootte sterk afhankelijk is van het werkelijke aandeel oorzakelijke schades in de populatie schademeldingen.

Tabel 3: Minimale steekproefomvang om met kans van ten hoogste 5 % een oorzakelijke schade niet aan te treffen in de steekproef getrokken uit 1000 stuks.

aandeel oorzakelijke schades in populatie schademeldingen (1000 meldingen)	Minimale steekproefomvang
1 %	300
2 %	149
4 %	73
5 %	59
10 %	29
20 %	14
50 %	5

Het onbekend zijn van het werkelijke aandeel oorzakelijke schades in de totale populatie schademeldingen is cruciaal. Wij zijn daarom van mening dat bij de gehanteerde steekproefgrootte van orde 70 niet met voldoende betrouwbaarheid uitspraken gedaan kunnen worden over de *afwezigheid van een oorzakelijke relatie* in de totale populatie. Ook kan op basis van de steekproef nu niet met voldoende betrouwbaarheid een oordeel worden gegeven over het werkelijke aantal oorzakelijke schades in de totale populatie schademeldingen.

8. Conclusies volgend uit het Arcadisonderzoek

Deelrapporten

De beoordeling op basis van schadebeelden (zie hoofdstuk 4)

In de Arcadisrapporten is het aantal schadebeelden met mogelijke oorzaak ‘overbelasting door trilling als gevolg van gasproductie’ bepaald. Per schadebeeld is bepaald wat de meest waarschijnlijke (hoofd)oorzaak is. In geval van een andere hoofdoorzaak dan ‘overbelasting door trilling als gevolg van gasproductie’, is aan de oorzaak overbelasting door trilling in de verdere analyse geen betekenis meer toegekend. Er resteert dan een zeer beperkt aantal gevallen, waarbij geen enkele (duidelijke) andere hoofdoorzaak is vastgesteld en waarbij overbelasting door trilling als een mogelijke oorzaak mede resteert. Op basis van deze resultaten kan Arcadis bij veel van de onderzochte bouwkundige objecten een oordeel geven dat de overbelasting door trilling als gevolg van gasproductie niet de oorzaak van de schade is.

De beoordeling op basis van sensordata (zie hoofdstuk 5)

Bij de tweede, aanvullende beoordeling is bepaald of in de sensordata op een zekere afstand tot het epicentrum van de geselecteerde bevingen de rekenwaarde van de SBR richtlijn A is overschreden, indien zij op dezelfde afstand tot het epicentrum zouden zijn gelegen. Arcadis heeft het aantal sensoren bepaald waarin het criterium van SBR richtlijn A is overschreden en ook het relatieve aandeel van dit aantal sensoren op het totaal aantal sensoren.

De beoordeling van de invloed van bodemdaling en peilaanpassingen (zie hoofdstuk 6)

Bij de derde aanvullende beoordeling is de invloed van aanpassingen van het grondwaterpeil in combinatie met de lokale ondiepe bodemopbouw in kaart gebracht en is de invloed van bodemdaling (in de diepe ondergrond) bepaald. Nagegaan is wat de effecten van deze afzonderlijke aspecten zouden kunnen zijn op de bouwkundige objecten.

Synthese

Dit leidt – bezien over de elf deelrapporten van Arcadis - tot drie tussenconclusies. Opgemerkt wordt dat Arcadis deze tussenconclusies alleen per onderzoeksgebied heeft geformuleerd en niet voor het totaal van de elf onderzoeksgebieden. Onderstaande formulering is door de validatiecommissie opgesteld, op basis van de tussenconclusies per onderzoeksgebied van Arcadis. Het gaat dus strikt genomen niet over conclusies van Arcadis, maar over conclusies die op basis van de Arcadisrapporten getrokken kunnen worden.

1. Een relatief gering aantal schadebeelden is volgens Arcadis mogelijk nog te relateren aan overbelasting door trilling als gevolg van gasproductie, in zoverre dat geen duidelijke en overtuigende andere oorzaak kan worden aangegeven. In tabel 1 zijn de percentages per onderzoeksgebied weergegeven. In drie van de elf onderzoeksgebieden gaat het over ten hoogste 6 % van de schadebeelden, in de overige acht onderzoeksgebieden is het door

Arcadis vastgestelde percentage 0 %. In ieder geval kan worden geconcludeerd dat op basis van de inspecties geen enkel onderzocht pand een schadebeeld heeft waarvoor als hoofdoorzaak trillingen door aardbeving geldt.

2. In sommige onderzoeksgebieden zijn er geen sensorregistraties die een overschrijding van de rekenwaarde van de SBR richtlijn A vertonen. In enkele onderzoeksgebieden toont een zeer beperkt aantal sensorregistraties een zeer geringe overschrijding van de rekenwaarde in de SBR richtlijn A. Conform de gehanteerde methodologie is de kans op schade aan een bouwkundig object categorie C1 en C2 in alle onderzoeksgebieden verwaarloosbaar klein en in drie deelgebieden voor een bouwkundig categorie C3 niet uit te sluiten. Dit wordt veroorzaakt door één of enkele sensorregistraties die het criterium van SBR richtlijn A in geringe mate overschrijden, op een groot aantal sensorregistraties in het onderzoeksgebied, (maximaal 6 %), zie tabel 4.
3. In alle onderzoeksgebieden is de vervorming aan het aardoppervlak als gevolg van bodemdaling in de diepe ondergrond ruimschoots binnen de criteria die als grenswaarden gelden voor de oorzaak van schade aan gebouwen; bodemdaling sec is daarmee geen oorzaak in alle onderzochte gebieden. Voorts is er, gelet op de geringe bodemdaling in de onderzochte gebieden, geen of slechts zeer beperkte peilaanpassing geweest. Schade aan gebouwen als gevolg van peilaanpassing is daarmee niet aan de orde.

Per saldo levert het onderzoek als resultaat dat Arcadis de kans op schade door bevingen als gevolg van gaswinning buiten de contour in alle onderzoeksgebieden verwaarloosbaar klein acht voor gebouwen in categorie C1 en C2, en nog steeds zeer klein acht voor gebouwen in categorie C3.

Tabel 4 – Kwantitatieve gegevens Sensordata (R is kortste afstand onderzoeksgebied tot epicentrum)

Gebied	Omschrijving van datasets	Totaal aantal sensoren op afstand > R	Aantal sensoren op afstand > R, waarin criterium SBR richtlijn A is overschreden	% sensoren op afstand > R met overschrijding criterium SBR richtlijn A
1	Hornhuizen			
	U	85	0	0
	Z	19	0	0
	G	?	0	0
2	Zuidhorn			
	G	57	0	0
	H	16	0	0
	T	52	0	0
	U	81	0	0
	Z	19	0	0
3	Leek			
	Z	9	0	0
	G	57	3	5
	W	57	0	0
4	Groningen West			
	G	49	3	6
	H	217	0	0
	W	49	1	2
	T	72	0	0
5	Paterswolde			

	G	49	3	6
	T	75	0	0
	W	24	1	4
6	Kropswolde			
	G	97	0	0
	H	92	0	0
	W	183	1	0,5
	K	201	0	0
7	Kropswolde Zuid			
	G	147	0	0
	H	105	0	0
	W	138	1	1
	K	20	0	0
8	Veendam			
	G	147	0	0
	H	93	0	0
	W	138	1	1
	K	200	0	0
9	Meeden			
	G	49	0	0
	H	?	0	0
	W	183	0	0
10	Finsterwolde			
	A1	?	0	0
	A2	?	0	0
	H	49	0	0
	Wi	?	0	0
	W	?	0	0
11	Oldambt			
	Wi	?	0	0
	A1	?	0	0
	A2	?	0	0
	H	?	0	0
	W	?	0	0

Legenda dataset gehanteerde geïnduceerde bevingen

A1	Appingedam1	M = 2,3	25 februari 2015
A2	Appingedam2	M = 2.3	24 maart 2015
G	Gamerwolde	M = 2.8	30 september 2014
K	Kropswolde	M = 1.9	12 februari 2015
H	Hellum	M = 3.1	30 september 2015
T	Thesinge	M = 2.1	7 juli 2015
U	Uithuizen	M = 2,2	27 mei 2015
W	Woudsbloem	M = 2.8	30 december 2014
Wi	Wirdum	M = 2.7	6 januari 2015
Z	Zandweer	M = 2.9	5 november 2014

9. Conclusies van het validatieteam

- Arcadis heeft zijn conclusies gebaseerd op drie verschillende deelonderzoeken, ten eerste een onderzoek naar schadebeelden bij een aantal panden waar schade is gemeld op basis van inspecties ter plaatse, waarbij gebruik is gemaakt van een door TNO eerder ontwikkelde analysemethode, ten tweede een onderzoek naar de trillingswaarden van het sensornetwerk en een toetsing daarvan aan SBR richtlijn A en ten derde een onderzoek naar peilaanpassingen en wijzigingen van de grondwaterstand.
- De door Arcadis toegepaste methodes zijn adequaat voor het geval, hoewel hier enkele opmerkingen bij geplaatst worden:
 - Arcadis hanteert het begrip *schadebeelden*. Een schadebeeld wordt gevormd door meerdere schades (veelal scheuren) met specifieke kenmerken, die aan één oorzaak worden toegerekend. De door Arcadis gevolgde aanpak om per schadebeeld oorzaken vast te stellen, voor mogelijk te houden of uit te sluiten is objectief, navolgbaar en inzichtelijk. Echter, Arcadis constateert dat het toerekenen van de oorzaak van een schadebeeld aan trillingen op basis van uitsluitend visuele kenmerken van het schadebeeld heel moeilijk is. Hiervoor is het onderscheidend vermogen van bouwkundige inspecties bij beoordeling van de invloed van (lichte) trillingen door bevingen niet voldoende. Ter ondersteuning van zijn oordeel heeft Arcadis ook gebruik gemaakt van de beoordeling van de trillingswaarden van het sensornetwerk op basis van de SBR richtlijn A.
 - Het door Arcadis gehanteerde begrip *hoofdoorzaak van een schadebeeld* is in een aantal gevallen een onvoldoende effectief instrument 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.
 - SBR richtlijn A is ruim 20 jaar geleden opgesteld voor de beoordeling van de schadelijke invloed van trillingen op basis van praktijkervaring met trillingen door verkeer en bouwwerkzaamheden. Praktijkervaring met de invloed van aardbevingstrillingen was er toen nauwelijks en is niet in de SBR richtlijn A meegenomen. Sindsdien is er enige ervaring opgedaan die in de richting wijst dat de criteria uit SBR richtlijn A ook voor bevingstrillingen bruikbaar zijn. Voorzichtigheid bij de toepassing van de criteria blijft geboden. De trillingen door gaswinning buiten de contour liggen aan de rand van het toepassingsgebied (frequentiegebied) van SBR richtlijn A. Ook is er in het algemeen nog weinig kennis van de schadelijke invloed van (herhaald) kortdurende lichte trillingen op kwetsbare en reeds beschadigde constructies en op de bodem, bijvoorbeeld in de vorm van differentiële zettingen.
- Het onderzoek van Arcadis naar de oorzaak van schades heeft alleen betrekking op de effecten van reeds opgetreden bevingen. Dit wordt expliciet door Arcadis bevestigd. Over de invloed van

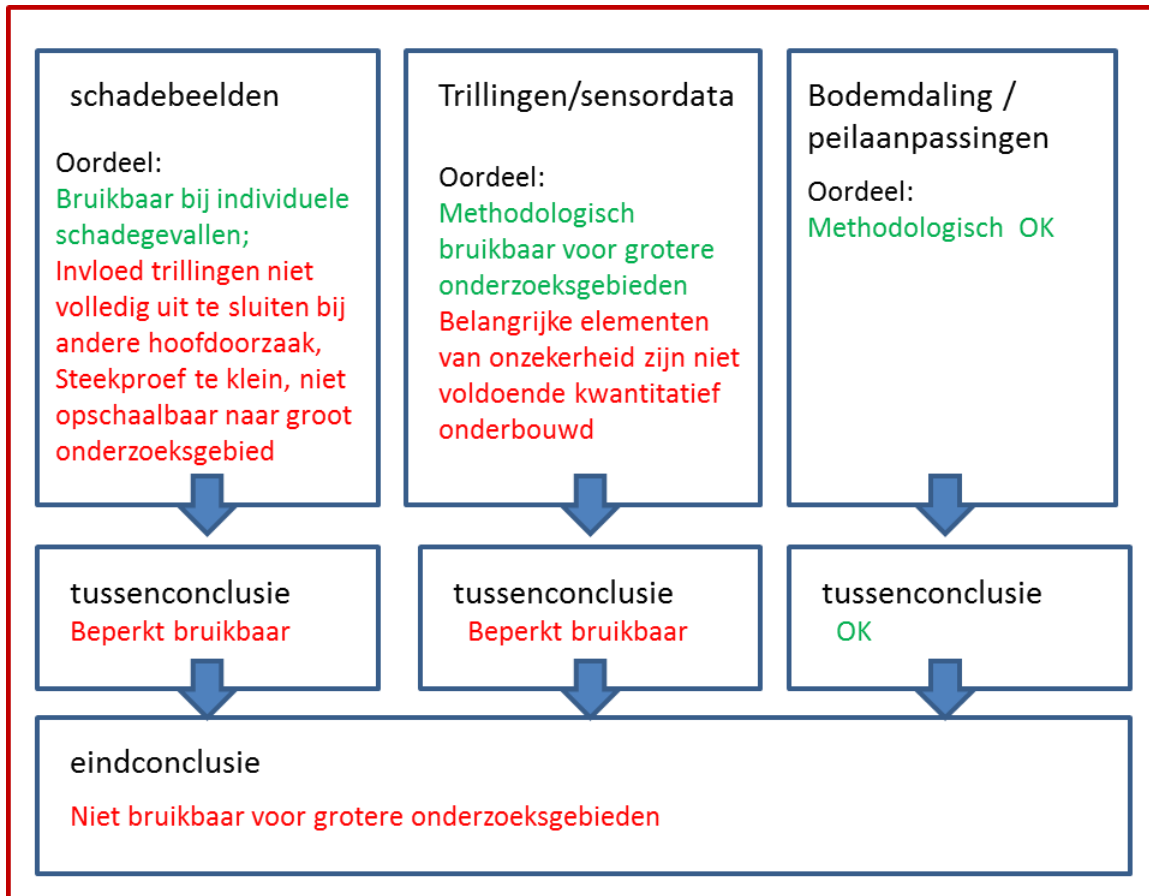
eventuele toekomstige sterkere aardbevingen doet het Arcadisonderzoek geen uitspraak. Hierbij moet men zich realiseren dat een toename van magnitude van 0,5 aanleiding geeft tot 2 à 3 keer sterkere trillingen en ook 2 à 3 keer groter spanningen in constructies.

- De gehanteerde aanpak waarbij trillingswaarden van het sensornetwerk worden vergeleken met grenswaarden uit de SBR richtlijn A is een bruikbare methode en moet een indicatie kunnen geven voor de kans op bouwkundige schade aan een individueel bouwkundig object. Het Arcadisonderzoek geeft echter onvoldoende aandacht aan het objectief en kwantificeerbaar in rekening brengen van de volgende onzekerheden: (1) de beperkte set gebruikte aardbevingen, (2) de variatie van de trillingswaarden met de afstand tot het epicentrum als gevolg van de bodemopbouw en eventuele variaties in bodemopbouw in verschillende richtingen vanuit het epicentrum en (3) de variatie van de trillingswaarden tussen verschillende bouwkundige objecten. De keuze van het criterium uit de SBR richtlijn A voor kortdurende trillingen in plaats van het strengere criterium voor herhaald optredende kortdurende trillingen vinden wij niet juist, gezien het optreden van een groot aantal (kleine) bevingen.
- Als voor een bouwkundig object aan de criteria van SBR richtlijn A wordt voldaan, is volgens de richtlijn sprake van een verwaarloosbare kans op schade aan het desbetreffende object. Die verwaarloosbaar kleine kans ligt in de orde van 1 %. Echter, 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. Dit aspect heeft Arcadis in zijn conclusies niet meegenomen.
- De omvang van de steekproef is klein. De kans dat schade die aan de gaswinning te wijten is door toeval over het hoofd wordt gezien, is daardoor te groot. Vanuit statistisch oogpunt is het aantal beoordeelde panden te klein om de bevindingen met voldoende betrouwbaarheid te veralgemeniseren tot een uitspraak voor alle panden in het volledige beschouwde gebied. Gegeven deze omstandigheid verdient het aanbeveling de aangemelde schades buiten de thans gehanteerde contour individueel te onderzoeken.
- In algemene zin is de conclusie op basis van de Arcadisrapporten, dat de kans op schade aan alle gebouwen in de onderzoeksgebieden buiten de contour voor de tot nu toe opgetreden bevingen verwaarloosbaar klein is, te stellig en onvoldoende onderbouwd.

In figuur 3 is kwalitatief zichtbaar gemaakt welke waarde en welk gewicht wij hechten aan de onderdelen van de methodologie van het Arcadisonderzoek.

De opdracht aan het validatieteam van de TU Delft in deze eerste fase is om te beoordelen of de gehanteerde methodologie standhoudt. Het antwoord daarop wordt bepaald door de vraag die men op basis van de Arcadisrapporten wil beantwoorden. Het validatieteam van de TU Delft heeft het werk van Arcadis geïnterpreteerd als antwoord op de vraag of de contour terecht wordt gehanteerd als criterium voor het niet in behandeling nemen van een schadeclaim. Het validatieteam van de TU Delft doet geen uitspraak over het hanteren van een contour als criterium, maar stelt dat het onderzoek van Arcadis geen geschikt uitgangspunt is om het werken met c.q. de ligging van een contour te onderbouwen. Daarvoor houdt de methodologie geen stand.

Figuur 3: Schematische beoordeling van de methodologie van Arcadis



Referenties

- [1] H. Borsje, S.A.J. de Richemont, Methodiek voor onderzoek naar de oorzaak van gebouwschade - versie 2". TNO rapport TNO-060-DTM-2011-02980 (2011)
- [2] I.A.E de Vent, Prototype of a diagnostic decision support tool for structural damage in masonry, Proefschrift, TU Delft, faculteit Bouwkunde, 2011.
- [3] SBR Meet- en beoordelingsrichtlijn trillingen – deel A, schade door trillingen, revisie 2002, Stichting Bouwresearch, Rotterdam, 2002.
- [4] H. Borsje, J.N. Huibrechtse, Analyse van de gevolgen van de aardbeving te Huizinge d.d. 16 augustus 2012' TNO rapport 2012 R10227, februari 2013
- [5] Prof. Ir. A.C.W.M. Vrouwenvelder, mondelinge communicatie, 10 mei 2015.
- [6] P.C. van Staalduinen, C.P.W. Geurts, De relatie tussen schade aan gebouwen en lichte, ondiepe aardbevingen in Nederland: inventarisatie, TNO rapport 97-CON-R1523-1 (1998)
- [7] P.H. Waarts, Kans op schade aan bouwwerken door trillingen, TNO Rapport 97-CON-R1698, december 1997
- [8] B.B.T. Wassing, B. Dost, Seismisch hazard van geïnduceerde aardbevingen, Integratie van Deelstudies. TNO/KNMI-rapport TNO 2012 R11139 (2012)
- [9] W. Roos, P.H. Waarts en B.B.T. Wassing, Kalibratiestudie schade door aardbevingen, TNO rapport TNO-034-DTM-2009-04435 (2009)
- [10] P.C. van Staalduinen, M.Th.J.H. Smits, Trillingscriteria m.b.t. schade aan gebouwen, TNO rapport B-90-822, opgesteld in opdracht van Stichting Bouwresearch, revisie januari 1993.
- [11] Arcadis rapport 'Hoofdrapport Onderzoeksgebiede Steenberg (gebouwschade in relatie tot NAM activiteiten Langelo)' 30 november 2015.

BIJLAGE – Onderzoekverantwoording

Het onderzoek is uitgevoerd door een validatieteam, dat is samengesteld onder verantwoordelijkheid van de TU Delft. Voor de samenstelling van het validatieteam, zie pagina 9.

NCG heeft naar aanleiding van een eerste vergadering van de (beoogde) begeleidingscommissie van het validatieonderzoek op 14 januari 2016 aan TU Delft verzocht een voorstel voor te bereiden. In het verslag van de vergadering van de begeleidingscommissie waren al een aantal oriënterende vragen opgenomen. Hierop is door TU Delft een startnotitie opgesteld (d.d. 29 januari 2016). Dit voorstel is in een vergadering van de (beoogde) begeleidingscommissie op 15 februari 2016 (telefonisch) toegelicht. Een definitieve versie is afgerond op 14 april 2016. Op basis hiervan is offerte gedaan op 21 april 2016 en van NCG opdracht ontvangen op 9 mei 2016. Het validatieteam is samengesteld in de periode vanaf 15 februari 2015.

Het onderzoek is uitgevoerd als desk study, waarbij gebruik gemaakt is van de rapporten van Arcadis in de elf onderzoeksgebieden en van andere achtergrondinformatie die vrij beschikbaar was, Het TNO-rapport [4] dat was opgesteld in opdracht van NAM, is door NAM aan het validatieteam verstrekt.

Het validatieteam heeft vergaderd op:

- 26 april 2016, startbijeenkomst.
- 10 mei 2016, waarbij op uitnodiging van het team gesproken is met Prof.Ir. A.C.W.M. Vrouwenvelder, voormalig voorzitter van de SBR commissie die SBR richtlijn A heeft opgesteld.
- 19 mei 2016, voortgangsoverleg.
- 31 mei 2016, waarbij op uitnodiging van het team gesproken is met de opstellers van de Arcadis rapporten, tevens eerste telefonisch overleg met de begeleidingscommissie over de aanpak van de validatiestudie en de eerste inzichten die de studie tot dan toe heeft opgeleverd.
- 14 juni 2016, voortgangsoverleg.
- 21 juni 2016, voortgangsoverleg gericht op formuleren eerste voorlopige conclusies.
- 22 juni 2016, overleg met Begeleidingscommissie over de voorlopige resultaten
- 5 juli 2016, bespreking van concept eindrapportage.

Andere belangrijke stappen in het onderzoek:

- 22 juni 2016 - een delegatie van het validatieteam heeft de vergadering van de begeleidingscommissie bijgewoond, waarin eerste voorlopige conclusies zijn besproken.
- 5 juli 2016 – concept samenvatting met integrale conclusies voor commentaar (onder vertrouwelijkheid) gedeeld met Arcadis en hierop commentaar gevraagd.
- 8 juli 2016 – Samenvatting (commentaar Arcadis verwerkt) aan Begeleidingscommissie verzonden
- 11 juli 2016 – oplevering concept rapportage aan NCG
- 14 juli 2016 – oplevering rapportage aan NCG