

## Onderzoek meetinstrumenten stap 3

Verschillenanalyse

IUC201610040909/B73201609290838

projectnummer 414249  
eindconcept revisie 0E  
10 juli 2017

# Onderzoek meetinstrumenten stap 3

## Verschillenanalyse

IUC201610040909/B73201609290838

projectnummer 414249

eindconcept revisie 0E  
10 juli 2017

## Auteurs



Dipl. Geol. Dipl. Geophys. E. Drenth  
Ir. A. Kant  
Drs. A.J. Speelman  
Dr. R. Fritschen (DMT Group)

## Opdrachtgever

Nationaal Coördinator Groningen  
Postbus 20101  
9701 DA Groningen



Nationaal Coördinator Groningen

|                              |  |   |   |
|------------------------------|--|---|---|
| datum vrijgave<br>10-07-2017 | beschrijving revisie 0E<br>eindconcept | goedkeuring<br>A. Kant  | vrijgave<br>A.J. Speelman  |
|------------------------------|--|---|---|

# Inhoudsopgave

Blz.

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Samenvatting</b>                          | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>Inleiding</b>                             | <b>5</b>  |
| 2.1      | Opdracht                                     | 5         |
| 2.2      | Aanleiding                                   | 6         |
| 2.3      | Doel   | 7         |
| 2.4      | Projectgebied                                | 7         |
| 2.5      | Belanghebbenden                              | 8         |
| 2.6      | Beschikbare gegevens vanuit onderzoek fase 2 | 8         |
| <b>3</b> | <b>Algemeen aardbevingen</b>                 | <b>11</b> |
| 3.1      | Bodembewegingen                              | 11        |
| 3.2      | Ondergrond                                   | 12        |
| 3.3      | Emissie                                      | 13        |
| 3.4      | Immissie                                     | 15        |
| 3.5      | Waarom meten?                                | 18        |
| <b>4</b> | <b>Verschillenanalyse</b>                    | <b>20</b> |
| 4.1      | Informatiebehoefte                           | 20        |
| 4.2      | Uitgevoerde interviews                       | 23        |
| <b>5</b> | <b>Beoogd meetnet</b>                        | <b>27</b> |
| 5.1      | Concept                                      | 27        |
| 5.2      | Uitwerking concept                           | 28        |
| 5.3      | Grenswaarde                                  | 30        |
| 5.4      | Vaststelling van effecten                    | 31        |
| 5.5      | Omgaan met onzekerheden                      | 33        |
| <b>6</b> | <b>Ontsluiting meetgegevens</b>              | <b>34</b> |
| 6.1      | Stappenplan                                  | 34        |
| 6.2      | Meetnet                                      | 35        |
| 6.3      | Bundeling van meetgegevens                   | 37        |
| 6.4      | Ontsluiting van meetgegevens                 | 38        |
| 6.5      | Regie over het concept                       | 40        |
| <b>7</b> | <b>Literatuur</b>                            | <b>41</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Glossarium</b>  | <b>43</b> |
| <b>Bijlage 1 - Chronologie monitoringactiviteiten</b>                | <b>45</b> |
| <b>Bijlage 2 - Bodemdaling</b>                                       | <b>47</b> |
| <b>Bijlage 3a - Gespreksverslag interview KNMI</b>                   | <b>50</b> |
| <b>Bijlage 3b - Gespreksverslag interview TNO Bouw en Ondergrond</b> | <b>51</b> |
| <b>Bijlage 3c - Gespreksverslag interview Stabialert</b>             | <b>52</b> |
| <b>Bijlage 3d - Gespreksverslag interview CVW</b>                    | <b>53</b> |
| <b>Bijlage 4 - Specificatie accelerosensoren</b>                     | <b>54</b> |
| <b>Bijlage 5 - Projectrelevante ervaringen in Duitsland</b>          | <b>56</b> |

# 1 Samenvatting

De Nationaal Coördinator Groningen (NCG) heeft per brief van 23 januari 2017 aan Antea Group opdracht verleend voor het onderzoek naar een verschillenanalyse tussen de behoefte aan meetnetten en de huidige meetnetten boven het Groningenveld. Antea Group heeft de opdracht in samenwerking met TNO<sup>1</sup> en DMT Group uitgevoerd.

Aanleiding voor het onderzoek is dat door diverse partijen bij de NCG aandacht is gevraagd voor het meetinstrumentarium gerelateerd aan de gaswinning in het Groningenveld. Het onderzoek moet de vraag beantwoorden of de huidige meetnetten in voldoende informatie opleveren voor wetenschap, overheid, burgers en bedrijven.

Het doel van dit onderzoek is om de verschillen tussen de huidige meetnetten in en boven het Groningenveld en een onafhankelijk meetnet te analyseren en daarbij een aanbeveling te doen of een aanpassing of aanvulling van deze huidige meetnetten wenselijk is.

In het gebied zijn meetnetten geplaatst die hoofdzakelijk bestaan uit accelerosensoren en geofoons. De effecten van breukvorming, geïnduceerde aardbevingen, zijn meetbaar in de ondergrond en aan het oppervlak met accelerosensoren (meeteenheid versnelling:  $\text{mm/s}^2$ ) en/of geofoons (meeteenheid snelheid:  $\text{mm/s}$ ). De accelerosensoren en geofoons zijn verdeeld over twee vlakdekkende meetnetten van het TNO en KNMI. Daarnaast zijn er nog aanbieders die lokaal één of meerdere accelerosensoren, geofoons geïnstalleerd hebben.

Het meetnet van KNMI heeft een nauwkeurigheid van 100 m x 100 m. Het KNMI-meetnet is voldoende nauwkeurig om de hypocentra vast te leggen en kan worden gebruikt voor de berekening van een Ground Motion Prediction Equation (GMPE). Een GMPE is een wiskundige vergelijking. Deze vergelijking beschrijft hoe de diepe en ondiepe ondergrond de energie van een geïnduceerde aardbeving doorlaten en dempen. Een GMPE is de functie van de Magnitude (M) en de Afstand (R) van het epicentrum. Voor het Groningen aardbevingsgebied zijn de afgelopen jaren specifieke GMPE's ontwikkeld door o.a. TNO. Er is een continue ontwikkeling gaande in het vaststellen van de GMPE's. Omdat er elk jaar steeds meer meetgegevens bijkomen en er voortdurend nieuwe inzichten zijn in de fysische mechanismen en oorzaken van de aardbevingen, worden de GMPE's geactualiseerd.

De geïnduceerde aardbevingen veroorzaken bodembewegingen die met trillingssensoren ook in gebouwen of objecten gemeten worden. Het meetnet van TNO registreert de trillingen in gebouwen of objecten. De informatie uit het TNO-meetnet wordt gebruikt om de transfer van bodembewegingen naar de trillingen in een object of gebouw wiskundig te kunnen berekenen (transferfunctie). Deze informatie wordt tevens voor de situaties gebruikt ten behoeve van het beoordelen van gerelateerde schade.

De trillingssensoren van de meetnetten van de overige eigenaren/beheerders staan in gebouwen of objecten opgesteld. De sensoren worden gebruikt om trillingen te meten.

---

<sup>1</sup> De bijdrage van TNO is beperkt gebleven tot de volgende bijdragen: (1) Een tekstuele bijdrage in de algemene beschrijving van aardbevingen en de opbouw van de (ondiepe) ondergrond (hoofdstuk 3, door TNO Geologische Dienst Nederland) en (2) TNO Bouw en Ondergrond als beheerder van het TNO-meetnet met het beantwoorden van vragen (bijlage 3b).

De meetgegevens van de verschillende meetnetten zijn deels publiekelijk toegankelijk.

De meetnetten die in het projectgebied opgesteld staan, zijn voorzien van verschillende typen accelerosensoren. De verschillende typen accelerosensoren, zijn onderling op de parameter noise/ruis vergeleken. Met een eigen berekening is bij 10 Hz de verhouding in ruis ten opzichte van het sensortype van het KNMI berekend. De resultaten zijn in de navolgende tabel weergegeven.

| Meetnet      | Verhouding hogere noise/ruis ten opzichte van sensor KNMI-meetnet |
|--------------|---|
| TNO          | 7   |
| StabiAlert   | $2 \times 10^5$   |
| Omnidots V1* | $8 \times 10^4$   |

\*Inmiddels V2 op de markt met significant betere specificaties.

De verhoudingen hogere noise/ruis ten opzichte van sensor KNMI-meetnet die voor de verschillende type accelerosensoren zijn berekend, verschillen aanzienlijk. De accelerosensoren van de meetnetbeheerders/-eigenaren zijn dus verschillend gevoelig voor ruis. Wat betekent dat voor een meetnet? Dat betekent dat de sensoren van het KNMI-meetnet de geïnduceerde aardbevingen in de buitenomgeving vlakdekkend<sup>2</sup> kunnen meten.

De meetgegevens van de sensoren van het TNO-meetnet zijn in verhouding tot die van het KNMI-meetnet gevoeliger voor ruis. Dat betekent dat de meetgegevens van sensoren van het TNO-meetnet die naburig aan het epicentrum en/of de plaats waar de sterkste aardbeving wordt gemeten, opgesteld staan, onderling vergeleken kunnen worden.

De accelerosensoren/geofoons van de overige meetnetbeheerders registreren vanwege de hogere verhouding noise/ruis ten opzichte van de sensor van het KNMI-meetnet op grotere afstand van het epicentrum en/of de plaats waar de sterkste aardbeving wordt gemeten, geen geïnduceerde aardbevingen.

Daarnaast worden waterspanning- en tiltsensoren door één aanbieder in het projectgebied ingezet. Het gaat om een geringe aantal waterspanningsensoren op een gering aantal locaties. Een vergelijking van de twee typen sensoren/meetnetten met die van andere aanbieders was niet mogelijk.

De voorgenoemde aanbieder heeft op meerdere plaatsen in het projectgebied één of meerdere tiltsensoren geïnstalleerd. Tiltsensoren kunnen de effecten van breukvorming in de ondergrond ook meten maar worden daarvoor niet toegepast. Het verschil tussen de registratie van een trilling met een accelerosensoren/geofoon en een tiltsensor is dat de overdracht ervan op een accelerosensor (transfunctie) wetenschappelijk onderzocht is, van een tiltsensor niet. Deze kennis berust op decennialange ervaringen in de wetenschap en industrie. De meerwaarde van de inzet van tiltsensoren om de versnellingen van geïnduceerde aardbevingen te meten in het projectgebied wordt dan ook niet gezien.

Een tiltsensor functioneert als een elektronische waterpas. Een tiltsensor kan de scheefstand of de constructieve vervorming van een object meten. De oorzaak hiervan kan een aardbeving of een ongelijkmatige bodemdaling in de diepe of ondiepe ondergrond zijn. Wanneer het de diepe

<sup>2</sup> vlakdekkend – samenhang binnen het gehele areaal van het projectgebied (zie paragraaf 2.4)

ondergrond betreft, is er verband met de gaswinning in het projectgebied. Omdat feitelijk gezien hierover nog weinig bekend is, adviseren wij om aanvullend onderzoek uit te voeren.

Over de behoefte naar het aantal tilsensoren waarmee het aanvullend onderzoek naar scheefstand als gevolg van een aardbeving en/of ongelijkmatige bodemdaling moet worden ingestoken, kan op dit moment geen bindende uitspraak worden gedaan. Het onderzoeksprogramma moet door de wetenschap en daartoe gespecialiseerde bedrijven worden gedragen. Daarbij zal een gezamenlijke afweging (vanuit het schadespoor gemotiveerd en niet vanuit de geïnduceerde aardbeving) worden gemaakt of én over het aantal tilsensoren dat in het projectgebied kan worden ingezet. Het resultaat van het aanvullend onderzoek kan in het laatste geval zijn dat de inzet van tilsensoren in het projectgebied kleinschalig of juist op grote schaal gewenst is.

De huidige meetnetten genereren voldoende informatie over de optredende bodembewegingen buiten de gebouwen en de trillingen in gebouwen voor wetenschap, overheid, burgers en bedrijven. Meetnetbeheerders/-eigenaren kunnen het beoogde meetnet met hun meetgegevens verrijken. Randvoorwaarde is wel dat de sensoren aan kwaliteitsrichtlijnen (bijv. SBR-A, BRL5023) voldoen. Deze samenstelling vormt de basis voor het beoogde meetnet.

Het beoogde meetnet verzamelt meetgegevens die gebruikt worden voor het beoordelen van schade en veiligheid aan gebouwen, infrastructuur en industriële installaties (objecten) door geïnduceerde aardbevingen. Daarbij moet worden opgemerkt dat sensoren het ontstaan van schade aan of het beïnvloeden van de veiligheid van objecten zelf niet kunnen vaststellen, dit gebeurt altijd met behulp van inspecties. Het beoogde meetnet verzamelt alle gegevens, zowel de ruwe als de bewerkte data, op één centrale plaats en maakt deze op een objectieve manier beschikbaar aan de belanghebbende van het projectgebied. De belanghebbenden van het projectgebied hebben direct toegang tot de ruwe en bewerkte meetgegevens. Meetgegevens zijn leesbaar en te interpreteren. Het beoogde meetnet draagt daarnaast bij aan de kennisopbouw over aardbevingen, trillingen in objecten en effecten.

Wij adviseren om de PGV (Peak Ground Velocity) in de basis als monitoringparameter voor het beoogde meetnet te gebruiken. Het betreft de trillingssnelheid van de bodembeweging (buiten het object) als monitoringparameter. De meetgegevens van de bestaande meetnetten worden hiervoor met een eenvoudige rekenstap omgerekend naar de PGV. De meetgegevens van de sensoren in objecten zijn in eerste instantie niet te vergelijken met de meetgegevens van de sensoren daarbuiten. KNMI heeft in het verleden onderzoek naar het verschil uitgevoerd en vastgesteld dat deze niet groot is. Het onderzoek was eenvoudig van opzet en dient met aanvullend onderzoek geverifieerd te worden aldus het KNMI.

Op welke wijze worden de meetgegevens ontsloten? Uitgangspunt voor het beoogde meetnet is dat alle aardbevingen gemeten als ShakeMap op één kaart in een web-omgeving worden weergegeven. De meetgegevens van de TNO- en KNMI-meetnetten alsmede van overige beheerders/eigenaren kunnen gezamenlijk in één kaart of in eigen kaartlagen worden weergegeven. De meetgegevens zijn via internet toegankelijk voor de belanghebbenden.

Het KNMI geeft nu al isoseisten weer na een aardbeving met een magnitude groter dan 2 in een ShakeMap. Let wel: het KNMI registreert wel alle geïnduceerde aardbevingen in het

projectgebied. Een isoseist is bij een aardbeving een lijn die de punten verbindt die aan een gelijke bevingsintensiteit hebben blootgestaan.

Op termijn kan met behulp van de informatie van het beoogde meetnet een grenswaarde over schade aan en veiligheid voor de objecten in het projectgebied worden vastgesteld en in de ShakeMap weergegeven. Een PGV die correspondeert met een grenswaarde is dan onderdeel van een isoseist die op de Shakemap wordt weergegeven. Deze isoseist beweegt dus dynamisch over het kaartvlak van de ShakeMap.

De isoseist voor de grenswaarde geeft de grens aan in het projectgebied waarbinnen schade aan een object kan zijn ontstaan als gevolg van de geïnduceerde aardbeving of de veiligheid ervan niet geborgd is. Het vaststellen van de schade gebeurt met het uitvoeren van een inspectie door een specialist. Er wordt van een generieke grenswaarde voor alle objecten in het projectgebied uitgegaan. Of een generieke grenswaarde voor alle objecten vastgesteld kan worden, zal in samenspraak met specialisten nader bepaald worden.

De verantwoordelijkheid voor het vastleggen van deze grenswaarde ligt bij de overheid, zodat de overheid zelf, de wetenschap, het bedrijfsleven en de burgers in dialoog tot een breed gedragen acceptabel grenswaardeniveau kunnen komen. De grenswaarde zal vanuit het schadespoor bepaald moeten worden en niet enkel vanuit een schaderichtlijn die geldt voor bodemtrillingen.

Om te beoordelen of een uitbreiding van het beoogde meetnet wenselijk is, geldt dat het een onafhankelijk en breed gedragen meetnet is dat kan bijdragen aan het meten van geïnduceerde aardbevingen. Dit gegeven en de interviews die voor dit onderzoek zijn uitgevoerd, resulteren in een advies om het meetnet primair voor de accelerosensoren/geofoons in zuidelijke richting van het projectgebied met een aantal meetpunten uit te breiden. Als verificatie van deze uitbreiding adviseren wij om eerst een grondige gevoeligheidsanalyse uit te voeren.

### **Leeswijzer**

Het rapport is als volgt opgebouwd, in hoofdstuk 2 is de aanleiding en het doel van fase 3 van het onderzoek naar de huidige meetnetten die in het gaswingebied van het Groningenveld opgesteld staan, beschreven. Verder is een samenvatting gegeven van de resultaten uit fase 1 en 2 in hoofdstuk 2.

In hoofdstuk 3 zijn de processen beschreven die gerelateerd zijn aan geïnduceerde aardbevingen en waarop het beoogde meetnet gericht moet zijn. Het hoofdstuk sluit af met een paragraaf over de vraag waarom gemeten moet worden in het projectgebied.

In hoofdstuk 4 is een verschillenanalyse van de huidige meetnetten in het projectgebied gedaan. De informatiebehoefte is geïnventariseerd en er is een analyse gedaan van de benodigde meetinstrumentatie. Voor dit onderzoek zijn een aantal interviews uitgevoerd. De resultaten van deze interviews zijn in dit hoofdstuk samengevat.

Hoofdstuk 5 bevat het concept van het beoogde meetnet.

In hoofdstuk 6 is de wijze beschreven waarop de gegevens van het beoogde meetnet worden ontsloten, weergegeven en geduid.

Het rapport bevat een aantal bijlagen met onder andere de gespreksverslagen van de interviews die voor dit onderzoek zijn gehouden en een projectreview uit Duitsland.



## 2 Inleiding

### 2.1 Opdracht

De Nationaal Coördinator Groningen (NCG) heeft per brief van 23 januari 2017 aan Antea Group opdracht verleend voor het uitvoeren van een verschillenanalyse tussen de behoefte aan meetnetten en de huidige meetnetten in het Groningen gasveld. Antea Group heeft de opdracht in samenwerking met TNO-Bouw en Ondergrond en DMT Group uitgevoerd.

Aanleiding voor het onderzoek is dat door diverse partijen bij de NCG aandacht is gevraagd voor een meetinstrumentarium gerelateerd aan de gaswinning in het Groningenveld waarbij naast de grondversnelling ook andere zaken worden gemeten (zoals bijvoorbeeld tiltsensoren of andere typen bodem- en gebouwsensoren of -netwerken). De NCG heeft in haar Meerjarenprogramma opgenomen dat in 2016 en in 2017 nader onderzoek uitgevoerd zal worden naar de verschillende meetinstrumenten die opgesteld staan of nog moeten worden in het gaswingebied van het Groningenveld.

Het onderzoek van de NCG omvat drie fasen, te weten:

1. Het bepalen van informatiebehoefte, vaststellen welke informatie het beoogde meetnet dient op te leveren (voor wie, met welk doel, etc.).
2. Het inventariseren van de huidige meetnetten (wat wordt er momenteel gemeten, door wie, met welk doel, frequentie, wijze van openbaarheid en toegankelijkheid).
3. Het uitvoeren van een verschillenanalyse en het doen van aanbevelingen als de huidige meetnetten niet aan de informatiebehoefte voldoet.

Dit onderzoek richt zich op fase 3 van het nader onderzoek van de NCG. Fase 1 (al., 2016) en fase 2 (al. J. R., 2016) zijn reeds uitgevoerd, resp. afgesloten. Fase 3 omvat de analyse van de volgende aspecten, te weten:

- of de huidige meetnetten voldoen, of de meetdata die gegenereerd worden voldoende is om de gevolgen van aardbevingen voor gebouwen, infrastructuur en industrie te kunnen monitoren;
- de analyse van de huidige meetnetten, van het duiden van de beschikbare meetgegevens met aanvullende interviews;
- in hoeverre voldoet het huidige meetnet in voldoende mate en op welke wijze zou het kunnen worden aangevuld, of het toewerken naar een concept voor de transparantie en ontsluiting van de meetgegevens.

Voor het uitvoeren van deze analyse is met het bestuderen van de gegevens van fase 1 en 2 begonnen. Dit om na te gaan welke onderlinge verschillen bestaan wat betreft afbakeningen, uitgangspunten en aannamen. Daarbij zijn intensieve gesprekken met de koepelorganisaties die het project begeleiden. Tijdens de gesprekken zijn de uitgangspunten, de aannamen en de punten met wensen naar aanvullende informatie naar voren gekomen.

De uitkomst van fase 3 moet een concept naar het ontsluiten en duiden van de meetgegevens zijn en eventueel een advies over (en hoe) de uitbreiding en/of aanpassing van de huidige meetnetten met eventueel nieuwe (type) sensoren.

## 2.2 Aanleiding

Het risico van geïnduceerde aardbevingen (geïnduceerde seismiciteit) in Groningen is een gevolg van de gaswinning en behoort daarom tot het beleidsdomein van de mijnbouw. Het beleid voor de beheersing van het risico is de verantwoordelijkheid van de Minister van Economische Zaken (EZ), die zodoende maatregelen aan de bron heeft genomen zoals vermindering van de toegestane hoeveelheid gaswinning.

De gevolgen van de gaswinning zijn relevant voor de veiligheid van gebouwen, installaties en infrastructuur en raken dus ook andere beleidsdomeinen. Vanuit hun verantwoordelijkheid voor constructieve veiligheid, industriële veiligheid en veiligheid van infrastructuur leveren andere ministeries inbreng over de kwetsbaarheid van die sectoren voor geïnduceerde aardbevingen en de mogelijkheden om die kwetsbaarheid te verminderen met maatregelen.

Met behulp van het beoogde meetnet moeten bewegingen van bodem en objecten gemonitord kunnen worden, zodat gevolgen door specialisten bepaald kunnen worden. De NCG acht het van groot belang dat het meetinstrumentarium hiervoor voldoende is, de ontsluiting geregeld zodat metingen geïnterpreteerd kunnen worden.

De huidige meetnetten worden beheerd door verschillende beheerders voor diverse organisaties met verschillende belangen. Dit vraagt om integriteit en een open benadering vanuit alle betrokken organisaties. Last but not least, gaat het om het communiceren en duiden van de gegevens en de wijze waarop deze ontsloten moeten worden (transparantie).

De resultaten van deze fase 3, de verschillenanalyse, vormen zodoende niet een eindpunt maar een begin voor het te realiseren en beheren van het beoogde meetnet dat de opgetreden geïnduceerde aardbeving, de bodembewegingen en bewegingen in objecten gemeten kunnen worden zodat schade én veiligheid gerelateerd aan gebouwen, infra en industriële installaties bepaald kan worden. De meetgegevens zijn te duiden en het beoogde meetnet (basis voor dit concept) wordt door de overheid, de wetenschap en de samenleving geaccepteerd.

De begrippen schade en veiligheid hebben in de praktijk een wezenlijk andere betekenis. Schade kan worden beoordeeld aan de praktijk en eisen zoals omschreven in SBR Richtlijn A, waar een topwaarde van de trillingssnelheid als maat wordt genomen. NPR 9998 stelt eisen aan veiligheid/instorting en relateert deze aan spectrale versnellingen.

Het beoogde meetnet draagt bij aan een voorspoedig en transparant verloop van het herstel van schade én veiligheid aan gebouwen, infrastructuur en industriële installaties<sup>3</sup>. Het meetnet stelt de schade zelf niet vast, maar draagt hiertoe bij. Het beoogde meetnet draagt bovenal bij tot het vergroten van de leefbaarheid in de provincie Groningen, resp. het toekomstige vertrouwen bij de burgers (Groningen., 2016).

---

<sup>3</sup> BRZO-bedrijven (Besluit Risico's Zware Ongevallen) zijn verantwoordelijk voor het identificeren van risico's en nemen van maatregelen, ook effecten van geïnduceerde aardbevingen. Bestuurders zijn verantwoordelijk voor de openbare veiligheid. De veiligheidsregio houdt daarbij toezicht op de veiligheid van de bedrijven.

## 2.3 Doel

Het doel van dit onderzoek is om de verschillen tussen de huidige meetnetten in en boven het Groningenveld voor de registratie van geïnduceerde aardbevingen en een beoogd onafhankelijk meetnet te onderzoeken. Het beoogd onafhankelijk meetnet is een aanpassing of aanvulling van de huidige meetnetten. Het beoogde meetnet levert aanvullende informatie en is onafhankelijk en breed gedragen door de belanghebbenden van het projectgebied.

*Het beoogde meetnet is samengesteld uit de huidige meetnetten van beheerders/eigenaren en eventueel een uitbreiding daarvan.*

Daarnaast is een belangrijk doel van dit onderzoek om de inventarisatie van de huidige meetnetten (wat wordt er momenteel gemeten, door wie, met welk doel, frequentie, wijze van openbaarheid en toegankelijkheid) te analyseren. De analyse vormt de basis voor de verschillenanalyse en omvat de vraag of een uitbreiding van de huidige meetnetten wenselijk is en op welke gronden. Indien dit wenselijk is, dienen concrete aanbevelingen te worden gedaan, welke eventuele aanpassingen, dan wel uitbreidingen van de huidige meetnetten wenselijk zijn.

Het is belangrijk dat het beoogde meetnet open toegankelijk is voor meerdere aanbieders van sensoren, dat de meetgegevens van sensoren publiekelijk toegankelijk zijn en onderling vergelijkbaar, resp. de sensortechnologie een bewezen techniek is.

## 2.4 Projectgebied

Het projectgebied van het beoogde meetnet omvat het gaswingebied waarin het Groningenveld ligt en waarin gerelateerd aan de winning van aardgas bodembewegingen worden gemeten, zoals:

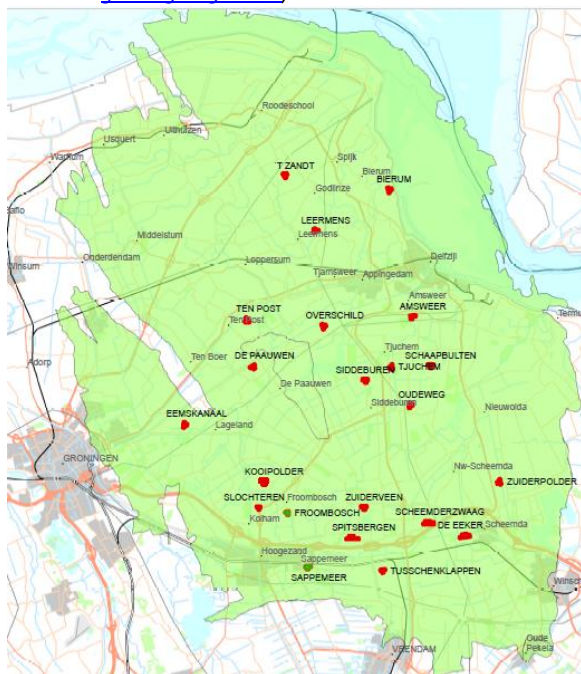
- ongelijkmatige en gelijkmatige bodemdaling;
- geïnduceerde aardbevingen als gevolg van breukvorming of aan huidige breuksystemen.

*Het projectgebied van het beoogde meetnet groter in oppervlak is dan de omvang van het gaswingebied van het Groningenveld zelf.*

Op grotere afstand hebben geïnduceerde aardbevingen geen impact meer op de veiligheid van en schade aan objecten ondanks de registratie ervan met sensoren. Onderzoek zal uitwijzen hoe groot deze afstand voor het projectgebied minimaal kan zijn. Of deze afstand ook nog eens verandert met de tijd, zal met aanvullend onderzoek eveneens vastgesteld moeten worden (zie paragraaf 5.5).

Het gaswingsgebied is in afbeelding 2.1 weergegeven, in rood de productielocaties.

Afb. 2.1 - Groningen gasveld met productielocaties (in rood), stand: 25-10-2013 (bron: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kaarten/2013/01/25/overzicht-productielocaties-groningen-gasveld>)



## 2.5 Belanghebbenden

Belanghebbenden zijn de betrokkenen (overheid, bedrijfsleven, samenleving, wetenschap) in het projectgebied waarvoor de meetgegevens van de huidige en toekomstige geïnstalleerde sensoren beschikbaar worden gesteld en te duiden moeten zijn.

## 2.6 Beschikbare gegevens vanuit onderzoek fase 2

In 2016 heeft de NCG de huidige meetnetten laten inventariseren (al., 2016). In het kader van de inventarisatie is antwoord gegeven op vragen: wat wordt er momenteel gemeten, door wie en met welk doel? Specifieke details over de huidige meetnetten van de beheerders/eigenaren zijn onbeantwoord gebleven.

In het projectgebied worden vier type sensoren ten behoeve van veiligheid en schade toegepast. Het betreft de volgende sensoren:

- tri-axiale bevingssensoren (hier: versnellings- of accelerosensoren of geofon), meten gebeurtenis van geïnduceerde aardbevingen;
- tilsensoren, meten continue de verandering van de hellingshoek/rotatie;
- barosensoren, meten continue verandering van drukgolven;
- waterspanningssensoren, meten continue verandering van de waterspanning.

Voor de bevingssensoren wordt een onderscheid gemaakt tussen bijvoorbeeld breedband seismosensoren en boorgat geofoons die in het projectgebied opgesteld staan. De relatie tussen geïnduceerde aardbevingen, de gevolgen ervan (schade aan infrastructuur, veiligheid) en de specifieke sensoren wordt verderop in dit rapport toegelicht.

De sensoren die in het projectgebied worden gebruikt, zijn niet in fase 2 nader technisch gespecificeerd. Onbekend is of de sensoren aan normen voldoen, resp. periodiek worden gekalibreerd. Een analyse van de huidige meetnetten (spreiding en type metingen) is met het onderzoek niet uitgevoerd. Over de locaties van de sensoren zijn geen gedetailleerde gegevens bekend. De data van sensoren is niet geanalyseerd. Er zijn geen uitspraken gedaan over de betrouwbaarheid (compleetheid, actualiteit en consistentie), de spreiding en beschikbaarheid van de verkregen data. Evenmin is bekend of data van dezelfde type sensoren of verschillende type sensoren onderling vergeleken worden.

*De sensoren worden uit oogpunt van schade en veiligheid aan installaties en gebouwen in het projectgebied toegepast. Het gaat dan over de kans dat personen overlijden door bouwkundig falen ten gevolge van een beving veroorzaakt door gaswinning in het Groningenveld. Naast veiligheid speelt ook de kans op schade aan gebouwen, infrastructuur en industriële installaties een rol voor de monitoring. Deels wordt het beoogde meetnet gebruikt voor wetenschappelijk onderzoek naar het gedrag/dynamiek van gebouwen tijdens bevingen. Of de huidige meetnetten met de bijbehorende instrumentaria voor veiligheid en/of schade voldoende zijn, is niet met het onderzoek van fase 2 vastgesteld.*

Zo gebruikt het ChemiePark Delfzijl de data voor de algehele site-security en in het kader van noodplannen (BRZO gerelateerd). In samenwerking met de Omgevingsdienst/Veiligheidsregio worden plannen opgesteld waarbij de monitoring bestaat uit het detecteren van daadwerkelijke schade aan/beïnvloeding van installaties. De data is voor eigen gebruik, maar kunnen op verzoek ook beschikbaar komen voor bijvoorbeeld gezamenlijk onderzoek/studie aldus het rapport.

Op een meetlocatie aan het Eemskanaal worden grondversnellingen gemeten. Daarnaast worden de waterspanningen gemeten met sensoren in de ondiepe zandlaag door de waterschappen Hunze & Aa's en Noorderzijlvest. De resultaten zijn niet openbaar toegankelijk. Het doel van de metingen is de invloed van aardbevingen op waterspanningen te registreren. Vanwege teleurstellende meetresultaten is het waterschap voornemens om de metingen te stoppen (al., 2016).

De metingen met de sensoren op de verschillende locaties in het projectgebied worden continue uitgevoerd en de data is deels voor het publiek toegankelijk. De continue data wordt deels (events) opgeslagen.

Om de gelijkmatige bodemdaling (zie glossarium) in beeld te brengen, wordt InSAR als techniek in het projectgebied toegepast. In het rapport fase 2 worden verder InSAR als techniek genoemd. De NAM maakt sinds 2013 gebruik van InSAR. Met InSAR is het mogelijk om met een nauwkeurigheid beter dan een millimeter per jaar hoogteverschillen te meten, met name van infrastructuur en gebouwen. De techniek ziet alleen deformaties in de richting van het signaal. Het resultaat is dat over een langere periode (een jaar) beelden opgenomen dienen te worden voordat er resultaten beschikbaar zijn.

De techniek wordt ingezet voor het meten van vlakdekkende bodemdaling in het projectgebied. Dit aspect bodemdaling valt buiten de scope van dit onderzoek. Daarom wordt aan deze techniek verder geen aandacht besteed.

Met de inventarisatie van de huidige meetnetten uit fase 2 is een aantal vragen onbeantwoord gebleven die voor dit onderzoek, de verschillenanalyse relevant zijn. De informatie voor een brede analyse van de huidige meetnetten kon met de beschikbare informatie niet achterhaald worden.

Daarop is in samenspraak met de NCG besloten een aantal interviews met een aantal relevante stakeholders van de huidige meetnetten en de partij die de vaststelling en afhandeling van schade aan objecten in het projectgebied begeleidt, te houden, te weten:

- TNO Bouw en Ondergrond (meetnet gebouwsensoren)
- KNMI
- StabiAlert
- Centrum voor Veilig Wonen (CVW)

## 3 Algemeen aardbevingen

In dit hoofdstuk worden de processen beschreven die gerelateerd zijn aan geïnduceerde aardbevingen en waarop het beoogde meetnet gericht moet zijn.

### 3.1 Bodembewegingen

Bodembewegingen kunnen schade aan objecten veroorzaken, resp. de veiligheid ervan beïnvloeden. Geïnduceerde aardbevingen<sup>4 5</sup> en gelijkmatige, resp. ongelijkmatige bodemdaling vallen onder de verzamelnaam bodembewegingen:

- Bij geïnduceerde aardbevingen is de drukval in een reservoir de drijvende kracht achter het vrijkomen van seismische energie in een voorkomen met gas met breukvorming. Zonder deze drukval zal een voorkomen niet compacteren en zullen effectieve spanningen binnen een reservoir niet toenemen.
- Bij bodemdaling wordt een onderscheid in gelijkmatige en ongelijkmatige bodemdaling:
  - Bij gelijkmatige bodemdaling is er sprake van daling van het maaiveld - uitgedrukt in (centi-)meters - ten gevolge van compactie van bijvoorbeeld gesteenten in de ondergrond op gebiedsniveau.
  - De oorzaak van ongelijkmatige bodemdaling kan in de ondiepe of diepe ondergrond gelegen zijn. Het gaat om sluimerende processen waarbij de ondiepe ondergrond daalt door bijvoorbeeld veenoxidatie of het effect van inklinken van klei (bijlage 2).  
In de diepe ondergrond kan ongelijkmatige bodemdaling lokaal voorkomen en het gevolg van de gaswinning zijn ((TNO)., 2013). De algemene opinie van belanghebbenden van het projectgebied is echter dat deze vorm van bodemdaling in het Groningenveld op maaiveldniveau niet gemeten wordt.

Het navolgende schematiseert de hiervoor beschreven tweetal relevante voorbeelden van bodembewegingen.

---

<sup>4</sup> Onder geïnduceerde aardbevingen wordt verstaan een relatief snel om een evenwichtstoestand wisselende verplaatsing (snelheid, versnelling, hoekverdraaiing) of vervorming. De geïnduceerde aardbevingen kunnen in de tijd gezien een harmonisch verloop hebben, maar ook andere vormen zijn mogelijk (periodiek, niet periodiek, random). Het kunnen stootachtige, niet periodieke geïnduceerde aardbeving. Door middel van een frequentieanalyse (Fouriertransformatie) kan de overheersende frequentie in een bepaald tijdsinterval bepaald worden.

<sup>5</sup> (Z. Zembata et al., 2017) hebben onderzoek naar de verhouding voor de rotatie en translatie in de versnelling van geïnduceerde aardbevingen gedaan. De uitkomst van het onderzoek was dat rotatie naar verhouding in geringe mate bijdraagt bij events > 20 mm/s.

Afb. 3.1 - Voorbeelden van bodembewegingen en bijbehorende onderverdeling.

| Voorbeelden van bodembewegingen  |   |  |
|--|---|--|
| geïnduceerde aardbevingen  | bodemdaling   |  |
| <b>diepe ondergrond</b><br>(compactie door gaswinning, geïnduceerde aardbevingen door breukvorming of aan breuksystemen) | <b>diepe ondergrond</b><br>gelijkmatige bodemdaling op gebiedsniveau door gaswinning; en op lokaal niveau ongelijkmatige bodemdaling (zie o.a. bijlage 3) * | <b>ondiepe ondergrond</b><br>ongelijkmatige bodemdaling, bijv. veenoxidatie, inklinken van klei-/veenlagen (zie bijlage 3) |

\* Voor berekeningen over gelijkmatige bodemdaling wordt uitgegaan van een gelijkmatige compactie van beide reservoir compartimenten aan weerszijden van de breuken (homogene materiaaleigenschappen, homogene depletie). Ongelijkmatige compactie in de gasvoerende bodemlagen kan in de directe omgeving van de breuk plaats vinden en is dan het directe gevolg van aanwezigheid van de breuk zelf en ook drukverschillen over de breuk. Voor deze situatie geldt dat de breuk slechts de compactie in een beperkt deel van het reservoir 'voelt' ((TNO),, 2013).

## 3.2 Ondergrond

De productie van aardgas gaat gepaard met een daling van de druk in het producerende reservoir. Hiermee vindt, naast compactie, energieopbouw plaats in de ondergrond bij aanwezige breuken die geïnduceerde aardbevingen kunnen veroorzaken.

In het geval van breuken kan aan weerszijde van de breuk een afwijkende mate van compactie ontstaan en kan een fractie van de opgebouwde spanning in het reservoir 'ontladen' door bewegingen langs dat breukvlak<sup>6</sup>. De plaats waar deze geïnduceerde aardbeving, die door het verschuiven van het breukvlak ontstaat, wordt het 'hypocentrum' genoemd. De geïnduceerde aardbeving plant zich voort in de aardlagen en zal aan het oppervlakte leiden tot een bodembeweging die als aardbeving wordt gevoeld. De uitstraling van een aardbeving vanaf het breukvlak is nooit radiaal vanwege de ongelijkmatige opbouw van de ondergrond en de breukvorming zelf.

<sup>6</sup> Onderzoek dat ten tijde van dit onderzoek plaats vindt door het KNMI moet aantonen of het effect van 'ontladen' alleen aan breukvlakken in de reservoirlagen gebeurt of ook in de lagen daarboven (boven de zoutlaag dat het reservoir afdekt) en/of onder het reservoir.



*Het epicentrum is niet per definitie de plek op maaiveldniveau waar de sterkste aardbevingen worden gemeten.*

De poreuze gashoudende steenlaag wordt afgesloten door een zoutsteenlaag (Zechstein) van enkele honderden meters dikte. Zoutsteen verstrooit een deel van de aardbevingsgolven als gevolg van geïnduceerde aardbevingen in de gashoudende steenlaag, zoals een prisma licht verstrooit, en verspreidt daarmee de energie van de geïnduceerde aardbevingen over een groter gebied. Een ander deel van de geïnduceerde aardbevingen die vanuit de diepte tegen de zoutlaag aanbotsen, wordt naar beneden teruggekaatst, en bereikt het aardoppervlak dus nooit.

Het fenomeen dat de beweging in de ondergrond sterker wordt in slappere sedimenten (in het Groningenveld de bovenste 800 meter) wordt opslinging genoemd. De mate van opslinging speelt een rol in de effecten voor objecten door een aardbeving.

De mate van opslinging wordt dus voor een groot deel bepaald door de contrasten in seismische eigenschappen van de verschillende afzettingen in de ondergrond. De graad van overconsolidatie (samendrukken van de grond door bovenbelasting), plasticiteit (zout of klei) en de korrelgrootteverdeling van de afzettingen spelen ook een rol.

De overgang van het Krijt (kalksteen) naar het Tertiair (zand en klei) ligt, zoals genoemd, in Groningen grofweg op 800 meter diepte. Dit is de eerste plek waar opslinging plaats vindt voor de geïnduceerde aardbeving die in de richting van het oppervlak bewegen.

Vervolgens vindt door de hele Tertiair tot aan het maaiveld bij iedere contrastrijke overgang in de afzettingen weer opslinging plaats, maar ook demping naarmate de geïnduceerde aardbevingen zich verder voortbewegen en interferentie tussen geïnduceerde aardbevingen die weerkaatsen tussen verschillende laagvlakken (J. Stafleu et al., 2017).

KNMI heeft met modellen berekend voor 16 perioden tussen  $T = 0,01$  en  $5 \text{ s}^7$  dat het opslingereffect van de bovenste 30 meter met name aan de versterkingsfactor bijdraagt (al. J. S., 2016). Bij  $T = 0,01 \text{ s}$  is bijvoorbeeld een versterking van maximaal 3 berekend.

*De effecten van opslinging van de bovengrond en daarmee versterking van aardbevingen zijn over het algemeen in het zuidelijk deel van het Groningenveld lager dan in het noordelijke deel.*

### 3.3 Emissie

Onder emissie wordt verstaan het meten van de bodembewegingen bij de locatie waar de aardbevingen ontstaan.

De grootte van bodembewegingen die aan het oppervlakte worden gemeten als gevolg van geïnduceerde aardbevingen, wordt uitgedrukt in de 'Peak Ground Acceleration' (PGA) of 'Peak Ground Velocity' (PGV). PGA staat voor de gemeten versnelling van een geïnduceerde aardbeving aan de grond. Afbeelding 3.2 visualiseert deze relatie.

<sup>7</sup> Tussen  $0,01 \text{ s}$  (100 Hz) en  $5 \text{ s}$  (0,2 Hz) is het relevante frequentiebereik voor de seismische hazard en risico analyse in Groningen.



### 3.4 Immissie

Immissie zijn de werkelijke bodembewegingen die op maaiveldniveau (leefomgeving) als aardbevingen worden gemeten.

*De directe en schadelijke effecten van breukvorming in de ondergrond, geïnduceerde aardbevingen, zijn meetbaar aan het oppervlak met accelerosensoren ( $\text{mm/s}^2$ ) en/of geofoons ( $\text{mm/s}$ ).*

In 1993 publiceerde de Stichting Bouw Research (SBR) richtlijnen voor het meten en beoordelen van trillingen. Deze publicaties vulden een leegte, omdat tot dat moment een duidelijk meet- en beoordelingsprotocol ontbrak. In de loop van de tijd zijn de richtlijnen steeds meer gebruikt en juridisch ook erkend als een bruikbaar beoordelingskader.

In 2000 heeft TNO in opdracht van SBR de revisie van de richtlijnen voorgenomen. Het resultaat is dat sinds september 2002 de SBR de richtlijnen in drie delen heeft opgesplitst:

- deel A - over schade aan bouwwerken;
- deel B - over hinder voor personen in gebouwen;
- deel C - over storing aan gevoelige apparatuur.

De richtlijn SBR-A<sup>8</sup> gaat over het meten en beoordelen van trillingen met het oog op mogelijke schade en veiligheid aan een bouwwerk. Aandacht verdient voor het hanteren van een schadecriterium dat de lage dominante frequenties (2 à 3 Hz) van de geïnduceerde aardbeving zich aan de rand van het toepassingsgebied van de richtlijn SBR-A bevinden.

*Onder schade en veiligheid aan een bouwwerk (richtlijn SBR-A) wordt niet alleen het (gedeeltelijk) instorten van een bouwwerk verstaan, maar ook een vermindering van de draagkracht van een bouwwerk of vermindering van de economische waarde door bijvoorbeeld scheurvorming in afwerkklagen.*

De richtlijn is bedoeld om een trillingssterkte verkregen door metingen te beoordelen. De trillingsnelheid wordt daartoe volgens de richtlijn op het stijfste punt van een woning of gebouw, de fundatie gemeten.

Normaliter is een indicatieve meting (één meetpunt voor het gehele bouwwerk) voldoende waarbij slechts op één meetpunt de trillingen gemeten worden. Dat betekent dat een partieel hogere correctiefactor in de uiteindelijke bepaling van de trillingssterkte opgaat. De dominante frequentie van de trilling wordt bepaald waarbij de snelheid een maximum bereikt. Of een trilling kortdurend, herhaald kortdurend of continu is, is enkel van belang of er resonanties (ca. 100 Hz) optreden.

*Resonanties treden normaliter bij langdurende trillingen op. De langst durende geïnduceerde aardbeving is het projectgebied Groningen bedroeg 10 seconden (bron: KNMI).*

<sup>8</sup> Geïnduceerde aardbevingen in gebouwen kunnen dus ook hinderlijk zijn voor mensen die zich in een gebouw bevinden en storingen in gevoelige apparatuur of processen veroorzaken. Op deze aspecten wordt in dit onderzoek niet nader ingegaan. Hiervoor wordt verwezen naar de richtlijnen SBR-B en -C.

Wanneer er sprake is van een kortdurende of herhaald kortdurende trilling wordt voor de berekening van de grenswaarde van een partieel hogere correctiefactor uitgegaan.

De richtlijn SBR-A is een empirische richtlijn voor schade aan gebouwen en berust op decennialange ervaringen voor infrawerkzaamheden en verkeer. De richtlijn is gebaseerd op de internationaal toegepaste Duitse bevingsrichtlijn DIN 4150. Deze richtlijn wordt meer dan 100 jaar bij explosies in de dagbouw toegepast. Empirisch betekent dat de onderbouwing van de correlatie tussen oorzaak en gevolg op praktijkervaringen berust. Er staan dus geen aanwijzingen in de richtlijn over de berekeningswijze van de trillingssterkte. Aangegeven is in de richtlijn hoe metingen aan huidige bouwwerken moeten worden uitgevoerd.

Gedurende de laatste twee decennia is er echter ervaring opgedaan waaruit aangenomen mag worden dat de criteria uit de richtlijn ook voor geïnduceerde aardbevingen bruikbaar zijn <sup>9</sup>(bijlage 1, (P.C. van Staalduinen et al., De relatie tussen schade aan gebouwen en lichte, ondiepe aardbevingen in Nederland: inventarisatie, 1998) (Waarts., 1997) (B. Dost et al., 2013)). Deze ervaringen zijn opgedaan met de gaswinning van de NAM waar de relatie tussen geïnduceerde aardbevingen en de kans op schade aan gebouwen steeds opnieuw wordt bepaald (J.G. Rots et al., 2016) en interview bijlagen 3a).

Naast geïnduceerde aardbevingen zijn er ook andere vormen van bodembewegingen die de verergering van schadebeelden kunnen beïnvloeden. In paragraaf 4.1 wordt dit nader beschreven.

*Onduidelijk is wat de invloed is van bodembewegingen op de verergering van schadebeelden, die primair een andere hoofdoorzaak hebben. Denk aan schade die is ontstaan onder invloed van scheefstand, verhinderde of opgelegde vervormingen, ook bij de betrekkelijk lage bevingssterkte die in het Groningenveld aan de orde zijn.*

*Ter illustratie: een verandering van magnitude van 0,5 geeft aanleiding tot 2 à 3 keer sterkere geïnduceerde bevingen en ook 2 à 3 keer grotere spanningen in constructies (J.G. Rots et al., 2016).*

Niet alleen accelerosensoren of geofoons kunnen bodemtrillingen aan het oppervlak meten. Met tiltsensoren is het ook mogelijk om bodemtrillingen te meten. De inzet van tiltsensoren voor het meten van bodemtrillingen is niet van meerwaarde omdat de accelerosensoren of geofoons nauwkeuriger zijn voor de vlakdekkende registratie van geïnduceerde aardbevingen. Daarnaast is de fysisch mathematische beschrijving van de overdracht van de geïnduceerde aardbeving op de sensor voor een trillingssensoren onderzocht en voor een tiltsensor niet.

*Tiltsensoren meten geïnduceerde aardbevingen aan het oppervlak. Een fysisch mathematische beschrijving van de overdracht van de aardbeving op de sensor (transferfunctie) is bij ons niet bekend. De reden is dat de sensor voor de registratie van geïnduceerde aardbevingen normaliter niet worden toegepast, in tegenstelling voor een accelerometer of een geofoon waar fysisch mathematische beschrijving wel voor bekend is.*

<sup>9</sup> Dat betekent dus niet dat de SBR-A één op één toepasbaar is voor de trillingen vanuit de diepe ondergrond in het Groningenveld. Voor dit onderzoek is daarvan ook niet uitgegaan.

*Wanneer aan de richtlijn SBR-A wordt voldaan, betekent volgens de richtlijn dat er sprake is van een verwaarloosbare kans op schade aan een woning of gebouw. Die kans bedraagt ca. 1 %. Het probleem is dat deze kans voor een groot gebied met duizenden gebouwen verandert in een betekenisvolle kans op schade. Dit aspect wordt meegenomen voor de aanbeveling van dit onderzoek.*

De kans op schade voor een woning of een gebouw als gevolg van een bepaalde bevingsterkte is in enkele studies verkennend onderzocht voor bouwkundige objecten in metselwerk (B.B.T. Wassing et al., Seismisch hazard van geïnduceerde aardbevingen, integratie van deelstudies, 2012) (W.H. Roos et al., 2009) (P.C. van Staalduinen et al., De relatie tussen schade aan gebouwen en lichte, ondiepe aardbevingen in Nederland: inventarisatie, 1998) (Waarts., 1997). De studies zijn een aanwijzing ervoor dat de gehanteerde grenswaarden passen bij de waarschijnlijkheid dat schade aan een bouwkundig object optreedt van maximaal 1 %. Er wordt voor de grenswaarde van de bevingssnelheid gemeten in een gebouw een onderscheid gemaakt in drie gebouwtypen.

Onderzoek van voor 2007 heeft aangetoond (W.H. Roos et al., 2009) dat er een relatie is tussen de bevingssnelheid (hier: Peak Ground Velocity) waaraan een object is blootgesteld en de waarschijnlijkheid van optreden van objectschade. Deze relatie is ontwikkeld voor drie type objecten. De waarschijnlijkheid, de kans dat 1 % schade optreedt, is er voor het objecttype boerderij bij een bevingssnelheid van 2,4 mm/s. Het betreft dan de zwakste relatie uit het onderzoek. Dit kan verklaard worden door de kleinere stijfheid van de lange gevels ten opzichte van de relatief korte gevels van laagbouwoningen.

*Een overschrijding van de grenswaarde voor de bevingssnelheid uit de richtlijn SBR-A betekent niet dat een gebouw automatisch schade heeft opgelopen. Schade kan namelijk niet gemeten worden maar moet geïnspecteerd worden. De grenswaarde bevat een veiligheidsmarge (Waarts., 1997), gemiddeld genomen zal eerst bij een zekere overschrijding van een factor 4 (14 % kans op schade<sup>10</sup>) ervan schade aan de draagconstructie kunnen optreden<sup>11</sup>. Pas met nader onderzoek door een bouwkundig inspecteur zal dit blijken.*

De richtlijn SBR-A sluit aan op de DIN 4150, de Duitse richtlijn voor het meten van geïnduceerde aardbevingen aan gebouwen. De DIN 4150 geldt decennialang als betrouwbare praktijkrichtlijn voor het beoordelen van 'Bergbauschäden'.

In beide normen worden grenswaarden ('Anhaltswerte') gedefinieerd waaronder geen schade aan gebouwen optreedt. Het betreft dan schade die door geïnduceerde aardbevingen worden veroorzaakt. In tegenstelling is de waarschijnlijkheid van 1 % dat schade aan een bouwkundig object optreedt bij overschrijding van een grenswaarde niet in de DIN 4150 opgenomen.

De grenzen uit de richtlijn SBR-A zijn eerder door TNO vergeleken met bevingsterkten, die zich hebben voorgedaan bij de beving in Huizinge (H. Borsje et al., Analyse van de gevolgen van de

<sup>10</sup> Bij een overschrijding met een factor 14 à 15 zal 1 op de 2 gebouwen schade hebben. Voor gebouwen uit metselwerk in slechte staat is, bij gelijke bevingssnelheid, de kans op schade ongeveer 10 % groter. Voor monumentale gebouwen is de kans op schade daartegen ca. 5 % kleiner.

<sup>11</sup> Opgemerkt wordt dat de waarschijnlijkheid op overschrijding van de grenswaarde alleen geldig is voor de geïnduceerde aardbevingen op het fundament van een gebouw en schade aan de draagconstructie.

aardbeving te Huizinge d.d. 16 augustus 2012, 2013). Ook inzichten bij andere specialisten wijzen in de richting dat de criteria uit de richtlijn bruikbaar zijn bij de hier voorkomende betrekkelijk lage bevingsterkten voor het Groningenveld.

### 3.5 Waarom meten?

Waarom moet er worden gemeten in het projectgebied? Er wordt gemeten in het projectgebied om schade aan en veiligheid van objecten vast te kunnen stellen, veroorzaakt door geïnduceerde aardbevingen. Onder schade en veiligheid aan een bouwwerk, infra of industriële installatie (hier: objecten) wordt voor dit onderzoek de vermindering van de draagkracht van een bouwwerk of vermindering van de economische waarde door bijvoorbeeld scheurvorming in afwerkklagen verstaan. Gebouwen kunnen instorten, infrastructuur kan het (gedeeltelijk) begeven en aan industriële installaties kunnen ook onveilige situaties ontstaan als gevolg van geïnduceerde aardbevingen in het projectgebied.

De mate waarin seismische belasting schade aan gebouwen kan aanbrengen of de veiligheid ervan beïnvloeden, hangt af van:

- De sterkte van frequentie-inhoud van de seismische bron en de mate waarin de geïnduceerde aardbeving gedempt wordt, van frequentie-inhoud verandert als gevolg van voortplanting vanaf de bron tot dicht onder het aardoppervlak (attenuation).
- De site response, eenmaal dicht bij het oppervlak beïnvloedt de reactie van de ondiepe lagen de frequentie-inhoud en de amplitude van het aardbevingssignaal in sterke mate (amplificatie). Met name in gebieden waar dikkere afzettingen met lage schuifgolfsnelheden (slappe klei/veen) en afzettingen met grote stijfheidscontrasten (veen op zand) in de ondiepe ondergrond voorkomen kan deze ‘opslingering’ van het signaal optreden.
- De aard van de constructie, het type en de staat waarin een object verkeert, bepalen eveneens de mogelijke schade.

Als je iets voelt, hoeft dat nog geen schade tot gevolg te hebben. Aardbevingen zijn vanaf 0,1 mm/s in het meest gevoelige frequentiegebied tussen 3 en 10 Hz<sup>12</sup> nog net door de mens waarneembaar (al. P. B., 1992). Bevingssensoren kunnen geïnduceerde aardbevingen significant lager dan 0,1 mm/s meten, tot wel een factor 1.000.

*Het bevingssniveau vanaf waar schade aan gebouwen, infrastructuur of industriële installaties door geïnduceerde aardbevingen kan optreden of als gevolg daarvan de veiligheid van gebouwen, infrastructuur of industriële installaties in geding kan zijn, is een veelvoud hoger dan 0,1 mm/s dat waarneembaar kan worden gevoeld. Als je iets voelt, hoeft dat nog geen schade tot gevolg te hebben.*

In de richtlijn VDI 2057 staat beschreven dat voor verticale aardbevingen de resonantiefrequentie van de lichamelijke romp tussen 4 en 5 Hz bedraagt. De resonantiefrequentie komt overeen met de frequentie van geïnduceerde aardbevingen in Groningen.

Voor horizontale aardbevingen zijn vrijwel geen gegevens beschikbaar.

<sup>12</sup> Frequentie spectrum van geïnduceerde aardbevingen van 3 tot 10 Hz gemeten in het projectgebied.

De mens zal dus extra gevoelig reageren omdat de romp al snel in resonantie verkeerd bij een aardbeving. De mens zal daarnaast vooral gevoelig zijn voor de horizontale en niet voor de verticale component van een bodemaardbeving. De reden is de eigen beweging van de mens.

## 4 Verschillenanalyse

### 4.1 Informatiebehoefte

#### Welke informatiebehoefte is er?

Er is door de belanghebbenden in het projectgebied behoefte aan informatie of de huidige meetnetten voldoende informatie opleveren voor beoordelingen van schade en veiligheid.

#### Waarom is er behoefte aan informatie?

Omdat er vooral gezocht wordt naar inzicht in de relatie tussen de aardbevingen en de schade aan en veiligheid van objecten. Deze inzage moet ervoor zorgen dat de risico's van door gaswinning veroorzaakte bodembewegingen in het gaswingebied van het Groningenveld zo veel mogelijk voorkomen moeten worden.

*De mijnbouwwet (artikel 33) stelt dat schade door mijnbouwactiviteiten zoveel mogelijk voorkomen moet worden. Dat geldt ook voor de negatieve effecten, de schade die nauwelijks bijdraagt aan het veiligheidsrisico.*

#### Wat wordt er momenteel gemeten?

In paragraaf 2.6 is een analyse gedaan van de monitoringparameters die actueel in het projectgebied worden gemeten. Hieruit blijkt dat in hoofdzaak accelerosensoren met de meetnetten worden ingezet. Paragraaf 2.6 gaat dieper in op deze vraag.

#### Welk verschillen zijn er tussen de huidige meetnetten?

De monitoringparameter (grond)versnelling wordt voor meerdere meetnetten in het projectgebied ingezet. Deze meetnetten worden door verschillende meetnetbeheerders/-eigenaren beheerd en onderhouden. De verschillen tussen de meetnetten zijn het aantal sensoren, de nauwkeurigheid ervan en de locaties van de sensoren. In de paragrafen 4.2 en 6.2 zijn deze verschillen geanalyseerd. Daarnaast is in paragraaf 6.2 beschreven op welke wijze deze meetnetten kunnen bijdragen aan het beoogde meetnet.

#### Wat voor meetnet is benodigd?

Het beoogde meetnet kent geen restricties, kent elke relevante gebeurtenis van schade door geïnduceerde aardbevingen en borgt dat de meetgegevens voor de belanghebbenden vrij via internet toegankelijk zijn.

Periodieke evaluaties van de monitoringresultaten kunnen daarom de aanleiding zijn voor aanpassingen in het monitoren, de acceptabele grenzen waarbinnen sensoren moeten blijven, of in het treffen van verdere risico mitigerende maatregelen.

Dat betekent dat in geval van negatieve gevolgen van geïnduceerde aardbevingen aan gebouwen, infrastructuur en industriële installaties, er aanleiding kan zijn voor een wijziging in het aantal of type accelerosensoren of geofoons van het beoogde meetnet.



## Wat moet er dus gemeten worden en met welke apparatuur kan dat?

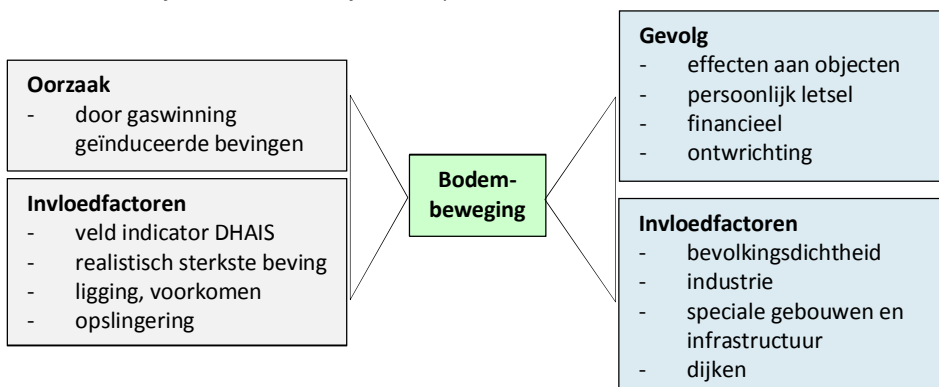
*Op grond van de Mijnbouwwet vormt het meten van geïnduceerde aardbevingen de basis voor het beheersen van de seismische risico's in het projectgebied. Het beoogd meetnet voor het projectgebied van het Groningenveld moet bij deze gedachte aansluiten en voldoet zodoende meer dan alleen aan de vigerende regelgeving. Het dient ook de kennisopbouw.*

Sinds 1 januari 2003 staat aan de basis van de seismische risico analyse de relatie tussen:

- het geproduceerde gasvolume;
- gelijkmatig en ongelijkmatig bodemdaling;
- het aantal, de sterkte of magnitude en de duur van aardbevingen;
- de piekgrondsnelheden;
- de effecten daarvan op gebouwen en infrastructuur.

Afbeelding 4.1 geeft de verschillende factoren weer die de sterkte van een geïnduceerde aardbevingen bepalen en factoren die invloed hebben op de grootte van de mogelijke gevolgen.

*Afb. 4.1 - Schematische weergave van de bedreigingen en gevolgen van geïnduceerde aardbevingen en de verschillende invloedfactoren die daarbij een rol spelen.*



*\*DHAIS - De kans dat bevingen geïnduceerd worden, wordt bepaald op basis van de DHAIS analyse (deterministische hazard analyse).*

Voor het Groningenveld geldt op basis van het schema dat het seismisch risico door gaswinning in de risicocategorie III<sup>13</sup> vallen, voor categorie III geldt:

- monitoring met een minimale cataloguscompleteheid van magnitude 0,5;
- monitoring aanvullend met accelerosensoren op de geofoonlocaties;
- monitoring van geïnduceerde aardbevingen aan objecten;
- onderzoeksprogramma;
- specifiek risicobeheersplan op basis van een meet- en regelprotocol.

Geofoons of accelerosensoren meten de daadwerkelijke bewegingen van de ondergrond waarop een gebouw, de infrastructuur of industriële installatie staat. Tevens worden trillingen in

<sup>13</sup> Voor velden waarvan op basis van de risico matrix analyses het seismisch risico door gaswinning (depletie) in de categorieën I en II vallen, zijn v.w.b. de screening geen verdere vervolgstappen nodig.

gebouwen gemeten met accelerosensoren. De sensoren meten in de ondergrond naar sterkte en locatie van de bodembeweging (zie afb. 4.2).

*Afb. 4.2 - Overzicht sensoren die meetgegevens registreren voor het beoordelen van schade en veiligheid aan gebouwen, infrastructuur en industriële installaties als gevolg van geïnduceerde aardbevingen in het projectgebied. De meetgegevens geven zelf geen uitsluitel over schade.*

#### Monitoring geïnduceerde aardbevingen (sensortype en eenheid)

Accelerosensoren [ $\text{mm/s}^2$ ] \*  
Geofoons [ $\text{mm/s}$ ]

#### Welke meetgegevens kunnen een toegevoegde waarde voor het beoogde meetnet leveren?

Tiltsensoren kunnen aanvullende informatie leveren over :

- De mate waarin een gebouw, de infrastructuur of industriële installatie (object) na een aardbeving een scheefstand ondervindt.
- De mate waarin constructieve vervorming van een object wordt opgebouwd als gevolg van sluimerende scheefstand. Het gaat om trage processen waarbij veenoxidatie, inklinking van klei of de gaswinning een rol kunnen spelen.

Maatgevend voor dit onderzoek is het eventueel kunnen kwantificeren van de effecten van scheefstand als gevolg een aardbeving en/of ongelijkmatige bodemdaling veroorzaakt met de winning van aardgas. Ongelijkmatige bodemdaling kan ook door natuurlijke zetting veroorzaakt worden. Er is nog weinig onderzoek over ongelijkmatige bodemdaling in de literatuur bekend. Wij adviseren daarom om hiernaar aanvullend onderzoek uit te voeren (zie paragraaf 5.5). Dit onderzoek kan met ondersteuning van tiltsensoren worden uitgevoerd.

*Afb. 4.3 - Overzicht sensoren voor de monitoring van scheefstand na een aardbeving en/of ongelijkmatige bodemdaling.*

#### Monitoring scheefstand na een aardbeving en/of ongelijkmatige bodemdaling (sensortype en eenheid)

Tiltsensoren [deg] \*

\*Tilt meet de verandering voor de rotatie/hoekverdraaiing en de totaal doorlopen boog (linksom + rechtsom), geeft informatie over zetting en opbouw van constructieve spanning.

Opmerking 1: het toepassen van tiltsensoren geeft nog niet de informatie over de daadwerkelijke schade die het object door de bodembeweging heeft ondervonden!

Opmerking 2: accelerosensoren zijn in principe ook in staat om de verandering van de tilt van een object te meten. Wel is voor deze specifiek aanvullend onderzoek gevraagd.

#### Hoe zou het beoogd meetnet eruit kunnen zien?

Dit kan door een groot aantal onder- en bovengrondse sensoren te meten met een daarvoor beoogd onafhankelijk meetnet. Het beoogde meetnet is samengesteld uit verschillende meetnetten van beheerders/eigenaren. Het is onafhankelijk, via internet toegankelijk. De meetgegevens worden gebruikt voor het leggen van een relatie tussen aardbevingen en schade

aan en de veiligheid van objecten in het projectgebied. Hoofdstuk 5 beschrijft het concept van het beoogde meetnet.

#### **Is een uitbreiding van het beoogde meetnet wenselijk?**

Om te beoordelen of een uitbreiding van het meetnet wenselijk is, geldt dat het een onafhankelijk en breed gedragen meetnet is dat enerzijds met de parameters bevingssnelheid/-versnelling kan bijdragen aan het meten van geïnduceerde aardbevingen. Dit gegeven en de interviews die voor dit onderzoek zijn uitgevoerd, resulteren in een advies om het meetnet primair voor de accelerosensoren/geofoons in het zuidelijke richting van het projectgebied met een aantal meetpunten uit te breiden. Als verificatie van deze uitbreiding adviseren wij om eerst een grondige gevoeligheidsanalyse uit te voeren. In paragraaf 6.2 zal de uitbreiding van het meetnet nader worden toegelicht.

## **4.2 Uitgevoerde interviews**

Er zijn verschillende oorzaken mogelijk voor schade en veiligheid aan gebouwen, installaties en infrastructuur. Voor het verzamelen van informatie over mogelijke schade aan een dergelijk object, het object zelf en de omgeving leveren sensoren onmiskenbare informatie. Om te inventariseren welke informatie reeds met sensoren in het projectgebied verzameld wordt maar bovenal welke informatie relevant is voor ons vraagstuk over het aantonen van schade aan het beïnvloeden van de veiligheid van objecten veroorzaakt door aardbevingen, is een aantal interviews gehouden. Met de interviews zijn vragen beantwoord zoals:

- Interpretatie van de meetgegevens van een sensor dat aan een meetnet van de eigenaren/beheerders toebehoort?
- Analyse van de technische specificaties van de gebruikte sensoren van een meetnet van de eigenaren/beheerders?
- Met welke frequentie wordt er gemeten?
- Voor wie zijn de gegevens noodzakelijk?
- Welke apparatuur wordt gebruikt?
- De wijze van openbaarheid van meetgegevens van een meetnet van de eigenaren/beheerders?
- De toegankelijkheid van meetgegevens van een meetnet van de eigenaren/beheerders?
- Informatie naar technische specificaties van de meetinstrumentaria?

De projectgroep heeft daarvoor interviews gehouden met de volgende instellingen/bedrijven:

- Centrum voor Veilig Wonen (CVW)
- TNO Bouw en Ondergrond
- KNMI
- StabiAlert

Omdat de instellingen/bedrijven verschillende type accelerosensoren in het projectgebied hebben geplaatst, zijn deze type sensoren op de relevante technische parasensoren meetbereik en noise-level onderling vergeleken. De resultaten zijn als bijlage 3 aan dit rapport toegevoegd.

Van de tilsensor is maar één type bekend dat in het projectgebied opgesteld staat. Een vergelijking met sensoren van een andere leverancier voor deze verschillenanalyse kon door ons

niet worden gedaan. Over de nauwkeurigheid ervan kan zodoende niets gezegd worden omdat een referentiekader ontbreekt. Wel is door de meetnetbeheerder/-eigenaar van dit type sensor aangegeven dat de tiltsensoren die in het randbereik van het Groningenveld opgesteld staan, uitslaan tijdens de geïnduceerde aardbevingen die in het projectgebied gemeten worden. Dit, in tegenstelling tot de accelerosensoren van de eigenaar die ter plaatse ook opgesteld staan.

Over de inzet van waterspanningssensoren in het projectgebied is geen detailinformatie bekend. De meerwaarde van de inzet van hoogfrequente metingen voor de waterspanning wordt bij een aanvullende onderzoekstap naar de effecten in de opbouw van constructieve vervorming en scheefstand van een object gezien.

De gesprekken met de instellingen/bedrijven zijn vastgelegd in verslagen die als bijlage aan dit rapport zijn toegevoegd. Het verdient de aanbeveling om alle gespreksverslagen door te lezen.

### Conclusies interviews

1. De informatieverzameling met de verschillende type sensoren van de instellingen/bedrijven gebeuren volgens vooraf door haar zelf vastgestelde kwaliteitsrichtlijnen en is reproduceerbaar.
2. De effecten van geïnduceerde aardbevingen op maaiveldniveau worden met accelerosensoren, tiltsensoren en waterspanningssensoren van de instellingen/bedrijven gemeten. De uitkomsten zijn dat schade aan een object kan ontstaan of de constructie scheefstand vertoont, resp. daardoor de spanning in een constructie toeneemt of al ontladen. Het gegeven dat een gebouw scheefstand vertoont als gevolg van een geïnduceerde aardbeving of door bodemdaling in het projectgebied resulteert nog niet daarin dat het gebouw automatisch schade heeft opgelopen.
3. Het meetnet van KNMI wordt ingezet voor het lokaliseren van geïnduceerde aardbevingen in de ondergrond. De meetnetten van TNO Bouw en Ondergrond, StabiAlert en Omnidots zijn bestemd voor het meten van de mate van geïnduceerde aardbevingen in objecten.
4. De accelerosensoren van de individuele instellingen/bedrijven zijn verschillend gevoelig voor ruis (noise, hoe lager de noise hoe hoger de nauwkeurigheid van het meetinstrument. Op basis van een eigen berekening (bijlage 4) is bij 10 Hz de verhouding ten opzichte van de door KNMI toegepaste sensoren in de navolgende tabel weergegeven.

| Meetnet                | Verhouding hogere noise ten opzichte van sensor KNMI-meetnet |
|------------------------|--|
| TNO Bouw en Ondergrond | 7  |
| StabiAlert             | $2 \times 10^5$  |
| Omnidots V1*           | $8 \times 10^4$  |

\*Inmiddels V2 op de markt met significant betere specificaties.

*Het gevolg van het verschil in noise-level voor de accelerosensoren/geofoons van de verschillende meetnetbeheerders is dat de KNMI- en TNO-meetnetten de geïnduceerde aardbevingen vlakdekkend in het Groningenveld meten en de meetnetten van de overige private aanbieders in het projectgebied dat niet doen. Resumé, ook op grote afstand van het epicentrum en/of het centrum met de sterkste aardbevingen meten de sensoren van de KNMI- en TNO-meetnetten de geïnduceerde aardbevingen.*

5. De meetgegevens van accelerosensoren kunnen gebruikt worden voor het vaststellen van schade aan en veiligheid van objecten. Het interpreteren van meetgegevens van accelerosensoren berust op decennialange ervaringen, ook in de mijnbouw.
6. Een tiltsensor functioneert als een elektronische waterpas. Bij tiltsensoren is het effect van ongelijkmatige bodemdaling door gaswinning niet te onderscheiden van een autonoom optredende zoals natuurlijke zetting van de bodem dan wel werking van een constructie als gevolg van het klimaat (o.a. wind, vorst). Het resultaat kan scheefstand en/of opbouw van constructieve vervorming voor een object zijn.
7. De meetgegevens van tiltsensoren kunnen bijdragen aan het vaststellen van schade door scheefstand na een aardbeving en/of ongelijkmatige bodemdaling aan een object. Deze relatie is onbekend en zou onderzocht kunnen worden.
8. Accelerosensoren of geofoons zijn voldoende nauwkeurig om geïnduceerde aardbevingen vlakdekkend in het projectgebied te meten. De meetgegevens worden al decennia gebruikt bij het vaststellen van schade aan en veiligheid van objecten in het projectgebied. De inzet van tiltsensoren voor het meten van geïnduceerde aardbevingen levert voor het beoogde meetnet geen toegevoegde waarde op.
9. Het TNO-meetnet bevat > 350 gebouwsensoren. Het betreft accelerosensoren. De sensoren van het TNO-meetnet zijn verdeeld over het Groningenveld, met name geconcentreerd rondom het gebied van Loppersum (beoordeling op basis van te verwachten seismiciteit). De gebouwsensoren zijn in de dichter bevolkte gebieden en industriegebieden in de provincie Groningen geplaatst.
10. Sinds de eerste bevingen in 1991 in Groningen heeft het KNMI onderzoek verricht naar geïnduceerde seismiciteit. In 2012 zijn de problemen van gebouwschade door aardbevingen met de winning van aardgas in het wingebied van het Groningenveld ontstaan (geïnduceerde seismiciteit). Sinds 1995 is een eigen meetnet van het KNMI in Noord Nederland operationeel en sinds 2013 worden continue registraties gearchiveerd.
11. De nauwkeurigheid in de locatiebepaling bedraagt 100 m x 100 m. Het meetnet biedt voldoende nauwkeurigheid voor metingen op maaiveldniveau. De meetpunten van het KNMI-meetnet staan met name in de buitenomgeving (buiten een object) opgesteld. De accelerosensoren van het KNMI-meetnet zijn met een globale hard-op-hard afstand van ca. 4 km gelijkmatig verdeeld over het Groningenveld geplaatst (nauwkeurigheid meetgegevens bedraagt 100 m x 100 m). Een enkele meetpunt is ter plaatse van het stijfste punt in een object geïnstalleerd.
12. Met behulp van een bij het KNMI bekende transferfunctie wordt de overdracht van de grondversnelling van een meetpunt in de buitenomgeving naar een meetpunt in een object berekend. Het KNMI beschikt vanwege haar lange monitoringhistorie in het projectgebied over ruime ervaringen om deze berekeningen betrouwbaar uit te kunnen voeren.
13. Het KNMI heeft zogenaamde Ground Motion Prediction Equations (GMPE's) ontwikkeld. GMPE's worden normaal gesproken afgeleid voor natuurlijke tektonische aardbevingen en zijn bepaald voor specifieke tektonische gebieden. Voor de geïnduceerde aardbevingen in Groningen zijn ook specifieke GMPE's bepaald. Deze specifieke GMPE's zijn gebruikt door het KNMI voor het vaststellen van de probabilistisch seismische hazard kaart. Deze vergelijkingen zijn specifiek voor het Groningenveld. De GMPE's beschrijven hoe de diepe en ondiepe ondergrond de energie van een aardbeving doorlaten en dempen. Boven het gasreservoir in Groningen, op ruim 2 km diepte, is een zoutlaag aanwezig die geïnduceerde aardbevingen verzwakt maar ook bijdraagt aan een spreiding van de geïnduceerde aardbevingen (reflectie, refractie). GMPE's beschrijven deze en andere effecten om zo een schatting te kunnen maken welke grondversnellingen een aardbeving kunnen veroorzaken. De GMPE's kunnen ook

gebruikt worden om op een deterministische manier de piekgrondversnelling of piekgrondversnellingen te berekenen. Hierbij wordt de empirische GMPE relatie gebruikt om op basis van een bepaald aardbevingsscenario de te verwachte aardbevingsbelasting op maaiveld te berekenen als functie van de afstand tot het epicentrum.

14. Het KNMI is in staat om kaarten te maken waarin afhankelijk van de frequentie (0,3-2 sec) real time de PGV (Peak Ground Velocity) wordt weergegeven (isoseist; Shakemaps). KNMI heeft voor haar accelerosensoren die in pandig op de fundatie opgesteld staan, beperkt onderzoek gedaan naar relatie tussen de bevingssnelheid op de fundatie in een gebouw en daarbuiten.

**Conclusie:**

*Het huidige KNMI-meetnet is in principe voldoende ter ondersteuning bij het vaststellen van schade aan en veiligheid van objecten door inspecties in het projectgebied. De meetgegevens van het meetnet geven geen uitsluitsel over schade aan objecten en de veiligheid daarvan!*

*Het meetnet van TNO dient ter aanvulling omdat de sensoren de trillingen van de geïnduceerde aardbevingen in objecten registreren. Hierdoor kunnen de meetgegevens van sensoren in gebouwen met daarbuiten gekoppeld worden.*

*De combinatie van deze meetnetten vormen de basis van het beoogde meetnet en heeft mogelijkheid om met de meetnetten van andere eigenaren/beheerders verrijkt te worden.*

*Het KNMI- en TNO-meetnet dienen daarnaast gezamenlijk voor het verzamelen van informatie voor wetenschappelijk onderzoek en de opbouw van kennis.*

## 5 Beoogd meetnet

### 5.1 Concept

Het concept van het beoogde meetnet is de real time weergave van de Peak Ground Velocity<sup>14</sup> (PGV) als bevingsparameter in een ShakeMap<sup>15</sup>. Het betreft de PGV van de vele meetpunten in het projectgebied. Deze PGV's zijn via internet voor alle belanghebbenden in te zien.

Er wordt een grenswaarde voor een PGV-waarde in overeenstemming met belanghebbenden in het projectgebied gedefinieerd. Deze nog nader te bepalen grenswaarde, worden real time als isoseist in de ShakeMap weergegeven. De locatie van de isoseist<sup>16</sup> verandert met elk set aan nieuwe meetgegevens die met de sensoren in het projectgebied worden verzameld.

De grenswaarde dient te worden vastgesteld voor schade aan en veiligheid van objecten (gebouwen, installaties en infrastructuur). Het beoogde meetnet levert meetgegevens waarmee voor de objecten in het projectgebied op termijn een grenswaarde voor de PGV wordt bepaald. Er wordt van een generieke grenswaarde voor alle objecten in het projectgebied uitgegaan. Of een generieke grenswaarde voor alle objecten vastgesteld kan worden, zal met specialisten nader bepaald worden.

Voor het bepalen van de grenswaarde voor schade aan en veiligheid van de objecten in het projectgebied, kan als basis de grenswaarde van de richtlijn SBR-A overgenomen worden. De grenswaarde is in tegenstelling tot de richtlijn SBR-A een generieke benadering voor alle objecten in het projectgebied. In de SBR-A wordt de grenswaarde vervolgens gecorrigeerd door van een bepaalde woningcategorie uit te gaan. Voor dit concept zou dat vergelijkbaar zijn voor infrastructuur en industriële installaties in het projectgebied.

Daarnaast hangt de grenswaarde af van het type bodemtrilling, van het risico op scheefstand van een object na een geïnduceerde aardbeving én op ongelijkmatige bodemdaling. Of een generieke grenswaarde voor alle objecten vastgesteld kan worden, zal met specialisten nader bepaald worden.

De bovengenoemde correcties impliceren dat de grenswaarde lager wordt. De omvang van het gebied met de isoseist voor de grenswaarde zal met de correcties groter zijn.

*De grenswaarde die voor het beoogde meetnet vastgesteld wordt, zal vanuit het schadespoor bepaald worden én vanuit de schaderichtlijn die geldt voor de bodemtrillingen.*

Over scheefstand aan objecten na een geïnduceerde aardbeving én ongelijkmatige bodemdaling die door de gaswinning wordt veroorzaakt en de gevolgen daarvan voor schade, is weinig bekend. Wij adviseren om hiernaar onderzoek uit te voeren (paragraaf 5.5). Voor het onderzoek zal over de mate van inzet van tilsensoren een beslissing worden genomen.

<sup>14</sup> De PGV wordt met een sensor op de bodem gemeten, in de buitenomgeving. Die PGV wordt dus niet op een stijf punt in bijvoorbeeld een gebouw gemeten.

<sup>15</sup> Een shakemap wordt ook een intensiteitskaart van een geïnduceerde aardbeving genoemd.

<sup>16</sup> Een isoseist is bij een aardbeving een lijn die de punten verbindt die aan een gelijke bevingsintensiteit hebben blootgestaan.

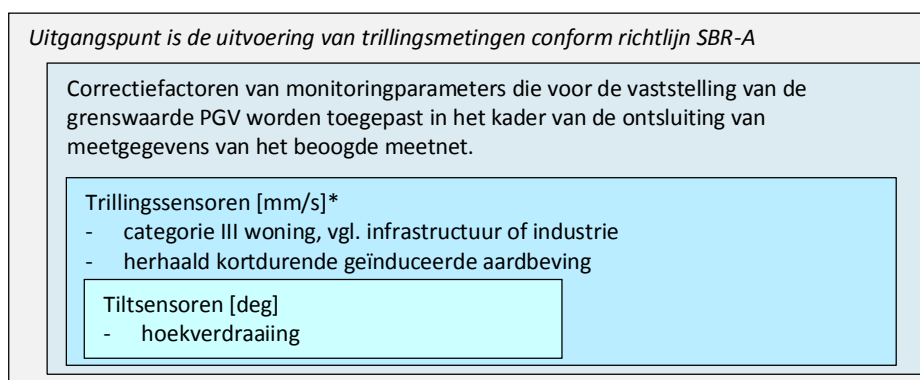
Wat geldt voor het gebied binnen de isoseist voor de grenswaarde? Voor het gebied binnen de isoseist geldt dat een belanghebbende eventuele schade van een geïnduceerde aardbeving kan melden. Vervolgens wordt een procedure van schadevaststelling en -afwikkeling opgestart.

Het KNMI-meetnet is in principe voldoende om een vlakdekkend meetnet in het projectgebied in te richten. In principe, omdat het wenselijk is om het meetnet in het randgebied in geringe mate met sensoren uit te breiden (zie verderop). Gunstige bijkomstigheid is dat het KNMI-meetnet al voldoende gegevens genereert voor de Hazard en Risk-studies van het KNMI in het projectgebied.

Toelichting op het monitoringconcept van het beoogd meetnet voor het meten van bodembewegingen dat gebaseerd is op de uitvoering van trillingsmetingen:

- meetgegevens, sensoren, monitoring voldoen aan kwaliteitsrichtlijnen: richtlijn SBR-A, BRL5023, DIN 45669-1;
- weergave individuele meetpunten van KNMI-meetnet in ShakeMap als Peak Ground Velocity (PGV);
- realtime weergave individuele meetpunten van trillingssensoren;
- dynamische weergave van grenswaarde als isoseist in de ShakeMap.

*Afb. 5.1 - Overzicht met correctiefactoren ten behoeve van het vaststellen van de grenswaarde PGV van het beoogde meetnet.*



*\*ook accelerosensoren, meetgegevens worden in de sensor omgerekend van  $mm/s^2$  naar  $mm/s$*

In paragraaf 5.3 zijn de correctiefactoren verder toegelicht.

## 5.2 Uitwerking concept

De sensoren van het TNO- en KNMI-meetnet zijn toereikend om vlakdekkende metingen naar geïnduceerde aardbevingen in het projectgebied te verrichten.

In de dichtbevolkte gebieden staan in objecten accelerosensoren van het TNO-meetnet opgesteld. Het is van meerwaarde om de meetgegevens van het KNMI-meetnet te verrijken met de meetgegevens van het TNO-meetnet. De meetgegevens van het TNO-meetnet kunnen informatie over geïnduceerde aardbevingen die in objecten worden gemeten, leveren.



Overige meetnetbeheerders/-eigenaar worden in de gelegenheid gesteld om hun meetgegevens aan het beoogde meetnet toe te voegen. Hiervoor gelden kwaliteitsrichtlijnen waaraan moet worden voldaan zodat meetgegevens van een meetpunt in het projectgebied vergelijkbaar, betrouwbaar en reproduceerbaar zijn.

Verder is met dit onderzoek vastgesteld dat de nauwkeurigheden van de accelerosensoren of geofoons in het projectgebied verschillend kunnen zijn. Het resultaat van het verschil is dat de minder nauwkeurige accelerosensoren geïnduceerde aardbeving op grotere afstand (kilometers) van het epicentrum en/of het centrum met de sterkste aardbeving niet zullen meten.

Tiltsensoren kunnen informatie geven over de scheefstand van een object. Deze verandering aan een object kan de oorzaak zijn van een geïnduceerde aardbeving maar ook van ongelijkmatige bodemdaling. Feitelijk is hierover nog niets bekend en daarom adviseren wij om een aanvullend onderzoek in het projectgebied uit te voeren (zie paragraaf 5.5). Het onderzoek zou dan gepaard gaan met de inzet van tiltsensoren. Voor het onderzoek zal over de mate van inzet van tiltsensoren een afweging worden gemaakt.

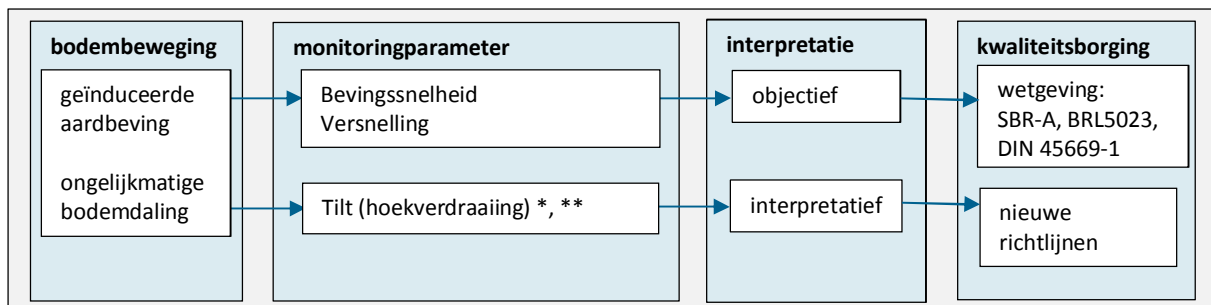
Overige sensoren zoals waterspanningssensoren leiden tot de opbouw van kennis over bodembewegingen maar leveren geen directe input voor dit onderzoek.

Aan het beoogde meetnet kan ook een mobiel meetnet worden toegevoegd. Het mobiele meetnet bestaat uit accelerosensoren of geofoons en tiltsensoren. Het mobiele meetnet wordt plaatselijk en gedurende een kortere periode ingezet. De sensoren verzamelen meetgegevens die worden gebruikt voor de beoordeling van specifieke vragen over schade van en veiligheid aan objecten van belanghebbenden in het projectgebied.

*Het beoogde meetnet zal een accuraat en betrouwbaar beeld opleveren van geïnduceerde aardbevingen in het projectgebied. Er zijn meer activiteiten die bodemtrillingen veroorzaken. Het beoogde meetnet moet juist daarom ook op kritische locaties in het projectgebied informatie over trillingen veroorzaakt door treinverkeer, autoverkeer, bouwwerkzaamheden leveren.*

In afbeelding 5.2 is het concept ontsluiting van meetgegevens voor het beoogde meetnet schematisch weergegeven. Voor het borgen van kwaliteit van het beoogde meetnet zijn het vigerende beleid en de nationale richtlijnen van toepassing. Deels zal hieraan met nieuwe richtlijnen invulling worden gegeven.

Afb. 5.2 - Concept ontsluiting van meetgegevens voor het beoogde meetnet.



**Opmerking, verzamelen van meetgegevens met aanvullende sensoren ten behoeve van de monitoring van ongelijkmatige bodemdaling:**

- \* klimaatparameters: temperatuur omgevingslucht binnen en buiten, luchtdruk, windrichting, windsnelheid, neerslagintensiteit en zonuren
- \*\* hoogfrequentie waterspanning
- BRL5023<sup>17</sup>, het KOMO® procescertificaat voor “het meten van geïnduceerde aardbevingen”.
- DIN 45669-1 de norm waaraan de sensor moet voldoen om bevingsmetingen uit te voeren.

De meetgegevens die met het beoogde meetnet worden gegenereerd, zijn transparant en geven de belanghebbenden van het projectgebied inzage in de onzekerheden ervan. De belanghebbenden zijn gebaad bij duidelijkheid over een acceptabel niveau van onzekerheid dat met de bedrijfsvoering van het beoogde meetnet samengaat.

De meetgegevens zijn real time beschikbaar en op een begrijpelijke wijze ontsloten. Een technische uiteenzetting alleen van de meetgegevens is onvoldoende. Het beoogde meetnet moet voor alle belanghebbenden van het projectgebied een gevoel van vertrouwen geven. Uiteindelijk worden de meetgegevens gebruikt voor de inventarisatie en vaststelling van risico's voor industrie, infra en gebouwschade. De meetgegevens zelf geven echter nog geen uitsluitsel over schade en veiligheid van een object.

## 5.3 Grenswaarde

Navolgend is een methode beschreven die gebruikt kan worden voor het vaststellen van de grenswaarde op schade aan en veiligheid van de objecten in het projectgebied. Er wordt van een generieke grenswaarde voor alle objecten in het projectgebied uitgegaan. Of een generieke grenswaarde voor alle objecten vastgesteld kan worden, zal met specialisten nader bepaald worden. Expliciet moet worden genoemd dat het een voorstel betreft en de grenswaarde uiteindelijk alleen in overeenstemming met de belanghebbenden van het projectgebied kan worden vastgesteld.

De dominante frequentie van geïnduceerde aardbevingen in het projectgebied bedraagt circa 10 Hz. Bij 10 Hz bedraagt de grenswaarde 3 mm/s voor gebouwen in slechte staat volgens de richtlijn SBR-A. De richtlijn SBR-A onderscheidt voor het beoordelen van schade in drie categorieën I, II en III gebouwen (SBR., 2010). Aan deze drie categorieën gebouwen worden verschillende correctiefactoren toegekend. Voor het beoogde concept zijn wij van bouwtype: categorie III uitgegaan, vgl. voor infrastructuur en industriële installaties. Dat betekent dat de hoogste correctiefactor is aangenomen en de voorgenoemde grenswaarde in mindering wordt gebracht. Voor categorie III geldt een situatie waarin alle objecten in het projectgebied in een slechte staat verkeren.

---

<sup>17</sup> De Beoordelingsrichtlijn BRL 5023 behandelt het proces van het meten van geïnduceerde aardbevingen en is bedoeld om de kwaliteit van SBR-gerelateerde projecten te verhogen. Bedrijven die zich laten certificeren, mogen het KOMO keurmerk voeren voor het uitvoeren van bevingsmetingen. Dit is een algemeen geaccepteerd keurmerk in de bouw.

Daarnaast wordt voor het type geïnduceerde aardbeving een correctie toegepast met als gevolg een verdere verlaging van de grenswaarde. De langste geïnduceerde aardbevingen van een geïnduceerde aardbeving die tot dusver in Groningen gemeten is, bedroeg 10 seconden. Er is dan sprake van een kortdurende aardbevingen. Aangezien de geïnduceerde aardbevingen periodiek over het jaar gemeten worden (gemiddeld 20 keer per jaar met magnitude groter dan 2 (Staatstoezicht op de Mijnen, Halfjaarlijkse rapportage ontwikkeling seismiciteit in Groningen, 2016), moet de vraag gesteld worden of er niet sprake van een herhaald kortdurende aardbeving is. De correctiefactor kan bepaald worden op basis van de meetgegevens van trillingssensoren en tilsensoren

Onduidelijk is wat de effecten zijn van scheefstand door een geïnduceerde aardbeving en ongelijkmatige bodemdaling door de winning van aardgas op de schade en constructieve vervorming van een object. Wij adviseren om deze effecten met nader onderzoek vast te stellen (zie paragraaf 5.5). Voor dit onderzoek kunnen de meetgegevens van tilsensoren gebruikt worden. Uitkomst ervan zou een correctiefactor voor ongelijkmatige bodemdaling in het projectgebied kunnen zijn.

*De grenswaarde die voor het beoogde meetnet vastgesteld wordt, zal vanuit het schadespoor bepaald worden én vanuit de schaderichtlijn die geldt voor bodemtrillingen.*

*Rekenvoorbeeld:* De grenswaarde uit de richtlijn SBR-A zou 3 mm/s bedragen. Deze grenswaarde wordt vervolgens naar 2 mm/s gecorrigeerd. De gecorrigeerde grenswaarde wordt dan als isoseist in de ShakeMap weergegeven.

Ter vergelijking, in de periode 2014-2015 bedroeg het merendeel deel van de gemeten peaksnelheden van de geïnduceerde aardbevingen maximaal 4 mm/s in het projectgebied (H. Borsje et al., Monitoringnetwerk gebouwtrillingen - Analyse aardbevingen in 2014 en 2015, 2016). Dat betekent dat de objecten in het gebied die binnen de isoseist van 2 mm/s vallen én waarvoor schade door een belanghebbende is gemeld door een onafhankelijke partij, geïnspecteerd worden.

Wie draagt de verantwoordelijkheid voor het vastleggen van de grenswaarde?

*De verantwoordelijkheid voor het vastleggen van de grenswaarde ligt bij de overheid, zodat de overheid zelf, de wetenschap, het bedrijfsleven en de burgers in dialoog tot een breed gedragen acceptabel grenswaardeniveau kunnen komen.*

## 5.4 Vaststelling van effecten

Het beoogde meetnet staat dus aan de basis van de procedures die gemoeid zijn met het vaststellen en afhandelen van schade en veiligheidsaspecten aan gebouwen, infrastructuur en industriële installaties. Op een kaart met de weergave van de meetgegevens vormt de isoseist voor de grenswaarde een ring rond het epicentrum. Het epicentrum hoeft overigens niet de locatie te zijn waar de grootste geïnduceerde aardbeving gemeten is. De isoseist van de grenswaarde beweegt als gevolg van de real time weergave van de meetgegevens voor de PGV dynamisch over het kaartvlak van de ShakeMap.

*De isoseist van de grenswaarde voor de bevingssnelheid (PGV) op een ShakeMap beweegt dynamisch over het kaartvlak. De isoseist geeft de grens aan in het projectgebied waarbinnen schade kan zijn ontstaan als gevolg van geïnduceerde aardbevingen in het projectgebied. De overschrijding van de grenswaarde geeft nog geen uitsluitel over schade aan een object. Eventuele schades aan objecten kunnen binnen de isoseist voor de grenswaarde pas vastgesteld worden door inspecties.*

Resumé, vaststelling van effecten:

#### **Ontsluiten van meetgegevens**

- ShakeMap is online toegankelijk.
- Monitoringparameter bevingssnelheid, PGV - Peak Ground Velocity<sup>18</sup>.
- Eenheid van de meetgegevens in de ShakeMap is [mm/s].
- Real time weergave van meetgegevens.
- Dynamische weergave van de grenswaarde als isoseist.
- (Historische) meetgegevens zijn online voor alle belanghebbenden beschikbaar.

#### **Specificaties van sensoren**

- De technische specificatie van de bevingssensoren voldoen aan de richtlijn SBR-A.
- Periodieke kalibratie van de sensoren conform de richtlijn SBR-A.
- Kwaliteitsrichtlijnen voor het plaatsen van sensoren zijn de richtlijnen van de SBR-A, BRL 5023 en DIN 45669-1.

#### **Regie over het beoogde meetnet**

- Onafhankelijke commissie houdt toezicht op het beheer en onderhoud van het beoogde meetnet.

#### **De inzet van tilsensoren**

Tilsensoren kunnen de scheefstand of constructieve vervorming van een gebouw meten na een geïnduceerde aardbeving. Tilsensoren brengen echter ook scheefstand in de loop van de tijd in als gevolg van ongelijkmatige bodemdaling in beeld. Hieraan kunnen verschillende oorzaken bijdragen. Voor dit onderzoek is de bijdrage door de winning van aardgas relevant. Over de scheefstand of constructieve vervorming is praktisch gezien nog niets bekend. Aanvullend onderzoek waarbij een beslissing over de mate van inzet van tilsensoren wordt gemaakt, zal uitsluitel over de relevantie van de verschijnselen voor dit onderzoek geven.

Voor de schadevaststelling en -beoordeling met tilsensoren zouden de criteria van Boscardin & Cording (1989) kunnen worden gebruikt (J.L. Bijnagte et al., 2011). Deze criteria zijn gerelateerd aan het hoekverdraaiingsverschil<sup>19</sup> die met tilsensoren worden gemeten. De criteria zijn in tabel 5.1 weergegeven.

---

<sup>18</sup> PGV (Peak Ground Velocity) staat voor de gemeten snelheid van een geïnduceerde aardbeving van een geïnduceerde aardbeving aan de grond.

<sup>19</sup> De verschilzetting tussen twee funderingselementen wordt uitgedrukt als hoekverdraaiing.

Tab. 5.1 - Schadecriteria gerelateerd aan hoekverdraaiingsverschil (Boscardin & Cording, 1989).

| Schadeklasse                | Hoekverdraaiingsverschil $\delta$<br>(relatieve rotatie) |
|-----------------------------|--|
| Zeer licht (cosmetisch)     | $0,0010 < \delta < 0,0016$                               |
| Licht                       | $0,0016 < \delta < 0,0033$                               |
| Matig tot ernstig           | $0,0033 < \delta < 0,0067$                               |
| Zeer ernstig (constructief) | $0,0067 < \delta$  |

De hoekverdraaiing alleen van een funderingselement zegt echter nog niets over het daadwerkelijke voorkomen en de oorzaak van constructieve schade aan een object.

## 5.5 Omgaan met onzekerheden

Voor een integraal onderzoeksprogramma is fundamentele kennis over de volgende thema's te vergaren:

- Vaststelling van de relevante reikwijdte van geïnduceerde aardbevingen. Dit kan door het huidige KNMI-meetnet in het randgebied van het gaswingebied van het Groningenveld primair voor de accelerosensoren/geofoons in zuidelijke richting uit te breiden. De reden is dat de sensoren die voor de KNMI-meetnetten worden gebruikt, de effecten van geïnduceerde aardbevingen op vele kilometers afstand van het epicentrum kunnen registreren. Accelerosensoren van een ander type kunnen dat niet.
- De impact van bodembewegingen veroorzaakt met de winning van aardgas op schade aan gebouwen dient nader te worden onderzocht. Hierbij moet een afweging worden gemaakt over de van inzet van tiltsensoren.
- De mate waarin scheefstand van een object na een geïnduceerde aardbeving en ongelijkmatige bodemdaling invloed op de schade aan en veiligheid van objecten kan hebben, zal uit aanvullend onderzoek moeten blijken.
- Verificatie van de relatie voor de monitoringparameter trillingssnelheid in objecten en daarbuiten (PGV) (transferfunctie) met behulp van experimenteel onderzoek en de meetgegevens van de TNO- en KNMI-meetnetten.
- Onderzoek naar de waarnemingen van tiltsensoren in het buitengebied.

Intern wordt door TNO een database bijgehouden van in de media gemelde schadegevallen aan constructies in Nederland (G.G.A. Dieteren et al., 2009). Ons advies luidt om deze database bij te houden en voortdurend te actualiseren met de ervaringen die in het projectgebied worden opgedaan. Het onderhouden en verfijnen van de database zou onderdeel van het voorgestelde onderzoeksprogramma kunnen zijn.

Het onderzoeksprogramma wordt door de wetenschap en daartoe gespecialiseerde bedrijven gedragen. Op deze wijze is geborgd dat, gezien de urgentie, onderzoek en praktijk haar kennis en kunde op een effectieve wijze combineren en op elkaar afstemmen. Deze kennis en kunde is voor een deel opgebouwd met de historische meetgegevens van de huidige meetnetten in het projectgebied.

## 6 Ontsluiting meetgegevens

Op welke wijze zou de ontsluiting en duiding van de meetgegevens van het beoogde meetnet voor het meten van bodembewegingen als gevolg van geïnduceerde aardbevingen plaats moeten vinden? Is daarbij sprake van transparantie en objectiviteit? Welke wensen en eisen zouden concreet aan een organisatie gesteld moeten worden?

Dit hoofdstuk beschrijft een concept over de mogelijkheden van ontsluiting van meetgegevens voor het beoogde meetnet en het gebruik ervan voor de beoordeling van veiligheid van en schade aan objecten in het projectgebied.

### 6.1 Stappenplan

*Het beoogde meetnet moet representatief zijn om de meetgegevens met voldoende betrouwbaarheid te veralgemeniseren tot een uitspraak over schade en veiligheid voor alle gebouwen, infrastructuur en industriële installaties in het projectgebied. De meetgegevens zelf geven geen uitsluitel over schade en veiligheid van een object maar worden gebruikt voor de beoordeling ervan.*

Tab. 6.1 - Stappenplan automatiseren van meetgegevens van accelerosensoren en geofoons van het beoogde meetnet.

| Stap | Activiteit   | Beheerder/Eigenaar  |
|------|--|---|
| 1    | Meten van de Peak Ground Velocity (PGV) (PGA wordt omgerekend) in de buitenomgeving en in gebouwen   | KNMI-meetnet,<br>TNO-meetnet<br>(mobiele meetnet)<br>(overige meetnetten) |
| 2    | Real time opslag van de data uit stap 1 in centrale database   | KNMI-meetnet  |
| 3    | Berekenen van de magnitude van de geïnduceerde aardbeving  |   |
| 4    | Berekenen Ground Motion Prediction Equation (GMPE), relatie tussen magnitude en PGV  |   |
| 5    | Weergave van PGV in ShakeMap, weergave grenswaarde als isoseist door automatisch interpoleren op basis van GMPE en meetgegevens in de kaart, (de GMPE vult de ShakeMaps aan daar waar geen metingen beschikbaar zijn). |   |
| 6    | Vergelijking berekende geïnduceerde aardbevingen in objecten met gemeten trillingen in objecten  |   |
| 7    | Controle of buiten contour ShakeMap tilt is gemeten  |   |
| 8    | Aanpassingen ShakeMap o.b.v. deze vergelijking en controle   |   |

#### Opmerkingen:

- Het onbewerkt gemeten versnellingsingaal PGA van de accelerosensoren wordt gebruikt na eliminatie van de offset.
- Na filtering van de offset word het signaal PGA geïntegreerd in een snelheidssignaal PGV (B. Dost et al., 2013).
- De overdracht van geïnduceerde aardbevingen op gebouw wordt bepaald voor elk van de individuele signaalkenmerken als een overdrachtsfactor. Dit wordt gedaan voor de horizontale componenten X en Y. De overdrachtsfactor is in vorige studies reeds bepaald door KNMI.

## 6.2 Meetnet

### **Monitoring van bodembewegingen op maaiveldniveau met accelerosensoren en geofoons met het KNMI-meetnet**

Het KNMI-meetnet met accelerosensoren vormt de basis voor het beoogde meetnet. De accelerosensoren van het KNMI-meetnet zijn met een globale hard-op-hard afstand van ca. 4 km gelijkmatig verdeeld over het Groningenveld geplaatst (nauwkeurigheid meetgegevens bedraagt 100 m x 100 m). Een aantal sensoren van het KNMI staan in objecten opgesteld. De spreiding van het meetnet is dusdanig dat de beïnvloedbare aspecten voor de intensiteit van de geïnduceerde aardbeving op maaiveldniveau worden meegenomen (opslingereffect, natuurlijke zetting).

*Het beoogde meetnet met accelerosensoren van het KNMI-meetnet is voldoende nauwkeurig om de hypocentra van de geïnduceerde aardbevingen voor het gehele projectgebied vast te leggen maar kan ook als input voor de berekening van de Ground Motion Prediction Equation dienen.*

### **Verrijken KNMI-meetnet met sensoren van het TNO-meetnet**

Het TNO-meetnet bevat > 350 gebouwsensoren. Het betreft accelerosensoren. De sensoren meten voor vrijwel alle situaties op het stijfste punt de bevingssnelheid van de geïnduceerde aardbevingen aan de objecten in drie richtingen (twee horizontaal, één verticaal). De sensoren zijn met name in de dichter bevolkte gebieden en industriegebieden geïnstalleerd. Om privacy redenen is niet de exacte locatie van het gebouw waarin de sensor zich bevindt, op kaart getoond. Een meetpunt is met het vierkant kilometerblok waarin het gebouw zich bevindt, weergegeven.

Het TNO-meetnet is een goede aanvulling op het meetnet van KNMI. De meetgegevens van het TNO-meetnet zijn in pandig geplaatst en geven bijvoorbeeld detailinformatie over de overdracht van de geïnduceerde aardbevingen van de grond naar een gebouw voor verschillende type gebouwen.

### **Verrijken van het KNMI- en TNO-meetnet met mobiel meetnet**

Het beoogde meetnet kan ook uitgebreid worden met een mobiel meetnet. Het mobiele meetnet bestaat uit accelerosensoren of geofoons en tiltsensoren en wordt plaatselijk en gedurende een kortere periode ingezet. De sensoren verzamelen meetgegevens die gebruikt worden voor de beoordeling over specifieke vragen voor schade aan en veiligheid van objecten van belanghebbenden.

### **Verrijken KNMI- en TNO-meetnet met sensoren van meetnetten van overige meetnetbeheerders/-eigenaren**

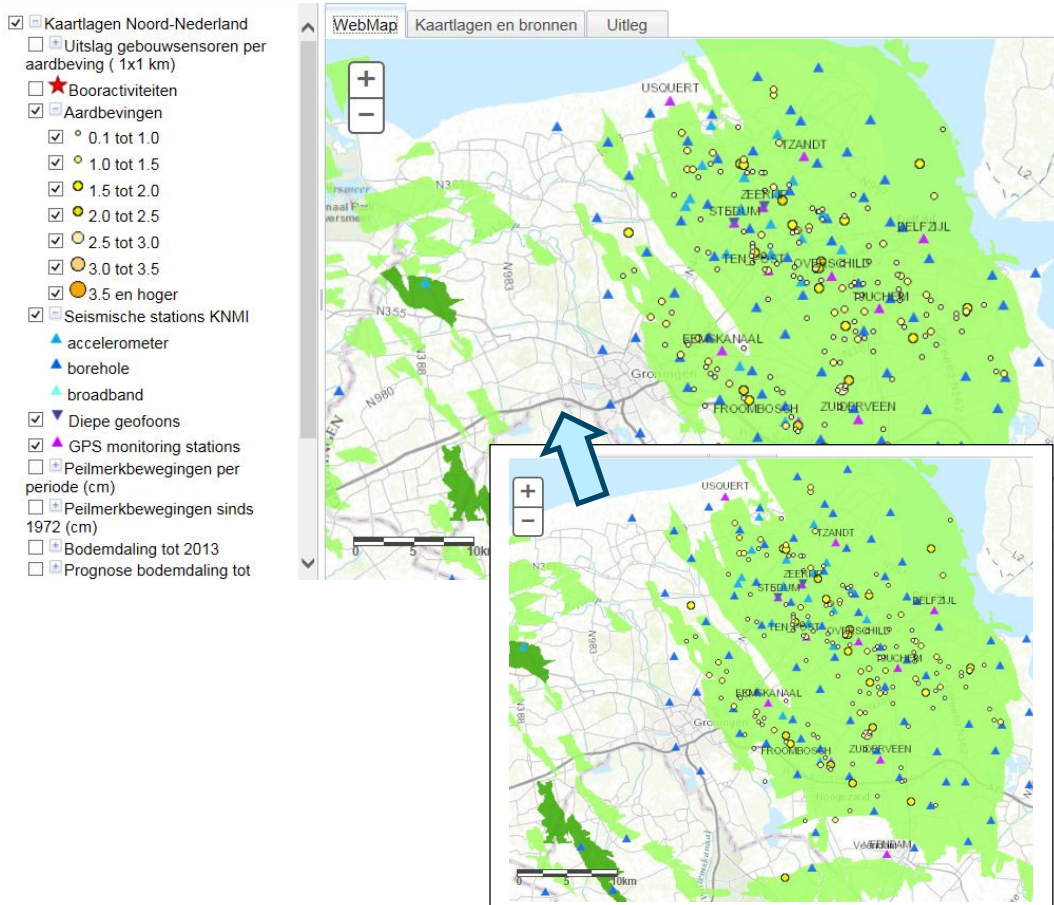
Overige beheerders/eigenaren kunnen de meetgegevens van meetnetten met accelerosensoren of geofoons aan het ICT-platvorm van het beoogde meetnet toevoegen. Het ICT-platvorm is de gemeenschappelijk database met meetgegevens van de meetnetten. Een belangrijke randvoorwaarde is wel dat de sensoren aan kwaliteitsrichtlijnen voldoen (zie afb. 5.2).

Dit onderzoek heeft aangetoond dat de specificaties van de accelerosensoren of geofoons duidelijkheid geven over de inzet ervan in gebouwen of de buitenomgeving. Afhankelijk daarvan worden alleen registraties van lokale aardbevingen gedaan en verderaf niet.

### Locaties van huidige meetpunten (accelerosensoren of geofoons)

In de navolgende afbeelding 6.1 is een overzicht met de locaties van sensoren van het TNO-meetnet en KNMI-meetnet weergegeven.

Afb. 6.1 - Locatie met gebouwsensoren van het TNO-meetnet en seismische stations van het KNMI-meetnet (accelerosensoren, borehole sensoren, breedbandsensoren, diepe geofoons en GPS monitoringstation) in het wingebed van het Groningenveld (bron: <https://nam-feitenencijfers.data-app.nl/geotool/nam.html?layer=beving,velden>).



De meetpunten van afbeelding 6.1 zijn vooral geconcentreerd in het gebied met de hoogste aardbevingsdichtheid. Aan de zuidkant grenzen overige mijnbouwactiviteiten (o.a. zoutwinning, overige gasvelden). Het aantal meetpunten is daar beduidend minder. Voor een eenduidige interpretatie van de meetgegevens adviseren wij om het beoogde meetnet primair voor de accelerosensoren/geofoons in zuidelijke richting met een aantal meetpunten uit te breiden. Als verificatie van deze uitbreiding adviseren wij om eerst een grondige gevoeligheidsanalyse uit te voeren.



*Het exacte aantal uit te breiden meetpunten hangt af van de huidige ontwikkelingen die het KNMI met een uitbreiding van haar meetnet gepland heeft. Daarbij zal moeten blijken of de dichtheid van de sensoren voor de industriegebieden zoals de Eemshaven of het chemiepark van Delfzijl voldoende is. Voor deze beoordeling ontbreekt momenteel de vereiste informatie.*

De uitbreiding met accelerosensoren of geofoons van het huidige TNO-meetnet of van een andere meetnetbeheerders/eigenaren is voor het beoogde meetnet daartegen niet noodzakelijk.

#### **Metten met tilsensoren van scheefstand en constructieve vervorming van een object**

De effecten van ongelijkmatige bodemdaling en van aardbevingen op de scheefstand en opbouw van constructieve vervorming van objecten in het projectgebied kunnen met tilsensoren gemeten worden. Indien echter scheefstand gemeten wordt, kan dit verschillende oorzaken hebben zoals natuurlijke zetting of de winning van aardgas.

De meetgegevens zijn zodoende niet eenduidig te interpreteren. Met aanvullend onderzoek zal dit wel moeten blijken.

Over de behoefte naar het aantal tilsensoren waarmee aanvullende gegevens gegenereerd worden, kan op dit moment geen uitspraak worden gedaan. Het onderzoeksprogramma moet door de wetenschap en daartoe gespecialiseerde bedrijven worden gedragen. Daarbij zal een gezamenlijke afweging worden gemaakt over het aantal tilsensoren dat wordt ingezet.

Het resultaat van het aanvullend onderzoek kan zijn dat de inzet van tilsensoren in het projectgebied gewenst is. De meetgegevens van tilsensoren dienen dan ook weergegeven te worden. Daarbij moet aansluiting worden gezocht met de hiervoor beschreven ShakeMap. De meetgegevens die gegenereerd worden, kunnen ook gebruikt worden om een grenswaarde voor schade aan en veiligheid van objecten in het projectgebied vast te stellen (zie hoofdstuk 5).

#### **Aanvullende monitoring van de grondwaterkwaliteit**

Belanghebbenden van het projectgebied vermoeden dat met de processen die rondom de compactie door gaswinning in de diepe ondergrond in het projectgebied spelen, de kwaliteit van het oppervlaktewater beïnvloed wordt. Dit zou met een aantal monitoringgrondes getoetst kunnen worden. Over de locaties van monitoring stemmen de belanghebbenden van het projectgebied eerst gezamenlijk af.

### **6.3 Bundeling van meetgegevens**

Uniformiteit met het beoogde meetnet wordt bereikt met het verzamelen van gegevens die voldoen aan dezelfde kwaliteitscriteria. Dat betekent voor het beoogde meetnet dat aan de huidige en/of toekomstige richtlijnen voor de aanschaf, het in bedrijf nemen en houden van wordt voldaan.

Een kwaliteitssysteem (eq. DIN, SBR, BRL) moet borgen dat een sensor ten allen tijde een correcte waarde meet en deze met een meetgegeven van een ander meetpunt vergelijkbaar is. Dat wil zeggen dat de absolute tijd beschikbaar is voor alle meetgegevens van sensoren. De beheerder van het deel van het meetnet mag verantwoordelijk worden gehouden voor wat gemeten moet worden.

Verder worden de meetgegevens van het beoogde meetnet centraal door een onafhankelijke organisatie beheerd, de data centraal gebundeld en ontsloten.

Zowel TNO als KNMI hebben eigen (vergaand geautomatiseerde) procedures aangaande de data-handling welke mogelijk in elkaar geschoven kunnen worden. Dit vraagt om afstemming tussen de partijen.

*Het beoogde meetnet verzamelt alle gegevens op één centrale plaats en maakt deze op een objectieve manier beschikbaar aan de belanghebbende van het projectgebied. Meetgegevens zijn openbaar, toegankelijk, leesbaar en te interpreteren. Het beoogde meetnet draagt daarnaast bij aan de kennisopbouw voor de vaststelling van schade aan en risico's voor een object, veroorzaakt door geïnduceerde aardbevingen.*

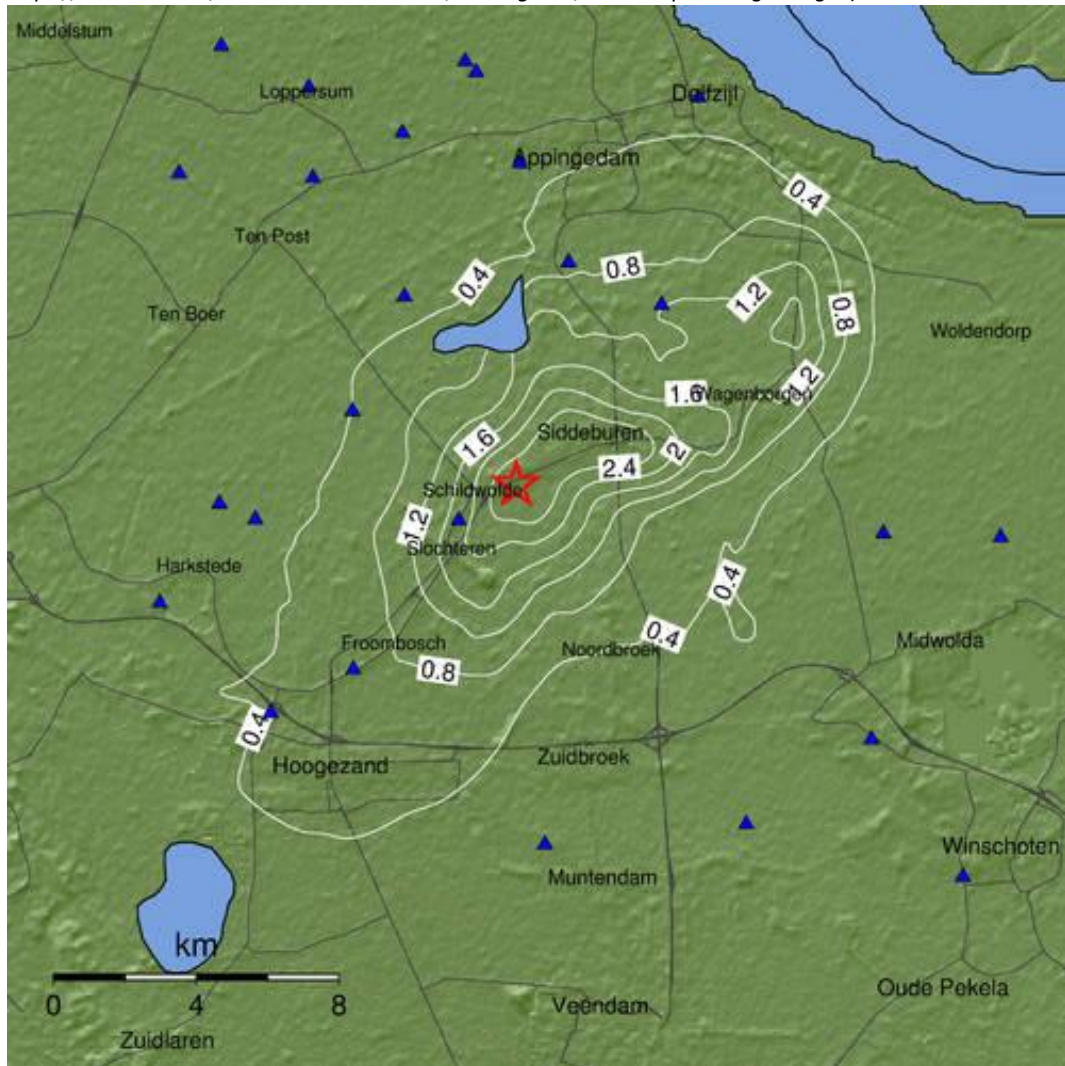
Wij adviseren om een centraal punt in te richten waar men terecht kan met vragen over de metingen.

## 6.4 Ontsluiting van meetgegevens

De ontsluiting van de meetgegevens van het beoogde meetnet gebeurt middels de weergave als ShakeMap. Een ShakeMap is een representatie van de opgetreden grondversnelling ten gevolge van een aardbeving (PGA, Peak Ground Acceleration). De meetgegevens van het KNMI-meetnet worden nu al als ShakeMap weergegeven. Het KNMI publiceert een ShakeMap na het optreden van een geïnduceerde aardbeving in Groningen met een magnitude groter dan 2.0.

ShakeMaps worden momenteel door het KNMI berekend voor bevingen met een magnitude > 2.0, dit om ervoor te zorgen dat er genoeg betrouwbare data beschikbaar is om een ShakeMap uit te kunnen rekenen. In de navolgende afbeelding 6.2 is een voorbeeld van een ShakeMap van het KNMI weergegeven.

Afb. 6.2 - ShakeMap PGA (%g) van aardbeving bij Hellum (M3.1) september 2015, bron: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/shakemaps-voor-groningen>).



Overeenkomstig de ShakeMap zoals in afbeelding 6.3 is weergegeven, zal een ShakeMap van het beoogde meetnet een isoseist voor de grenswaarde weergeven. De meetgegevens van de overige meetpunten kunnen als getal in de ShakeMap worden weergegeven. Desgewenst kunnen isoseisten voor verschillende waarden worden weergegeven.

In de bijlage 5 is een voorbeeldproject over het ontsluiten van meetgegevens voor geïnduceerde aardbevingen in Duitsland met behulp van de real time weergave van ShakeMaps door DMT-Group beschreven.

## 6.5 Regie over het concept

Om het beoogde meetnet te kunnen realiseren, moet door meerdere partijen worden afgestemd. De installatie met het beheer en onderhoud van het beoogde meetnet kan binnen afzienbare tijd worden gerealiseerd, immers een deel van de ontwikkelingen zijn reeds door het KNMI gedaan en worden dagelijks toegepast.

Voor de toekomst zal er overeenstemming tussen belanghebbenden van het projectgebied moeten ontstaan over de grenswaarde die voor de monitoringparameter bevingssnelheid geldt.

Voor de beantwoording van een aantal vragen uit het aanvullende onderzoek (zie vorige paragraaf) kunnen de meetgegevens van het beoogde meetnet goed worden gebruikt.

Wij adviseren om een instantie te benoemen, die de controle over het beheer en onderhoud van het beoogde meetnet verricht. Het beheer en de controle over de juistheid van meetgegevens moet door een tweede aangewezen instantie worden gedaan. Het is belangrijk dat deze instantie onafhankelijk opereert. Alle meetgegevens worden verzameld in een ICT-omgeving die voor de belanghebbenden van het projectgebied real time toegankelijk zijn.

## 7 Literatuur

- (TNO), o. (2013). *Toetsing van de bodemdalingsprognoses en seismische hazard ten gevolge van gaswinning van het Groningen veld*. Utrecht: TNO.
- Aardgaswinning., C. B. (2016). *Jaarverslag 2016*. Groningen: Commissie Bodemdaling door Aardgaswinning.
- al., H. W. (2016). *Onderzoek meetinstrumentaria - Inventarisatie en onderzoek naar aardbeving gerelateerde meetnetten in de provincie Groningen*. Sweco Nederland B.V., De Bilt.
- al., J. R. (2016). *Werk sessie meetinstrumenten 3 oktober*. Appingedam: Nationaal Coördinator Groningen.
- al., J. S. (2016). *Probabilistic Seismic Hazard Analysis for Induced Earthquakes in Groningen, Update June 2016*. De Bilt: KNMI.
- al., P. B. (1992). *Normen voor het meten en beoordelen van lichaamstrillingen*. Nederlands Instituut voor Preventieve Gezondheidszorg. Leiden: Tijdschrift voor toegepaste Arbowetenschap.
- al., R. S. (2015). *Review Van Rossum Rapport 'Technische Impact Analyse NPR 9998'*. Delft: TNO.
- al., R. S. (2015). *Veiligheidsbeschouwing aardbevingen Groningen t.b.v. NPR 9998*. Delft: TNO.
- B. Dost et al. (2013). *Report on the expected PGV and PGA values for induced earthquakes in the Groningen area*. De Bilt: KNMI.
- B.B.T. Wassing et al. (2004). *Seismisch hazard van geïnduceerde aardbevingen - rapportage fase 2*. Utrecht: TNO-NITG.
- B.B.T. Wassing et al. (2012). *Seismisch hazard van geïnduceerde aardbevingen, integratie van deelstudies*. Delft/De Bilt: TNO/KNMI.
- G.G.A. Dieteren et al. (2009). *Samenvatting analyse van schades*. Delft: TNO.
- Groningen., N. C. (2016). *Meerjarenprogramma Aardbevingsbestendig en Kansrijk Groningen 2017-2021*. Groningen: Nationaal Coördinator Groningen.
- H. Borsje et al. (2011). *Methodiek voor onderzoek naar de oorzaak van gebouwschade - versie 2*. Delft: TNO.
- H. Borsje et al. (2013). *Analyse van de gevolgen van de aardbeving te Huizinge d.d. 16 augustus 2012*. Delft: TNO.
- H. Borsje et al. (2016). *Monitoringnetwerk gebouwtrillingen - Analyse aardbevingen in 2014 en 2015*. Delft: TNO.
- J. Spetzler et al. (2017). *Shakemaps for 'Maximum Considered Earthquake' scenario in Groningen*. De Bilt: KNMI.
- J. Stafleu et al. (2017). *Het opslingereffect van de Groninger ondergrond in kaart gebracht*. Utrecht: Geo.brief.
- J.C. Groos et al. (2013). *Untersuchung induzierter Erdbeben hinsichtlich ihrer Spuerbarkeit und eventueller Schadenswirkung anhand der DIN 4150*. Karlsruhe: Bauingenieur.
- J.G. Rots et al. (2016). *Validatieonderzoek rapporten Arcadis 'Schade buiten de contour'- Fase 1*. Delft: TU Delft, Faculty of Civil Engineering and Geosciences.
- J.L. Bijnagte et al. (2011). *Het bepalen van schadekansen ten gevolge van meerdere zettingsbedragen*. Delft: Geotechniek.
- NAM B.V. (2013). *Borgingsprotocol Seismisch Risico Groningen*. Assen: NAM B.V.
- NAM B.V. (2013). *Integraal Meet- en Monitoringplan Seismisch Risico Groningen*. Assen: NAM B.V.
- NAM B.V. (2014). *Data acquisitie- en studieprogramma ("Study and Data Acquisition Plan Induced Seismicity in Groningen")*. Assen: NAM B.V.

- NAM B.V. (2015). *Technische bijlage (bijlage 3) behorend bij het Meet- en Regelprotocol seimisch risico voor de gaswinning Groningen*. Assen: NAM B.V.
- NAM B.V. (2016). *Gaswinning Groningen - Meet- en Regelprotocol Aardbevingen (halfjaarlijkse rapportage)*. Assen: NAM B.V.
- NAM B.V. (2016). *Study and Data Acquisition Plan Induced Seismicity in Groningen - Update Post-Winningsplan 2016*. Assen: NAM B.V.
- P.C. van Staalduinen et al. (1995). *Trillingscriteria m.b.t. schade aan gebouwen*. Delft: TNO.
- P.C. van Staalduinen et al. (1998). *De relatie tussen schade aan gebouwen en lichte, ondiepe aardbevingen in Nederland: inventarisatie*. Delft: TNO.
- praktijkrichtlijn., N. 9. (2015). *NPR 9998 Nederlandse praktijkrichtlijn - Beoordeling van de constructieve veiligheid van een gebouw bij nieuwbouw, verbouw en afkeuren - Grondslagen voor aardbevingsbelastingen: geïnduceerde aardbevingen*. Delft: NRN.
- R. van der Salm et al. (2012). *SBR-A richtlijn niet eenduidig voor trillinggevoelige funderingen*. Delft: Geotechniek.
- SBR. (2010). *Trillingsrichtlijn SBR - Deel A - Schade aan gebouwen*. Rotterdam: SBR.
- Staatstoezicht op de Mijnen. (2016). *Halfjaarlijkse rapportage ontwikkeling seismiciteit in Groningen*. Den Haag: Staatstoezicht op de Mijnen,.
- Staatstoezicht op de Mijnen. (2016). *Methodiek voor risicoanalyse omtrent geïnduceerde bevingen door gaswinning*. Den Haag: Staatstoezicht op de Mijnen.
- Staatstoezicht op de Mijnen. (2016). *Halfjaarlijkse rapportage ontwikkeling seismiciteit in Groningen*. Den Haag: Staatstoezicht op de Mijnen.
- Stichting Bouwresearch. (2010). *Trillingsrichtlijn SBR - Deel A - Schade aan gebouwen*. Rotterdam: Stichting Bouwresearch.
- Veiligheid., D. O. (2015). *Aardbevingsrisico's in Groningen - Onderzoek naar de rol van veiligheid van burgers in de besluitvorming over de winning over de gaswinning (1959-2014)*. Den Haag: De Onderzoeksraad voor Veiligheid.
- Veiligheid., D. O. (2017). *Aardbevingsrisico's in Groningen - Stand van zaken opvolging aanbevelingen*. De Haag: De Onderzoeksraad voor Veiligheid,.
- W.H. Roos et al. (2009). *Kalibratiestudie schade door aardbevingen*. Delft: TNO.
- Waarts., P. (1997). *Kans op schade aan bouwwerken door trillingen*. Delft: TNO.
- Z. Zembata et al. (2017). *Rotational Ground-Motion Records from Induces Seismic Events*. Poland: Seismological Research Letters.

## Glossarium

### **Aardbeving**

Een aardbeving is een geïnduceerde aardbevingen of schokkende beweging van de aardkorst.

### **Accelerosensor**

Een accelerosensor of versnellingsopnemer is een sensor die aangeeft welke versnelling of vertraging een bewegend voorwerp ondervindt onder invloed van de krachten die er op uitgeoefend worden.

### **Bodembeweging**

De beweging van de bodem aan het oppervlak (door compactie of door een aardbeving op diepte).

### **Bodemdaling**

Bodemdaling komt door natuurlijke processen, zoals het inklinken van klei- en veenlagen door het gewicht van de lagen erboven. Bodemdaling kan ook komen door menselijk handelen. Bijvoorbeeld door inpoldering of door het winnen van delfstoffen. Er wordt een onderscheid gemaakt in gelijkmatige en ongelijkmatige bodemdaling (zie verderop).

### **Compactie**

Samendrukking van ondergrondse lagen onder het gewicht van bijvoorbeeld de bovenliggende gesteentelagen, bijvoorbeeld door het afnemen van interne gasdruk door gasproductie. Als er ondergronds compactie plaatsvindt, kan dat aan de oppervlakte gevolgen hebben in de vorm van bodemdaling.

### **Gelijkmatige bodemdaling**

Daling van het maaiveld - uitgedrukt in (centi-)meters - ten gevolge van compactie van bijvoorbeeld gesteenten in de ondergrond op gebiedsniveau.

### **Ongelijkmatige bodemdaling**

Vindt alleen plaats in de directe omgeving van de breuk, en is het directe gevolg van aanwezigheid van de breuk zelf (in dit geval door het aanwezige verzet van de reservoirblokken langs de breuk. Voor deze situatie geldt dat de breuk slechts de compactie in een beperkt deel van het reservoir 'voelt'. Maar deze ongelijkmatige compactie zou ook het gevolg kunnen zijn van drukverschillen over de breuk, in veen- of kleilagen.

### **Gefoon**

Een gefoon wordt gebruikt voor meting van geïnduceerde aardbevingen, de sensor converteert een spanning naar een bodemsnelheid.

### **Magnitude (Richter schaal)**

De kracht van de aardbeving in de ondergrond, in het kader van deze onderzoeken meestal uitgedrukt middels een bepaalde waarde op de schaal van Richter.

### **Seismiciteit**

Het optreden van (aard)bevingen.

### **Seismische dreiging (“seismic hazard”)**

In statistische analyses wordt de seismische dreiging meestal gedefinieerd als de kans dat een bepaalde waarde van grondversnelling wordt overschreden (binnen een bepaalde periode, bv. 1, 10 of 50 jaar).

### **Seismisch risico**

De kans op door aardbevingen veroorzaakte schade (aan mensen, gebouwen, infrastructuur, productie). Risico wordt – in het algemeen – bepaald door de combinatie van de kans dat iets gebeurt en de potentiële effecten daarvan. In die zin is “seismisch risico” de combinatie van de “seismische dreiging” en de potentiële effecten.

### **Schade**

Het effect van bodembewegingen op mensen, gebouwen, infrastructuur, productie, etc.



## Bijlage 1 - Chronologie monitoringactiviteiten<sup>20</sup>

In 1959 ontdekte NAM het Groningenveld. In 1969 begon NAM met het winnen van aardgas in het Groningenveld. Direct bij de start van de gaswinning was duidelijk dat dit tot daling van de bodem zou kunnen leiden. De NAM kwam in 1971 met een eerste prognose van de te verwachten bodemdaling. Metingen ondersteunden een prognose van destijds een meter in het centrum met een afzwakking naar de randen. Op 23 december 1986 vond in de omgeving van Assen (Drenthe) voor het eerst een geïnduceerde aardbeving plaats die in verband werd gebracht met de gaswinning. Deze had een kracht van 2,7 op de schaal van Richter.

Om meer inzicht te verkrijgen in het geïnduceerde aardbevingsmechanisme plaatste het KNMI een netwerk van zes seismosensoren rond het gebied van Assen, dat in 1989 operationeel werd. De plaatsing en het ontwerp van het meetnet waren in handen van het KNMI. Vanaf 1992 verzamelde het KNMI ook gegevens met behulp van boorgatseismosensoren in Finsterwolde (Groningen).

Tot 1993 werd de relatie tussen gaswinning en geïnduceerde aardbeving door de bij gaswinning betrokken partijen ontkend.

Vanaf 1995 werden netwerken van boorgatseismosensoren in gebruik genomen in Noordoost-Nederland en rond Alkmaar. Hiermee konden kleine geïnduceerde aardbevingen door gaswinning goed gemeten worden en werd de detectiegrens van aardbevingen verlaagd tot een niveau van 1,5 op de Schaal van Richter. Vanaf 1997 werden in Groningen en Drenthe diverse versnellingsensoren in huizen en andere gebouwen geplaatst om de kracht van de geïnduceerde aardbevingen in kaart te brengen. Hiermee zou eventuele schade verklaard kunnen worden. Deze versnellingsensoren werden door het KNMI geplaatst, deels op kosten van de NAM om met meer data tot een beter begrip van geïnduceerde aardbevingen te komen.

In de periode van 2004 tot 2010 werd het seismologisch meetnetwerk uitgebreid. Er werden acht versnellingsensoren geplaatst in de provincie Groningen en in 2010 kwamen er zes boorgatseismosensoren bij. Het KNMI gebruikte de door NAM gefinancierde apparatuur om meer gegevens over seismische activiteit te verzamelen.

In november 2012 verscheen het KNMI-rapport, dat in juli 2012 was opgesteld, met daarin een actualisering van de verzamelde seismologische gegevens tot aan het jaar 2010. Uit de analyse van de seismische data bleek dat de relatie tussen de magnitude van geïnduceerde aardbevingen en de frequentie van optreden in het Groningenveld anders is dan voor de overige velden. Het Groningenveld in Noord-Nederland was sinds 2003 het meest seismisch actief. Tegelijkertijd constateerde het KNMI dat de vrijgekomen seismische energie sinds 2001 toenam, evenals het aantal kleine en grote geïnduceerde aardbevingen.

In 2014 is een omvangrijk netwerk met accelerosensoren in het gaswingebied van het Groningenveld door TNO Bouw en Ondergrond geplaatst. De accelerosensoren zijn van hoge kwaliteit en registreren met een interval van 0,004 seconden (250 Hz). Het TNO-meetnet omvat inmiddels meer dan 300 sensoren. De meter zijn in hoofdzaak geplaatst in gebouwen.

---

<sup>20</sup> (Veiligheid., 2015)

TNO Bouw en Ondergrond heeft alle 'events' met een bevingssnelheid > 1 mm/s geregistreerd en voor de periode 2014-2016 gerapporteerd (H. Borsje et al., Monitoringnetwerk gebouwtrillingen - Analyse aardbevingen in 2014 en 2015, 2016). Van de ruim 12.000 events die in de periode 2014-2016 geregistreerd zijn, zijn 298 events (ca. 2,5%) verbonden aan de 12 geïnduceerde aardbevingen die gedurende deze periode in het gebied gemeten zijn. De magnitude M bedroeg tussen 1,9 en 3,0. De meetgegevens varieerden tussen 1 mm/s en 100 mm/s. De navolgende tabel 1.1 geeft een beknopt overzicht van meetgegevens voor de bevingssnelheid in getal en oorzaak gerelateerd aan bevingen in objecten:

*Hoofdoorzaken en meetgegevens voor de bevingssnelheid van bevingen in objecten, periode 2014-2016 (H. Borsje et al., Monitoringnetwerk gebouwtrillingen - Analyse aardbevingen in 2014 en 2015, 2016).*

| Oorzaak beving   | Max [mm/s] | Gemiddeld [mm/s] | Midden [mm/s] |
|------------------|------------|------------------|---------------|
| Verkeer          | 10         | 1,3              | 1,2           |
| Bouwactiviteiten | 80,1       | 3,8              | 1,6           |
| Aardbevingen     | 16,1       | 3,1              | 1,0           |

Naast geïnduceerde aardbevingen zijn bouwactiviteiten en verkeer de hoofoorzaak van bevingen die in objecten gedurende de monitoringperiode door TNO Bouw en Ondergrond gemeten zijn.

In de afgelopen jaren zijn door het bedrijfsleven aanvullend sensoren geplaatst die van type verschillen met de sensoren van TNO Bouw en Ondergrond en KNMI. In hoofdstuk 4 wordt hier nader op ingegaan.

## Bijlage 2 - Bodemdaling

Door gaswinning uit het Groningenveld daalt de bodem als gevolg van de winning van gas (compactie) in een groot deel van de provincie Groningen en in geringe mate daarbuiten. Deze gelijkmatige vorm van bodemdaling gaat zeer langzaam. De grootste bodemdaling vindt plaats in de omgeving van Loppersum.

Bij een scheefstand van 1 cm over een gevel van 10 m is geen noemenswaardige schade te verwachten. Gezien de zeer geringe scheefstand als gevolg van gelijkmatige bodemdaling door gaswinning kan dit niet de oorzaak zijn van verzakking van gebouwen en de daarmee gepaard gaande schade (bron: [www.commissiebodemdaling.nl](http://www.commissiebodemdaling.nl)).

De maximale bodemdaling door gaswinning in het centrum van het Groningenveld bedroeg in 2013 circa 33 cm. De productie van het Groningenveld zal naar de huidige inzichten worden voortgezet tot 2080. Volgens de huidige inzichten zal de bodemdaling als gevolg van gasproductie boven het Groningenveld omstreeks 2080 een waarde tussen de 40 en 54 cm op het diepste punt bereiken. Een waarde van 47 cm wordt het meest waarschijnlijk geacht. Volgens de laatste inzichten zal de bodemdaling in 2050 in het noordwestelijk gedeelte van het Groningenveld kleiner zijn dan eerder werd aangenomen als gevolg van het verwachte productieprofiel.

De onzekerheidsmarge voor de prognose 2050 is niet constant voor het gehele gebied. Voor het centrum van het Groningenveld wordt 15 % aangehouden. Aan de randen van het Groningenveld en boven de kleine velden 25%, en boven de velden die recent in productie zijn genomen of waarvan dat binnenkort zal gebeuren, 100 % (Aardgaswinning., 2016).

Door de maatregelen die in de loop van de tijd zijn genomen, zakt de waterstand mee met de bodemdaling en wordt vernatting van landbouwpercelen voorkomen<sup>21</sup>.

Als gevolg van gelijkmatige bodemdaling door gaswinning bedraagt de scheefstand momenteel minder dan 0,1 mm over een gevel van 10 m. Bij een scheefstand van 1 cm over een gevel van 10 m is geen noemenswaardige schade te verwachten. Gezien de zeer geringe scheefstand als gevolg van bodemdaling door gaswinning kan dit niet de oorzaak zijn van verzakking van gebouwen en de daarmee gepaard gaande schade (bron: [www.commissiebodemdaling.nl](http://www.commissiebodemdaling.nl)).

Daarnaast is er nog ongelijkmatige bodemdaling. De oorzaak van ongelijkmatige bodemdaling is lokaal en kan ondiep of diep in de ondergrond gelegen zijn. Het gevolg van ongelijkmatige bodemdaling is niet het risico op zichtbare schade maar op een toename van de scheefstand of spanning in de constructie van het object. Deze spanning kan op een willekeurig moment met een geïnduceerde aardbeving vrijkomen en zichtbare schade tot gevolg hebben.

---

<sup>21</sup> Er zijn bij CVW geen meldingen bekend van schade als gevolg van stijgend grondwater aldus onze Minister van Economische Zaken in een brief van 14 november 2016 aan de Voorzitter van de Tweede Kamer.

Navolgend zijn een aantal voorbeelden van ongelijkmatige bodemdaling beschreven, te weten:

1. Door verlaging van de (grond)waterstand kan in veengebieden bodemdaling ontstaan door o.a. oxidatie (een veenlaag komt boven de grondwaterstand te liggen waardoor zuurstof bij de organische componenten van het veen kan komen en afbraak/oxidatie plaats vindt). De oxidatie van het veen is een proces dat in Nederland al eeuwen aan de gang is.
2. Door de voortgaande bodemdaling in de veengebieden moet het waterpeil regelmatig worden verlaagd. Om het dalen van de bodem tot een minimum te beperken, wordt de waterstand in veel veengebieden zo hoog mogelijk gehouden.

*Ter illustratie: in het beheergebied van waterschap Hunze en Aa's kan de bodemdaling door veenoxidatie in de periode tussen 1955 en 2010 meer dan 1 m (ca. 2 cm per jaar) bedragen. De verschillen in bodemdaling kunnen daarbij sterk van plaats tot plaats variëren.*

In de periode tot 2050 wordt een bodemdaling door veenoxidatie van maximaal 0,4 m (ca. 1 cm per jaar) verwacht. Hierbij is met name de veendikte boven de grondwaterstand van belang (bron: [www.commissiebodemdaling.nl](http://www.commissiebodemdaling.nl)).

3. Kleigronden kunnen inklinken. Kleigronden ontstaan door opslibbing en bevatten aanvankelijk veel water. Wanneer het water door ontwatering uit deze gronden verdwijnt, komen de kleideeltjes dichter op elkaar te zitten en klinkt de bodem in.

*Inklinking van klei ontstaat voornamelijk in de periode nadat de klei voor het eerst of verder wordt droog gelegd. In zeer droge zomers kan zogenaamde irreversibele krimp optreden.*

Als de grondwaterstanden na de droogte weer stijgen, zal de klei niet volledig inklinken tot het oorspronkelijke volume omdat de kleideeltjes irreversibel zijn gebonden. Een geringe uitzetting van 3 % kan echter al tot schade aan woningen en gebouwen leiden.

4. Door ophoging en funderingen op staal ontstaat een extra belasting van de ondergrond. Als de ondiepe ondergrond uit klei- en veenlagen bestaat, zullen deze lagen in meer of mindere mate worden samengedrukt. Hierdoor ontstaat verzakking van de ophoging of het op staal gefundeerde bouwwerk.

*De bodemzetting als gevolg van het opbrengen van 1 m droog zand in de lage delen van Nederland kan tot 0,8 m bodemzetting geven.*

5. Door inwerking van het klimaat (windbelasting, temperatuurgradiënt (seizoen effect, binnen- en buitentemperatuur) of neerslag (stortregens, sneeuw)) op een constructie van een woning of een gebouw kan de spanning ervan op natuurlijke wijze toenemen. De opbouw van spanning kan kortdurend zijn maar ook blijvend.

Uit het voorgaande overzicht met voorbeelden blijkt dat het kwantificeren van de individuele effecten van scheefstand of opbouw van spanning in constructies van objecten een complexe

aangelegenheid is. Immers, dit vereist de beschikbaarheid van meetreeksen van verschillende sensoren bij/aan een woning of gebouw.

*Bij de projectgroep zijn geen meetgegevens bekend die eenduidig zijn en uitsluitel kunnen geven over een specifiek effect van ongelijkmatige bodemdaling. Het betreft meetreeksen voor de monitoringparameters: waterspanning, klimaat (buiten-/binnentemperatuur, zonintensiteit, luchtdruk, neerslagintensiteit, windsnelheid en -richting, etc.), trilsnelheid maar bovenal tilt (helling).*

## Bijlage 3a - Gespreksverslag interview KNMI

## Memo

memonummer 01-KNMI  
datum 7 april 2017  
aan B. Dost  
van E. Drenth  
kopie A. Kant  
project NCG - Meetnetten  
projectnr. 414249  
betreft Vragenlijst overleg 7 april 2017

Antea Group heeft onlangs samen met o.a. TNO Bouw en Ondergrond en DMT Group de opdracht van de NCG verworven voor het uitvoeren van een verschillenanalyse voor de meetnetten die in de provincie Groningen opgesteld staat.

Het betreft de meetnetten ten behoeve van de monitoring van aardbevingen. Een meetnet wordt gebruikt door het KNMI om de analyse naar de oorzaak van trillingen in de ondergrond te kunnen doen. Wij hebben voor ons onderzoek een aantal vragen aan het KNMI.

Vragenlijst ten behoeve van het overleg op vrijdag 7 april 2016 in Almere, aanwezigen:

Bernard Dost (KNMI)  
Ans Bekkering (NCG)  
Kasper Nelissen (NCG)  
Ralf Fritschen (DMT)  
Eize Drenth (Antea Group)  
Aad Kant (Antea Group)

### 1. Werkveld van het KNMI en verantwoordelijkheid voor het onderzoek?

Het KNMI is het nationale kennis- en datacentrum voor seismologie.

### 2. Hoe lang voert het KNMI onderzoek naar geïnduceerde seismiciteit in het onderzoeksgebied uit?

Sinds de eerste bevingen in 1991 in Groningen heeft het KNMI onderzoek verricht naar geïnduceerde seismiciteit. In 2012 zijn de problemen van gebouwschade door aardbevingen met de winning van aardgas in het wingebied van het Groningenveld ontstaan (geïnduceerde seismiciteit). Sinds 1995 is een eigen meetnet in Noord Nederland operationeel en sinds 2013 worden continue registraties gearchiveerd.

### 3. Wat is het doel van het meetnet?

Het meetnet is primair bedoeld ten behoeve van:

- lokaliseren van aardbevingen
- database voor risicoanalyses (hazard studies, kennisopbouw).

Een deel van het meetnet is op diepte onder de grond geïnstalleerd en een deel bovengronds. De bovengrondse sensoren staan deels op maaiveldhoogte en op een aantal locaties in pandig op de fundering geïnstalleerd. De sensoren die bovengronds geïnstalleerd staan, bestaan uit accelerometers om het 'opslingereffect' van de deklaag ( $V_{30}$  in de bovenste 30 m) te monitoren.

### 4. Waaruit bestaat het meetnet?

Het KNMI heeft sinds eind jaren 90 een accelerometer netwerk opgebouwd in het gebied dat op dit moment bestaat uit 18 accelerometer locaties (in huizen/garages -> betonvloer met direct contact bodem) alsmede 3 ondiepe boorgaten in de directe omgeving van het Groningen veld. In 2015 en 2016 is het meetnet uitgebreid met

ca. 70 stuks seismische monitoringstations, bestaande uit geofoons op dieptes van 50 m, 100 m, 150 m en 200 m beneden maaiveld en op maaiveldniveau een accelerometer.

Het oude netwerk, geïnstalleerd in 1995, had een afstand tussen de meetpunten van ca. 20 km, het actuele netwerk ca. 4 km. De basis van de keuze van de meetpunten is een gelijkmatige verdeling over het gasveld. Gebruik van het oude netwerk resulteerde in een nauwkeurigheid van de bepaling van epicentra van 0,5 tot 1 km. Het nieuwe netwerk heeft deze nauwkeurigheid teruggebracht tot 100 tot 300 m. De sensoren zelf staan op een afstand van 5 km x 5 km in het projectgebied opgesteld.

Verder komen binnenkort nog 10 stuks accelerometer-stations in werking die ten westen van het gasveld zijn gesitueerd. Daarnaast zijn 4 breedband sensoren op 100 m beneden maaiveld gepland (m.n. voor de extreem lage frequenties), voor analyse oorzaak mechanisme geïnduceerde seismiciteit.

De in 2016 t/m 2017 geplaatste accelerometers (totaal 70 stuks) zijn van het type Episensor-EST van Kinematics. De datasheet is als bijlage bijgevoegd.

**5. Wat wordt er gemeten?**

Alle trillingen worden gemeten met het meetnet met een magnitude  $M > 0,5$ . Van events met  $M > 2$  worden Shakemaps gemaakt.

**6. Wat is het grid van het meetnet van de KNMI?**

Zie ook vraag 4, de seismische monitoringstations zijn met een grid van ca. 4-6 km gelijkmatig verdeeld over het Groningenveld geplaatst (enorme verbetering, oude meetnet grid van ca. 20 km). De onzekerheid in de locatie bepaling is met dit grid van 0,5 km x 0,5 km naar 100 m x 100 m verbeterd. Het grid biedt voldoende accuracy om de hypocentra vast te leggen maar ook als input voor de berekening van de GMPE.

**7. Waar staan de sensoren opgesteld, argumentatie en hoe is dat gerelateerd aan het wingebied?**

De sensoren zijn in boorgaten en op maaiveldhoogte geïnstalleerd. De sensoren op maaiveldhoogte zijn in een instrumentenkast op een betonplaat (1,4 m x 2 m) gemonteerd, beschermt tegen de invloed van o.a. wind. Additioneel zijn een aantal sensoren op het fundament van vloeren in gebouwen geïnstalleerd. Centraal van het wingebied zijn op maaiveldhoogte voldoende sensoren geplaatst voor de registratie van geïnduceerde seismiciteit.

**8. Zitten er vanuit het perspectief van de KNMI hiaten in het meetnet?**

Nee, het meetnet is accuraat.

**9. Zijn er standaards of protocollen waarop de sensoren zijn geïnstalleerd?**

De data wordt geconformeerd naar seismologische-standaards, daarbij wordt het Europese waveform-protocol gehanteerd voor de integratie ervan in het formaat van de seismologische datacenters.

**10. Is er een installatiebericht van het meetnet?**

Van elk station met een sensor die in de periode 2015 t/m 2017 zijn geplaatst, is een rapport opgesteld. Van de 18 sensoren die in gebouwen zijn geplaatst, zijn geen rapporten beschikbaar. Dit meetnet is meer bedoeld als een mobiel meetnet. Dat betekent dat de sensoren van locatie kunnen wisselen indien daarnaar behoefte is. Deze sensoren zijn in de tussenliggende tijd nog niet verplaatst. Meer dan 90% van de sensoren zijn uniform in NS-richting georiënteerd.

**11. Worden de meetgegevens periodiek gerapporteerd, aan wie?**

De meetgegevens worden niet periodiek gerapporteerd, data is direct via internet op de website van KNMI voor iedereen toegankelijk. De meetgegevens worden uiteraard geanalyseerd. Uit onderzoek blijkt dat de data door wetenschappelijke instituten wordt gedownload en voor analyses gebruikt (Stanford, MIT, etc.).



**12. Hoe vaak en op welke wijze worden de sensoren gekalibreerd?**

De sensoren die in boorgaten op grotere diepten zijn geïnstalleerd (geofoons), zijn niet meer bereikbaar. Na installatie is de situering van de geofoon in de ondergrond gekalibreerd met behulp van gericht uitgevoerde trillingen. Een verdere reguliere kalibratie is niet voorzien. De data van een sensor wordt zorgvuldig geanalyseerd (versterkingen, ruis - noise-spectra), afwijkingen vallen direct op. Momenteel heeft het KNMI onderzoek gepland naar de effecten van windturbines op de meetgegevens van de sensoren. De windturbines zouden de meetgegevens kunnen storen.

**13. Wie verricht het beheer en onderhoud van het meetnet?**

KNMI heeft een afdeling beheer en onderhoud die is belast met het beheer en onderhoud van het meetnet.

**14. Waar wordt de data opgeslagen?**

De opslag van data gebeurt op één plaats, bij het KNMI in de Bilt. Momenteel wordt onderzocht of het datacenter verhuisd moet worden om redenen van integriteit en zekerheid van dataopslag. Meetgegevens worden voor een periode van twee jaar opgeslagen op de website. Vervolgens gaat de data naar een taperobot.

**15. Wie is de eigenaar van het meetnet en van de data?**

KNMI.

**16. Is de data publiekelijk toegankelijk?**

Ja, via de website van KNMI.

**17. Hoeveel tijd zit er tussen het moment van registratie van een aardbeving in het wingebed en het publiekelijk maken van de gegevens?**

De tijd tussen registratie en visualisatie van meetgegevens op het KNMI bedraagt gemiddeld 10 seconden, dit heeft te maken met de snelheid van het netwerk. Ieder station is inmiddels aangesloten via het DSL-netwerk. In geval van een onduidelijkheid in het meetsignaal duurt het maximaal een halfuur voordat de meetgegevens van een aanvullende analyse zijn voorzien. Een medewerker van het KNMI voert de analyse tussentijds uit.

**18. Worden meetgegevens gefilterd?**

Alle meetgegevens worden verzameld en gevisualiseerd. Er vindt geen filtering plaats van de opgeslagen data. Jaarlijks worden ca. 10 TB meetgegevens met het meetnet van KNMI verzameld. Van de meetgegevens is veel ruis. KNMI is in staat gebleken relevante informatie over de ondergrond uit de ruisdata te halen.

**19. Heeft u twee voorbeelden van data (amplitude, frequentie) die karakteristiek zijn voor geïnduceerde seismiciteit en met het meetnet geregistreerd zijn?**

Sinds de registratie is magnitude M van 2,4 gemeten, de lengte van de langste trilling bedroeg 10 seconden. De duur van de trilling wordt apart berekend en varieert van 0,1 seconde voor korte afstanden tot enkele seconden op grotere afstand. Dit zijn effecten van de structuur boven en net onder het reservoir (extra multiples en mode conversions)

**20. Heeft u gedurende afgelopen twee jaar veranderingen in de meetdata vastgesteld?**

Het patroon van de seismiciteit is veranderd, de activiteiten en de verwachtingen voor de komende jaren veranderen mee, deels door de seismiciteit en deels door de toegenomen kennis, alsmede de verwachtingen ten behoeve van de risicobeoordeling en de PGA-contourenkaarten.

**21. Waarvoor meet u de PGA (Peak Ground Acceleration) en niet de PGV (Peak Ground Velocity)?**

De PGA is een parameter die in de infrastructuur gebruikt wordt voor de hazard en risicobeoordeling. Voor het inventariseren van schade aan gebouwen geniet de PGV de voorkeur als standaard. De SBR richtlijn is gegeven in PGV. Daarnaast is de vertaling van PGA naar PGV een simpele rekenstap (integratie).

## 22. Toelichting GMPE (Ground Motion Prediction Equation) en duur van een trilling?

Het KNMI heeft zogenaamde Ground Motion Prediction Equations (GMPE's) ontwikkeld. Deze vergelijkingen zijn specifiek voor het Groningenveld. Voor het Annerveens-wingebied gelden bijvoorbeeld andere vergelijkingen dan voor het Groningenveld.

De GMPE's beschrijven hoe de diepe en ondiepe ondergrond de energie van aardbeving doorlaten en dempen. Boven het gasreservoir in Groningen, op ruim 2 km diepte, zit een zoutlaag die trillingen verzwakt maar ook bijdraagt aan een spreiding van de trillingen (reflectie, refractie). GMPE's beschrijven deze en andere effecten om zo een schatting te kunnen maken welke grondversnellingen een aardbeving kunnen veroorzaken.

De ondiepe ondergrond bestaat deels uit veen, klei en zand die een trilling juist weer kan versterken.

De trillingduur in het buitengebied is als gevolg van de aanwezigheid van de zoutlaag langer ten opzichte van het centrum, de energie wordt over een langere tijdsduur uitgespreid, en zijn de peak-waarden in het centrum daarom beduidend hoger ten opzichte van het buitengebied.

Het resultaat is dat de GMPE hogere magnitudes berekend dan feitelijk worden gemeten. De GMPE fit beter aan de feitelijke meetgegevens voor lagere frequenties (< 0,3 s).

In de GMPE gaan de gegevens van de horizontale componenten. Schade is gerelateerd aan de peak-waarde van een gemeten trilling en aan de duur ervan. Schade wordt gemodelleerd door de fragility van diverse typen huizen te berekenen. Deze parameters (duur en frequentie-inhoud) bepalen samen met de kwetsbaarheid ('fragility') van de gebouwen mede de impact aan het aardoppervlak. Is geen KNMI expertise.

De Groningen GMPE is uitsluitend gebaseerd op data van geïnduceerde events. Separaat van het GMPE-model is een model door NAM ontwikkeld waar ook het KNMI aan meegewerkt heeft voor de trilling duur van aardbevingen.

## 23. Heeft het KNMI ervaring met de analyse van schade aan gebouwen als gevolg van geïnduceerde seismiciteit? Nee.

## 24. Heeft het KNMI ervaring (of vastgesteld) met effecten in de ondergrond als gevolg van geïnduceerde seismiciteit, zoals onregelmatige zetting, verandering van de grondwaterstroming (zout/brak) of vgl.? Nee, naar vergelijkbare effecten (o.a. veenoxidatie, kleikwel) in de bovenste 30 meter van de bodem wordt onderzoek door Deltares/TNO verricht.

## 25. Is het mogelijk om het KNMI-meetnet onderdeel van een publiekelijk toegankelijk meetnet te maken waarin de causaliteit tussen aardbeving en schade aan gebouwen wordt aangetoond?

Ja, KNMI is in staat om kaarten te maken waarin afhankelijk van de frequentie (0,3-2 sec) real time de PGV (Peak Ground Velocity) wordt weergegeven (contourlijnen; Shakemaps). KNMI heeft voor haar accelerometers die in pandig op de fundatie opgesteld staan, beperkt onderzoek gedaan naar relatie tussen de trillingssnelheid op de fundatie in een gebouw en daarbuiten.

Verdere studie is aanbevelenswaardig. De kritische component is de horizontale component voor de metingen in gebouwen. Het verschil is niet significant voor de beoordeling vgl. de richtlijn SBR.

Verder is aanbevelingswaardig een evaluatie van de TNO-data met KNMI-data uit te voeren (naast de resultaten ook de kwaliteit van de gegevens).

**Bijlage 1: Specificatie accelerometer**




## EpiSensor ES-T Force Balance Accelerometer

**The EpiSensor ES-T: A Flexible, Versatile Value**

Kinematics announces its latest line of earthquake sensors – EpiSensor force balance accelerometers. Model FBA ES-T is a triaxial surface package useful for many types of earthquake recording applications. The unit consists of three EpiSensor force balance accelerometer modules mounted orthogonally in one small convenient package. With full-scale recording ranges of  $\pm 0.25$  to  $\pm 4g$  (user selectable) the EpiSensor provides on-scale recording of earthquake motions even at near-fault locations and in a wide variety of structure types.

The significantly improved bandwidth of DC to 200 Hz allows engineers and scientists to study motions at higher frequencies while maintaining the very important DC response that allows simple field calibration and reduces post-processing confusion.

Output circuitry is also significantly enhanced. Several types of outputs can be field-selected by the user:  $\pm 2.5V$  single-ended output for use with traditional Kinematics earthquake recording instruments;  $\pm 10V$  single-ended or  $\pm 20V$  differential output for use with Kinematics digital recorders and other 24-bit digital recorders currently on the market.

EpiSensor force balance accelerometers are also available in uniaxial (the FBA ES-U) and borehole (the FBA ES-SB shallow and FBA ES-DB deep) packages.

### FEATURES

- Low noise
- Extended bandwidth - DC to 200Hz
- User-selectable full-scale range
- Calibration coil (standard)
- Single-end or differential output (user selectable)
- Double-stage transient protection

### SPECIFICATIONS

|                          |   |                                  |   |
|--------------------------|---|----------------------------------|---|
| <b>Dynamic range:</b>    | 155 dB+   | <b>Linearity:</b>                | $< 1000 \mu g/g^2$  |
| <b>Bandwidth:</b>        | DC to 200Hz   | <b>Hysteresis:</b>               | $< 0.1\%$ of full scale   |
| <b>Calibration coil:</b> | Standard  | <b>Cross-axis sensitivity:</b>   | $< 1\%$ (including misalignment)  |
| <b>Full-scale range:</b> | User selectable at $\pm 0.25g$ , $\pm 0.5g$ , $\pm 1g$ , $\pm 2g$ or $\pm 4g$   | <b>Zero point thermal drift:</b> | $< 500 \mu g/^{\circ}C$ (1g sensor)   |
| <b>Outputs:</b>          | User selectable at:<br>$\pm 2.5V$ single-ended<br>$\pm 10V$ single-ended<br>$\pm 5V$ differential<br>$\pm 20V$ differential | <b>ESD, RF, EMI protection:</b>  | Double stage transient protection with gas arrester elements  |
| <b>Zero adjust:</b>      | Three user-friendly access holes for simple, safe, efficient adjustment   | <b>Power consumption:</b>        | 12mA from $\pm 12V$ (Standard Amp)<br>35mA from $\pm 12V$ (Low Noise Amp)<br>Single supply option available |
|                          |   | <b>Physical size:</b>            | 13.3 cm diameter (cylinder), 6.2 cm high  |
|                          |   | <b>Mounting:</b>                 | Single bolt mounting, three adjustable leveling feet and bubble level                                       |
|                          |   | <b>Connection:</b>               | Single military-style metal connector   |
|                          |   | <b>Operating Temperature:</b>    | $-20^{\circ}$ to $70^{\circ}C$ ( $0^{\circ}$ to $160^{\circ}F$ )  |
|                          |   | <b>Housing:</b>                  | Watertight enclosure  |

USA - 222 Volta Ave., Pasadena, CA 91107  
 Tel: (626) 795-2220 | Fax: (626) 795-0888

Switzerland - Z1, Le Tenc 08, 1028 Preverenges  
 Tel: +41 (0) 805-2629 | www.kinematics.com



10-21-11

## **Bijlage 3b - Gespreksverslag interview TNO Bouw en Ondergrond**

## Memo

memonummer 01  
datum 4 april 2017  
aan C. van Bentum  
van E. Drenth  
kopie -  
Project NCG - Meetnetten  
projectnr. 414249  
betreft vragenlijst overleg 3 april 2017

Antea Group heeft onlangs samen met o.a. TNO Bouw en Ondergrond en DMT Group de opdracht van de NCG verworven voor het uitvoeren van een verschillenanalyse van de sensornetwerken die in de provincie Groningen opgesteld staan.

Het betreft netwerken ten behoeve van de monitoring van aardbevingen. TNO heeft een omvangrijk netwerk ontworpen en geïnstalleerd in de provincie. Wij hebben voor ons onderzoek een aantal vragen aan TNO.

De oorsprong van het ontstaan van het meetnet ligt in de betrokkenheid van TNO bij de Huizinge-beving van 2012 waarbij TNO richting NAM heeft aangegeven dat om de gevolgen van toekomstige aardbevingen te kunnen voorspellen het wenselijk is feitelijke informatie te verzamelen over de schade ten gevolge van aardbevingen.

Vragenlijst ten behoeve van het overleg op maandag 3 april 2017 in Delft tussen mevrouw van Bentum en de heer Drenth).

- **Wat is het doel van het meetnet?**

Het hoofddoel was het bieden van transparantie door NAM over de feitelijke trillingen waaraan gebouwen blootgesteld worden door (met name) aardbevingen. Daarnaast wordt met het meetnet beoogd een relatie te leggen tussen opgetreden versnellingsniveaus en schade. In opdracht van NAM analyseert TNO de events ( $M \geq 2,5$  en  $V > 1$  mm/s) om de relatie op te stellen tussen trillingsniveaus en schade. Dit is onderdeel van het beheer van het meetnet. Veiligheid is geen hoofddoel geweest, schade is altijd het uitgangspunt geweest (de zware beving die voor veiligheidsproblemen zorgt, meet je niet. Je meet de vaker voorkomende lagere trillingsniveaus). Momenteel wordt de data ook gebruikt als ondersteuning in het onderzoek naar de trillingsvoortplanting in de ondergrond (initiatief NAM) en schadeoorzaken (initiatief NCG).

**Wat is omvang van het meetnet en hoe lang is het meetnet in bedrijf?**

Het meetnet telt vandaag de dag >350 gebouwsensoren, hiervan zijn in 2014 >200 stuks geïnstalleerd, in 2016 > 120 stuks en in 2017 30 stuks. De locaties van de eerste 200 sensoren zijn door TNO bepaald, de overige zijn door de NAM in overleg met TNO bepaald. Zie beneden bij de uitwerking van de selectiecriteria. Opmerking: er zijn ook 4 stuks geïnstalleerd rondom de ondergrondse gasopslag bij Langelo.

- **Welke type sensoren zijn door TNO opgesteld?**

Versnellingsmeters (Accelerometers) van het type GeoSIG (AC73).

- **Waarom heeft TNO voor Accelerometers gekozen en niet voor Snelheidsopnemers geïnstalleerd?**

TNO heeft een lijst met specificaties opgegeven waar de sensoren aan moesten voldoen. De specificaties betroffen de kwaliteit van de meetdata (nauwkeurigheid van de sensor, gevoeligheid van de sensor, sample frequentie, etc.) en de robuustheid van de opslag van data (zodat bij stroomuitval en geen internetverbinding toch data wordt verzameld en opgeslagen). Vooraf is geen keuze gemaakt voor het type sensor (mocht zowel

versnellingsopnemer als snelheidsopnemer zijn, mits maar aan de eisen werd voldaan). De keuze voor een versnellingsopnemer is het resultaat van het selectieproces.

- **Vindt de omrekening van versnelling (m/s<sup>2</sup>) naar snelheid (m/s) alleen kwalitatief of ook kwantitatief plaats?**  
We meten versnellingen en integreren die naar snelheden. Dit gebeurt al in de sensor zelf om op die manier te bepalen of het gemeten niveau een bepaalde snelheidstrigger overschrijdt. Als dit zo is, stuurt de sensor de gemeten versnellingen naar de servers van TNO. Zowel de gemeten versnellingen als de daaruit afgeleide snelheden worden opgeslagen en geanalyseerd door TNO en gepubliceerd op de website van NAM.
- **Is een rapport/motivatie en toelichting voor de aanleg en installatie van het meetnet door TNO opgesteld?**  
Het meetnet is geconcentreerd rondom het gebied van Loppersum (beoordeling op basis van te verwachten seismiciteit). Het aantal sensoren bij aanleg was 200. Op basis van een inventarisatie van de woningen (type, leeftijd, funderingstype en materiaal begane grond vloer, ) zijn negen gebouwtypes gedefinieerd die in het Groningengebied veel voorkomen. Voor elk gebouwtype zijn 20 woningen gekozen (om statistische redenen). De overige 20 sensoren zijn in publieke gebouwen opgehangen. De inventarisatie heeft TNO in overleg met Arup gedaan. De informatie en afwegingen die zijn gemaakt, zijn gedocumenteerd in een niet openbaar gemaakt rapport. Rapport bevat privacy en/of bedrijfsgevoelige informatie, zoals de sensor-selectie. Mocht het nodig zijn om meer informatie te verschaffen dan moeten we dat apart rapporteren voor de NCG.
- **Op basis van welke gegevens is deze inventarisatie gedaan, wie heeft de gegevens verstrekt?**  
Bij de keuze voor de gebouwtypen is gesteund op informatie van ARUP. De uiteindelijke selectie kent een praktische overweging (en is bepaald door de aanmeldingen die op vrijwillige basis waren).
- **Waarop is de keuze van sensoren gebaseerd?**  
Sensor voldoet aan SBR en DIN 45669-1. Voor de keuze van de sensoren is een aanbestedingsprocedure door NAM opgestart, waarbij TNO inhoudelijk advies heeft gegeven. Uit een longlist van 33 bedrijven (internationale marktbrede scan van aanbieders van sensoren) zijn 8 bedrijven overgebleven die met hoge waarschijnlijkheid aan de kwaliteitseisen konden voldoen. Op basis van door hen ontvangen informatie is met 3 bedrijven een aanbestedingsprocedure ingegaan. De selectiecriteria waren tweërlei, ten eerste moesten de sensoren van hoge kwaliteit (1) zijn en ten tweede moest de datacommunicatie en -dataverwerking (2) aan strenge eisen voldoen. Zie vorige vraag.  
Onafhankelijkheid tussen de NAM en het TNO-meetnet is altijd het uitgangspunt geweest: bij aanleg, bij dataverzameling en bij beheer&onderhoud van het meetnet. TNO draagt de zorg voor het volledige meetnet en staat in voor de kwaliteit van de data. NAM publiceert de data vervolgens op haar website.
- **Welke onderaannemer heeft de opdracht gekregen voor de installatiewerkzaamheden, is het bedrijf bijvoorbeeld BRL-5023 gecertificeerd?**  
De onderaannemer die installatie heeft verzorgd is Cofely, nu Engie geheten. BRL-5023 is een kwaliteitsrichtlijn ten behoeve van het proces van het metingen van trillingen conform ABR-A of SBR-B. TNO heeft zelf meegeschreven aan de inhoud van de SBR-richtlijnen. Wij hebben het installatieproces begeleidt.
- **Voldoen de sensoren aan een richtlijn, bijv. SBR-A of SBR-B, of eq.?**  
De sensoren voldoen aan de kwaliteitseisen die SBR richtlijnen A en B stellen voor het meten van trillingen.
- **Hebben jullie vastgesteld met de data of er een correlatie bestaat tussen schade aan gebouwen en aardbevingen als gevolg van de gaswinning?**  
Een van de doelen van het meetnet is het bepalen van de relatie tussen trillingen door aardbevingen en schade aan gebouwen. Dit onderzoek loopt. Er zijn op dit moment nog onvoldoende meetgegevens om deze relatie te kunnen leggen. De analyse van de aardbevingen uit 2014-2015 is openbaar beschikbaar via NAM-platform ("TNO rapport R2017 10217: TNO-monitoringsnetwerk gebouwtrillingen – Analyse aardbevingen 2014-2015").

- **Wordt deze correlatie wetenschappelijk onderzocht?**

Er vindt een vergaande analyse van de data plaats. De niet-privacy gevoelige informatie is beschikbaar gemaakt via NAM-platform ("TNO rapport R2017 10217: TNO-monitoringsnetwerk gebouwtrillingen – Analyse aardbevingen 2014-2015").

- **Worden de sensoren gekalibreerd, frequent, op basis van welke norm of welk protocol?**

De sensoren worden af fabriek gekalibreerd geleverd door GeoSig en geleverd met kalibratierapport. Kalibratie is aan de hand van de afgegeven specificaties. In het veld worden twee kalibratiemethoden worden toegepast: (1) periodiek elektronisch via software op afstand, (2) elke drie tot vijf jaar mechanisch, inspanningen worden uitbesteed door TNO.

- **Waar zijn de sensoren geïnstalleerd, resp. conform een richtlijn?**

De sensoren zijn op het stijfste punt van de fundering van de gebouwen gemonteerd, een enkele uitzondering daargelaten waar dat praktisch niet mogelijk was. Het gaat erom te weten wat het gebouw aan trillingen ondervindt als gevolg van de bevingen. De meeste sensoren zijn geïnstalleerd op een hoek aan de funderingsbalken in de kruipruimte. Het grootste deel van de gebouwen betreft woningen, een kleine deel publieke gebouwen. De installatie is in overeenstemming met de richtlijn SBR-A.

- **Op welke wijze zijn de sensoren gemonteerd, motivatie?**

De sensoren worden horizontaal gemonteerd door middel van een bracket/hoekbeugel gemonteerd. De stijfheid van het bracket is onderzocht om uit te sluiten dat die de meting beïnvloedt. Het bracket is aan de het fundament van een gebouw bevestigd, zo dicht mogelijk bij een hoek op de funderingsbalken.

De sensoren zijn geplaatst op het meest stijve punt (hoek van een fundering, op een balk). Alleen in enkele gevallen waarbij dat praktisch onmogelijk was, is er een punt gekozen dat zo dicht mogelijk bij het stijfste punt ligt. Dan heb je het over slechts enkele gebouwen op een totaal van 300. We weten van elke sensor exact waar deze zich bevindt. Als er al gebouwinvloeden zijn, dan weten we dus welke sensoren dit betreft en kunnen we daar rekening mee houden in de analyse.

- **Motivatie voor de keuze van de locaties?**

Om de relatie tussen trillingen en schade te bepalen is het nodig om te weten welke trillingen het gebouw ondervindt, een stijf punt op de fundering is daarvoor het meest geschikt. TNO zou naast de trillingsniveaus van de fundering ook erg geïnteresseerd zijn in de overdracht van trillingen van grond naar gebouw en het gebouwgedrag. Voor de laatstgenoemde situatie zouden ook op hogere niveaus in gebouwen versnellingsopnemers moeten worden geplaatst.

- **Wat doet TNO en opdrachtgever met de meetdata?**

De meetdata wordt door NAM gebruikt om te laten zien wat voor een trillingsniveaus ontstaan door de aardbevingen. TNO levert hiertoe de gemeten data af bij NAM, die dit vervolgens onverkort op haar website publiceert. Door de NAM wordt de meetdata ontsloten richting publiek (publieke gebouwen) en eigenaren/bewoners (woningen). Door TNO wordt de meetdata gebruikt om de relatie te bepalen tussen de trillingsniveaus van de fundering (ten gevolge van de aardbeving) en schade.

- **Welke data wordt geregistreerd?**

De sensoren meten permanent versnellingen ( $\text{mm/s}^2$ ) op een frequentie van 250 Hz, primair komen deze in een buffer op de sensor terecht. Bij een overschrijding van een drempelwaarde van 1 mm/s (bepaald door integratie van de versnelling op de sensor) wordt 30 seconden data opgestuurd: 10 seconden voor de overschrijding en 20 seconden na de overschrijding. Deze 30 seconden volle resolutie data noemen we een 'event'. De drempeloverschrijding hoeft niet altijd door een aardbeving te worden veroorzaakt, dat kan ook een andere oorzaak hebben (denk aan bijvoorbeeld verkeer, bouwwerkzaamheden, dichtslaan deur etc.) Daarnaast worden heart beats opgeslagen (een teken van leven van de sensor, zijnde de maximaal gemeten snelheid van de afgelopen minuut). Bij een aardbeving en Magnitude  $\geq 2.5$  en een meting van  $v \geq 1 \text{ mm/s}$  wordt ook een schadeopname gedaan. Dit wordt uitgevoerd door Syplon.

- **Wat is een event?**

Zie bovenstaande vraag.

- **Maken jullie kwalitatief of kwantitatief gebruik van de data die met het meetnet van KNMI verzameld wordt, gebruik?**

Voor de twee doelen: 1) transparantie en 2) afleiden relatie tussen trillingsniveaus en schade, maken wij geen gebruik van KNMI data omdat direct trillingsniveaus in gebouwen gemeten worden. Bodem -> gebouw overdrachten zijn niet nodig. Er loopt momenteel wel onderzoek voor de NCG waarbij het meetnet gebruikt wordt. In dat onderzoek wordt wel gebruik gemaakt van KNMI data voor events voorafgaand aan de installatie van het meetnet. Meer details komen zeer binnenkort beschikbaar via de website van de NCG.

- **Wordt de data voor een event van iedere sensor onderling vergeleken/gecorrigeerd?**

We gebruiken 3 sensoren om initieel te kunnen bepalen of er mogelijk een aardbeving is of niet. Pas als het KNMI aangeeft dat het een aardbeving is, dan is het voor ons officieel ook een aardbeving. Voor het bepalen van de relatie tussen trillingsniveaus en schade analyseren wij alle getriggerde sensoren ( $v > 1$  mm/s). Wij bepalen de spreiding tussen de sensoren, het effect van de afstand tot het epicentrum, bekijken outliers, etc.

- **Op welke wijze wordt getoetst of de data/de monitoring voldoet aan de doelstelling?**

De belangrijkste doelstelling is transparantie. De bewoners hebben inzicht in de trillingsniveaus van hun huis en de data gemeten aan publieke gebouwen is openbaar beschikbaar via nam.nl. Er is nog onvoldoende aardbevingsdata om een goede analyse te maken van de relatie tussen trillingsniveaus en schade. De data die nu gemeten is, is wel geschikt om deze analyse uit te voeren.

- **Waar staat de data opgeslagen?**

We hebben veel aandacht besteed aan de betrouwbaarheid van de meting. Je wilt niet dat ten tijde van een aardbeving geen data gemeten wordt en ook niet dat de data door omstandigheden niet beschikbaar is. Daarom zijn de sensoren in staat om ook lokaal data op te slaan in een ringbuffer, zodat zelfs bij 1 maand geen internet en 24 uur geen stroom toch meetdata wordt. Daarnaast wordt de gemeten data op twee verschillende locaties in Nederland live opgeslagen en wordt op een derde locatie een 'coldbackup' bijgehouden. De twee locaties die de data live opslaan kunnen taken van elkaar overnemen in geval van uitval. De data centers zijn allen voorzien van voorzieningen ter beschermen voor stroom uitval doormiddel van noodstroomvoorzieningen.

- **Is data publiekelijk toegankelijk (alle data of alleen events)?**

De data van sensoren die in private gebouwen opgesteld staan zijn niet beschikbaar om redenen van privacy, de eigenaar van een gebouw heeft overigens wel de beschikking over alle data. De data die verzameld is met sensoren die in de publiekelijke gebouwen opgesteld staan, zijn wel openbaar toegankelijk.

Gezien de privacygevoeligheid is er een afspraak tussen TNO en NAM om de exacte locatie van sensoren alsmede de meetdata niet publiek toegankelijk te maken. De meetdata wordt geaggregeerd via het NAM-platform ontsloten via een blokkenkaart met een dichtheid van 1x1 km. Daarnaast is er een kleinschalige kaart waarop de sensoren staand afgebeeld, welke door TNO en de NAM is goedgekeurd voor intern en (zeer) beperkt extern gebruik. De gegevens van de gemeentehuizen zijn wel publiek toegankelijk via [www.nam.nl](http://www.nam.nl).

- **Wie is de eigenaar van het meetnet en van de data?**

De sensoren zijn bekostigd door de NAM, de verantwoordelijkheid voor de realisatie en het beheer (incl. kwaliteitscontrole data) van het meetnet ligt bij TNO. Het onderhoud van het meetnet wordt door TNO uitbesteed. De NAM is eigenaar van het meetnet en de ruwe data, TNO is eigenaar van de bewerkte data.



- **Welke onderaannemer voert het onderhoud voor het meetnet uit, is het bedrijf bijvoorbeeld BRL-5023 gecertificeerd**  
AtoS doet het beheer van het meetnet, Engie de storingen en het onderhoud, Syplon de schadeopnames.
- **Wordt data gerapporteerd, aan wie?**  
De data wordt periodiek gerapporteerd aan NAM (zie als voorbeeld, "TNO-rapport: 2017 R 10217, Monitoringsnetwerk gebouwtrillingen - Analyse aardbevingen in 2014 en 2015").
- **Zou jij voor een sensor een dataset van één à twee events kunnen tonen die karakteristiek zijn voor de aardbevingen (frequentiespectrum)?**  
Zie website nam.nl voor de versnellings- en snelheidsdata. Zie TNO-rapport: "2017 R 10217, Monitoringsnetwerk gebouwtrillingen - Analyse aardbevingen in 2014 en 2015" voor de frequentie-inhoud.
- **Is het spectrum of de intensiteit van de trillingen sinds de bedrijfsvoering van het meetnet veranderd?**  
Zoals blijkt uit de figuren in TNO-rapport: "2017 R 10217, Monitoringsnetwerk gebouwtrillingen - Analyse aardbevingen in 2014 en 2015" is dit niet zo eenvoudig te stellen. Elke beving is anders en elke locatie is anders. Het antwoord kun je alleen in statistische zin geven en daarvoor is nog onvoldoende meetdata beschikbaar.
- **Inzet van overige sensoren, zoals tilsensoren.**  
De inzet van tilsensoren kan met name interessant zijn voor vraagstukken over ongelijkmatige zetting in het projectgebied . Het meetnet is aangelegd om de relatie te bepalen tussen het trillingsniveau en schade. Hiervoor zijn versnellingsopnemers (of snelheidsopnemers) het meest geschikt.

Antea Group  
Deventer, april 2017

## **Bijlage 3c - Gespreksverslag interview StabiAlert**

## Memo

memonummer 01-StabiAlert  
datum 10 april 2017  
aan R. Brongers, J. Kleef  
van E. Drenth  
kopie A. Kant  
project NCG - Meetnetten  
projectnr. 414249  
betreft vragenlijst overleg 10 april 2017

Antea Group heeft onlangs samen met TNO Bouw en Ondergrond en DMT Group de opdracht van de NCG verworven voor het uitvoeren van een verschillenanalyse aan het sensornetwerk dat in de provincie Groningen opgesteld staat.

Het betreft het netwerk ten behoeve van de monitoring van bodembewegingen. StabiAlert heeft een omvangrijk netwerk met accelerometers en tiltmeters in het wingebed van het Groningenveld geïnstalleerd om alle gevolgen van mijnbouwactiviteiten te monitoren. Sensoren zijn zowel in gebouwen als in de vrije grond geplaatst. Wij hebben voor ons onderzoek een aantal vragen aan StabiAlert.

Vragenlijst ten behoeve van het overleg op maandag 10 april 2017 in Groningen, aanwezig:

Reinier Brongers (StabiAlert)

Jeroen Kleef (StabiAlert)

Eize Drenth (Antea Group)

Aad Kant (Antea Group)

**1. Waarvoor is StabiAlert gespecialiseerd?**

StabiAlert is een monitoringbedrijf en het product is het aanleveren van hoogwaardige meetdata.

**2. Wanneer is het bedrijf opgericht?**

In 2009, gestart met bouw-gerelateerde projecten, niet specifiek voor aardbevingen.

**3. Wat is het doel van het/de geïnstalleerde meetnetten van StabiAlert in het wingebed van het Groningenveld?**

Het meten van de effecten van mijnbouwactiviteiten, dat zijn bodembewegingen (aardbevingen en bodemdaling) met sensoren. De sensoren leggen een directe relatie tussen wel of geen schade bij een aardbeving. Tevens worden sluimerende processen van verzakking en spanningopbouw in kaart gebracht.

**4. Welke type sensoren worden voor de in bedrijfstelling van de meetnetten ingezet?**

Tiltmeters, accelerometers, lasermetingen en sensoren ten behoeve van het meten van hoogfrequente waterspanningen (200 x per seconde). Van de accelerometer wordt de 400 Hz data opgeslagen, van de tiltmeter de 100 Hz data en van de waterspanningsmeters de 200 Hz data.

Met het meten van de hoogfrequente waterspanning aan een waterkering is door StabiAlert vastgesteld dat de waterspanning al fluctueert (orde grote millibars) voordat een geïnduceerde aardbeving met de accelerometer wordt geregistreerd (2 tot 4 seconden). Deze vaststelling kan vergaande gevolgen hebben voor de veiligheid van gebouwen en dijklichamen. Onderliggende zandlagen kunnen namelijk als gevolg van een verandering van de waterspanning de draagkracht van fundaties van gebouwen of dijklichamen verliezen. De meetdata van de hoogfrequente waterspanning sensoren, alsmede de data van tiltmeters die tijdens aardbevingen gemeten zijn, maken momenteel onderdeel uit van een studie door VU Amsterdam.

Een accelerometer ( $m/s^2$ ) en een tiltmeter (graden) zijn ingebouwd in één behuizing en zijn gevalideerd voor het meten van zettingen in dijken in het kader van het project IJkdijk.

De accelerometer is een MEM-sensor (capacitief metend). De gemeten effecten met tiltmeters zijn sluimerende processen (opbouw van spanning in constructie). Een tiltmeter is vergelijkbaar met een elektronisch waterpas waarbij een hoekverdraaiing (graden) wordt gemeten. Na een aardbeving (event) gaat de tiltmeter weer in de oorspronkelijke stand, tenzij er sprake is van directe schade, echter bij langzaam sluimerende processen treedt verdere scheefstand op en spanningsopbouw in de constructie.

De grafische weergaven van StabiAlert voor gebouwen waarin de tilt wordt gemeten, worden geschematiseerd doordat op bijvoorbeeld op twee locaties de rotatie van de constructie wordt gemeten. Tiltmeters geven inzicht in de mogelijke opgetreden rotaties en torderingen en dragen, in combinatie met versnellingsmeters, daarmee significant bij aan het bepalen van de bewegingen van het gebouw.

**5. Wat meten deze sensoren en op welke wijze is een relatie te leggen met geïnduceerde seismiciteit en/of bodemdaling.**

Het monitoring systeem van StabiAlert meet standaard, 400 keer per seconde de x, y en z trilling (SBR A 2010) met de accelerometer en de hoekverandering in de x en y richting dit laatste op 1/25.000 graad nauwkeurig met de tiltmeter. Alle metingen, inclusief de temperatuur meting, worden real time, online, grafisch weergegeven. Er wordt 100 keer per seconde met de tiltmeter gemeten. De gemiddelde waarden, als ook de maximale uitslagen over een periode van 15 seconden wordt weergegeven en vastgelegd. Via internet kunnen de gegevens waar dan ook gevolgd worden.

Bij ernstige trillingen in de te monitoren objecten, wordt bij ieder event een overzicht van hoogfrequente data (400 Hz en 100 Hz) in kaart gebracht. Dit maakt het mogelijk zeer nauwkeurige berekeningen (formule werk is vrij te bepalen, bv op basis van SBR A of B, of Plaxismodel) te laten maken, met betrekking tot de belastingen die de gebouwen bij een aardbeving ondergaan in combinatie met de eventueel ontstane vervormingen/schade in het object. Zie bijgaande specificaties.

De waterspanning wordt met een frequentie van 200 keer per seconde uitgelezen. Deze hoogfrequente data voor de waterspanning wordt als boven genoemd bij een event opgeslagen.

De accelerometers ( Geofoons) van het KNMI-meetnet meten de aardbevingen ook nog op grotere afstand van het epicentrum, het buitengebied. De accelerometers van StabiAlert, net zoals de gebouwensensoren meten op deze afstand ( +/- 10 km beving 2.1 schaal Richter) dan geen aardbevingen meer, de tiltmeters daartegen wel ( meer dan 40 km). Een aardbeving wordt daartegen in de directe omgeving van het epicentrum met een accelerometer en een tiltmeter geregistreerd. De aardbeving wordt door een tijdelijke uitslag gemeten. Daarnaast wordt het effect van zettingen/vervormingen en bodemdaling door een blijvende uitslag gemeten.

Knelpunt is dat het effect van bodemdaling door gaswinning niet te onderscheiden is van een autonoom optredend verschijnsel zoals natuurlijke zetting van de bodem. Wel als deze volgt op een aardbeving. Verschillende verschijnselen zijn de oorzaak voor een blijvende uitslag, resp. opbouw van een spanning in een constructie. De schade aan een woning of een gebouw kan dan wel ontstaan met een tijdelijke uitslag door een aardbeving. Zie bijgaande screenshots voor voorbeelden van aardbevingen, zettingen en spanning opbouw als gevolg van een beving.

**6. Heeft uw bedrijf kennis en ervaring over het onderwerp bodemdaling en geïnduceerde seismiciteit, toelichting?**

Ja, effecten zijn gemeten en worden door de diverse instanties (bijv. VU Amsterdam) nader onderzocht.

**7. Waar zijn de sensoren geïnstalleerd, bovengrond, ondergronds, buiten, inpandig, gevels?**

Twee manieren van plaatsen, in gebouwen op verschillende plaatsen, en in de vrije grond (de sensor wordt hiervoor op een betonplaat gemonteerd, StabiAlert werkt daarnaast veel met een voeler in de vorm van een

stijve buis. Deze methode is gevalideerd door Deltares en TNO aldus StabiAlert). Bij voorkeur werkt het bedrijf met twee monitoringpunten, één in de grond en één in het object.

**8. Zijn de sensoren conform een richtlijn geïnstalleerd, toelichting?**

Sensoren worden gemonteerd c.f. de SBR richtlijn en op dezelfde wijze als de gebouwsensoren.

**9. Moet uw bedrijf gecertificeerd zijn om de metingen met de sensoren uit te voeren?**

Nee dit hoeft niet. Wel zijn de sensoren gevalideerd door de onderzoeksinstituten Deltares en TNO tijdens het IJkdijk project.

**10. Uw motivatie voor de keuze van de locaties?**

In meerdere gebouwen in het projectgebied van het gaswinneld Groningenveld staan sensoren van StabiAlert opgesteld. StabiAlert heeft voor een deel met eigen middelen zelf een grid met tiltmeters en accelerometers opgezet en meet gedeeltelijk anoniem bij klanten. Het publiek toegankelijke meetnet maakt slechts een klein deel uit van het totale aantal meetlocaties van StabiAlert in Groningen. Deze toegankelijke sensoren zijn in eerste instantie gericht op het meten rond het dorp Loppersum. Daarnaast staan er een aantal tiltmeters en accelerometers buiten de contourenlijnen van het thans aangehouden bevingsgebied. Aangezien deze tiltmeters ook de diverse aardbevingen hebben waargenomen, hebben wij besloten deze meetpunten te handhaven en waar mogelijk uit te breiden.

**11. Heeft u vastgesteld met data of er een correlatie bestaat tussen schade aan gebouwen en bodemdaling en/of aardbevingen als gevolg van de gaswinning? Zou u een aantal datasets als voorbeelden kunnen meegeven?**

Duidelijk is aangetoond de correlatie tussen aardbevingen veroorzaakt met de gaswinning in het Groningenveld en zettingen, zie bijgaande sheets (sheet 12 betreft een projectlocatie voorzien van 1 combisensor, de projectlocatie van sheet 20 bevat 3 combisensoren).

**12. Over wat voor een periode zijn de meetnetten van StabiAlert gemiddeld in bedrijf?**

In Groningen variëren deze van 1 jaar tot 5 jaar. Langere perioden zijn technisch geen enkel probleem.

**13. Voldoen de sensoren aan specifieke richtlijnen?**

De accelerometers van StabiAlert voldoen aan de richtlijn SBR-A. Gemeten wordt volgens de SBR 2010.

Voor wat betreft de inzet van tiltmeters zijn er geen specifieke richtlijnen waaraan behoefte te worden voldaan. De techniek wordt ingezet op basis van proven technologie. De techniek is gevalideerd door Deltares en TNO in het kader van IJkdijk-project. Onze sensoren worden al vanaf 2010 ingezet bij allerlei deformatie gevoelige herstelwerkzaamheden waaronder restauratie van UNESCO wereld erfgoed. Tevens zijn deze tiltmeters ingezet door de NAM op het gebied van deformatie monitoring en fracking (voor deze opdracht is op elke locatie een combisensor in de funderingen van woningen geplaatst maar ook een combisensor in de vrije grond).

**14. Worden de sensoren gekalibreerd, frequent, op basis van welke norm of welk protocol?**

Alle sensoren worden stuk voor stuk gekalibreerd en geijkt. Hiertoe zijn interne test en meet protocollen opgesteld.

**15. Wie is de eigenaar van het meetnet en van de data?**

StabiAlert is eigenaar van meetnet en de data. Klanten hebben en behouden vrije toegang tot de meetdata, ook na afloop van het project. Het staat klanten vrij om de data zelf te verrijken.

**16. Waar wordt de data opgeslagen?**

Alle data, inclusief de hoogfrequente, wordt opgeslagen op eigen servers en wel op twee verschillende serverlocaties. Een deel van de data van de waterschappen wordt tevens opgeslagen in het DDSC (Dike Data Service Center).

**17. Wat doet StabiAlert met de meetdata?**

Data wordt geanalyseerd om vervolgens verdere analyse tools te ontwikkelen. Daarnaast is de data beschikbaar gesteld aan de VU Amsterdam voor wetenschappelijk onderzoek.

**18. Wordt data gerapporteerd, aan wie?**

Ja, aan de klant waarvoor het meetnet door StabiAlert in bedrijf wordt gehouden. Op verzoek van klanten worden er tussentijdse en/of eindrapportages opgesteld.

**19. Is alle data publiekelijk toegankelijk (of alleen events)?**

Voor alle data op het openbare grid zijn geen restricties in tijd. Alle data is vrij toegankelijk behoudens de hoog frequente data. De reden is dat veelal voor deze openbare web applicatie de vereiste opslagcapaciteit ontbreekt voor het opslaan van alle hoog frequente data.

**20. Welke data wordt geregistreerd, events?**

Standaard wordt de gemiddelde tilt, de piektilt met de tiltmeters en de versnellingen met de accelerometers geregistreerd over een periode van 15 seconden. Bij een event wordt een zogenaamde time stamp gemaakt. Een event is een vol automatische hoogfrequente vastlegging van een kortstondige gebeurtenis welke niet valt binnen de normale fluctuaties. Bij een event wordt minimaal 20 seconden vastgelegd, 5 Seconden voor het event beginnende. De tijdsduur kan variabel ingesteld worden tussen de 20 seconden en 2 minuten. Van de accelerometer wordt de 400 Hz data opgeslagen, van de tiltmeter de 100 Hz data en van de waterspanningsmeters de 200 Hz data.

**21. Wordt de data van iedere tiltmeter of accelerometer onderling vergeleken/gecorrleerd?**

Ja.

**22. Op welke wijze wordt getoetst of de data/de monitoring voldoet aan de doelstelling van een meetnet?**

Doelstelling van het Groningse meetnet is om zo goed als mogelijk de effecten van mijnbouwactiviteiten in beeld te brengen. Eerder afgewezen bevingsschade is aantoonbaar en onderbouwd als nog toegekend (het aantal monitoringpunten op een projectlocatie varieert van 1 tot 3 combisensoren). De data van tiltsensoren wordt door de arbiter gebruikt (zie interview CVW). Ook door Arcadis/NAM zijn naderhand toch schades toegekend. Rotatie en torderen van hogere bouwwerken zijn goed in beeld gebracht en worden nader onderzocht door prof. Bel. van de Hanzehogeschool.

**23. Heeft u gedurende periode van monitoring voor een meetnet een verandering van de gegevens kunnen vaststellen die eenduidig gerelateerd is aan geïnduceerde seismiciteit of bodemdaling, toelichting?**

Ja, in zeedijken werd een verandering van tilt waargenomen na een aardbeving. Verder werd aangetoond met de tiltmeters van StabiAlert dat een aardbeving leidde tot een zetting en opbouw van spanning in een constructie (project NAM Noordbroek).

Toelichting op de sheets in de presentatie van StabiAlert in de bijlage:

- Sheet 14 en 15, weergave gemeten met de tiltmeter is HF tiltdata welke in graden wordt weergegeven.
- Sheet 20, de weergave Vib X en Vib Y staan in dit geval voor de maximaal doorlopen boog. Zie ook sheet 10 voor de toelichting, StabiAlert is voornemens om in de tijd deze term te veranderen in P tilt en P average.
- Verder valt mij op dat de data alleen positief uitslaan? Hoe komt deze positieve weergave tot stand? Kijk naar sheet 13, dit is het technische plaatje waarbij je de uitslagen kunt zien die naar 2 kanten uitslaan. Voor de visualisering in het basis plaatje tellen we deze bij elkaar op en laten de totale doorlopen boog zien.
- Sheet 20, daaronder staan nog drie grafieken voor de drie richtingen die met de accelerometer zijn gemeten? Allen slaan alleen positief uit. Hiervoor verwijst naar sheet 13, dit is het technische plaatje waarbij je de uitslagen kunt zien die naar twee kanten uitslaan. Voor de visualisering in het basis plaatje tellen we deze bij elkaar op en laten de totale doorlopen boog zien.

## Bijlage 3d - Gespreksverslag interview CVW

## Memo

memonummer 01-CVW  
datum 6 april 2017  
aan J. Kastelein, J. Stiekema, R. de Groot  
van E. Drenth  
kopie A. Kant  
project NCG - Meetnetten  
projectnr. 414249  
betreft vragenlijst overleg 6 april 2017

Antea Group heeft samen met TNO Bouw en Ondergrond en DMT Group de opdracht van de NCG verworven voor het uitvoeren van een verschillenanalyse aan het sensornetwerk dat in de provincie Groningen opgesteld staat.

Het betreft het netwerk ten behoeve van de monitoring van aardbevingen. CVW beschikt over omvangrijke kennis voor het kwalificeren en kwantificeren van schade aan gebouwen door aardbevingen in het projectgebied. Wij hebben voor ons onderzoek een aantal vragen aan CVW.

Vragenlijst ten behoeve van het overleg op donderdag 6 april 2017 in Appingedam, aanwezigen:

Jos Stiekema (CVW)  
Jacob Kastelein (CVW)  
Richard de Groot (CVW)  
Eize Drenth (Antea Group)  
Aad Kant (Antea Group)

### 1. **Zou u in het kort willen omschrijven wat het takenpakket van het CVW is?**

Centrum Veilig Wonen (CVW) is een uitvoeringsorganisatie in het gebied van het Groninger gasveld. Bewoners van het gebied kunnen bij CVW gebouwschades melden waarvan zij vermoeden dat deze zijn veroorzaakt door een aardbeving als gevolg van de gaswinning in het Groningenveld. Ook zet CVW zich in voor het bouwkundig versterken en daar waar mogelijk verduurzamen van woningen en gebouwen in het gebied.

Bouwkundig versterken betekent dat de constructie van de woning structureel sterker wordt en beter bestand is tegen aardbevingen (veiligheid). Het gaat om maatregelen zoals het versterken van de verbindingen tussen de vloeren en wanden, het versterken van vloeren en muren, het vervangen van muren of de fundering versterken. Nadat een woning bouwkundig versterkt is, kan er bij een aardbeving nog steeds gebouwschade ontstaan (kleine schade ofwel 'cosmetische'). De kans op zware gebouwschade waarbij de veiligheid van mens en dier in geding is, is met de maatregel aanzienlijk kleiner geworden.

### 2. **Hoe lang bestaat het CVW?**

Het CVW is opgericht in oktober 2014, van start gegaan op 05.01.2015.

### 3. **Op welke wijze hebben de bouwkundige experts van CVW kennis en ervaring opgebouwd over het onderwerp vaststelling bouwschade door geïnduceerde seismiteit.**

De experts van CVW hebben sinds 2012 systematisch kennis opgebouwd.

Om ervoor te zorgen dat bouwschade-experts zoveel mogelijk op dezelfde manier werken, is het Handboek Aardbevingsschade opgesteld. Het Handboek Aardbevingsschade is niet opgesteld door CVW. Het handboek is in het verleden opgesteld door een van de betrokken partijen die inspecties verrichten. NAM heeft het overgenomen en op NAM platform geplaatst. Dit handboek biedt handvatten voor de beoordeling van gebouwschades en het



aanbieden van herstelmethode voor de meest voorkomende gebouwschades. Wat moet je doen als je aardbevingsschade hebt? Wat kun je doen als je het niet eens bent met het schaderapport? Van tips om je voor te bereiden op het bezoek van de bouwschade expert, een stappenplan voor contra-expertise tot informatie over WVM-regelingen voor woningeigenaren in het aardbevingsgebied en een overzicht van de betrokken instanties. Het handboek is een praktische handleiding voor het identificeren en herstellen van aardbevingsschade door de verschillende experts.

Bij het beoordelen of de gemelde gebouwschade verband houdt met de opgetreden aardbevingen ("causaliteit") wordt gebruik gemaakt van het Handboek Aardbevingsschade, waarbij er onderscheid gemaakt wordt tussen zogenaamde A-, B- en C-schades. Gelijke gebouwschades moeten op een gelijke manier worden beoordeeld. Het Handboek Aardbevingsschade beantwoordt dus ook deze vragen en geeft een overzicht van alles wat je kunt weten over aardbevingsschade. Het handboek wordt niet voorgeschreven, maar is meer ter ondersteuning voor de bouwschade-experts beschikbaar.

Het Handboek Aardbevingsschade is op waarnemingen van schade aan gebouwen gebaseerd (hoe herken ik iets, waaraan?). Het Handboek Aardbevingsschade is een leidraad voor de onafhankelijke bouwschade-expert. Ook zal het Handboek Aardbevingsschade worden herzien en extern worden gereviewed.

In aanvulling op het Handboek Aardbevingsschade bestaat er nog een schadeprotocol, het Protocol Schadeafhandeling (= het basisdocument waarop alle partijen moeten acteren). Dit protocol beschrijft onder andere een 9 stappenplan waarin zo helder mogelijk wordt uitgelegd op welke wijze een schademelding door CVW wordt afgehandeld. Het protocol informeert de bewoner over de stappen in de schadeafhandelingsprocedure, zoals hoe een bewoner gebouwschade kan melden, hoe gebouwschade wordt opgenomen, hoe doorverwijzing verloopt als blijkt dat een bewoner gebouwschade complex is, wat de rol is van de Arbitrer Aardbevingsschade, enz.

Het schadeprotocol, het Protocol Schadeafhandeling omschrijft de procedure waaronder de vastlegging van kwaliteitseisen voor eerstelijns en contra-experts. Het schadeprotocol is opgesteld i.s.m. maatschappelijke organisaties. Adviezen van o.a. Vereniging Eigen Huis en de Groninger Bodem Beweging zijn erin verwerkt. Het schadeprotocol is bedoeld om de stappen van het schadeproces inzichtelijk te maken, evenals de mogelijke oorzaken van schade. Hierdoor weet de bewoner wat hij kan verwachten na zijn schademelding. De experts dienen op basis van hun eigen technische kundigheid ('expertise') de gebouwschade te beoordelen.

Het schadeprotocol v2.0 van november 2016 is een aanpassing van het protocol van augustus 2014 v1.0 en werd gemaakt op basis van afspraken die tussen de Nationaal Coördinator Groningen (NCG), het ministerie van EZ en NAM zijn gemaakt, zoals ook vastgelegd in het Meerjarenprogramma 'Aardbevingsbestendig en Kansrijk Groningen' van de NCG. Ook is er inbreng op basis van evaluatierapporten van Lysias en APE meegenomen. Een concept van dit protocol is voorgelegd aan en besproken met de Maatschappelijke en Bestuurlijke Stuurgroepen. Het concept is tevens voorgelegd aan de Onafhankelijke Raadsman en de Technische Commissie Bodembeweging (Tcbb).

Het huidige schadeprotocol v2.0 is van toepassing op gebouwschades die vanaf 1 november 2016 worden gemeld. Meldingen tot 31 maart 2017 12:00 uur worden volgens het 'oude protocol' afgehandeld. Een nieuwe versie v2.1 is in voorbereiding door NCG. Een onafhankelijke commissie gaat het protocol opstellen. CVW adviseert waar nodig en mogelijk. De NCG is bezig om dit in te richten. CVW heeft geen betrokkenheid. Wat de uitkomst is, is aan de commissie.

Belangrijk uitgangspunt voor het nieuwe schadeprotocol is dat voor de beoordeling niet alleen naar de gebouwschade zelf wordt gekeken maar het gehele gebouw wordt beoordeeld. Daarnaast worden ook omgevingsfactoren, zoals bijvoorbeeld bodemopbouw, aanwezigheid van sloten, trillingen door (vracht)verkeer, treinverkeer, infrawerkzaamheden en eventuele renovaties aan het pand zelf (actueel en verleden) opgenomen en geanalyseerd. CVW maakt daarbij gebruik van een database van de NAM, informatie van TNO (DINO-loket) op postcode niveau informatie gebruiken over bodemopbouw, (grond)waterstanden, etc. In januari 2017 is hiertoe overgegaan vanwege een wijziging in de jurisprudentie, de omgekeerde bewijslijst is van kracht.

**4. Voert het CVW alleen een analyse van de effecten van trillingen door aardbevingen op gebouwen uit?**

De schadevaststelling gebeurde tot 31 maart 2017 volgens een generieke werkwijze: de TNO-methodiek voor woningen wordt gevolgd. De methodiek is er enerzijds op gericht om vast te stellen wat de mogelijke oorzaken zijn van scheurvorming in gebouwen en anderzijds om vast te stellen wat de consequenties zijn van die scheurvorming. De informatie over de oorzaken en de consequenties van scheurvorming is noodzakelijk om vast te kunnen stellen wat de noodzaak is van herstel en op welke wijze herstel zou kunnen plaatsvinden. De werkzaamheden worden door onafhankelijke derden uitgevoerd.

CVW stelt eisen aan de kwaliteit van het eindrapport van de schade-expert en niet aan de inhoud ervan. De interpretatie en conclusie van de schade-expert wordt dus niet door CVW ter discussie gesteld.

CVW is ook verantwoordelijk voor de data-opbouw. Men moet bijvoorbeeld denken aan statistisch beheer van gegevens, zoals het percentage A-, B- of C-schades. De uniformiteit in de opbouw van rapporten is met het schadeprotocol geborgd. Met de komst van de nieuwe wet omgekeerde bewijslast/bewijsvermoeden is de uniforme schaderapportage fors aangepast. Het gaat dan om duiding van de schadeoorzaak. Hierbij gaat het niet specifiek om C-schades (niet aardbeving gerelateerd). Het gaat alleen om gemelde gebouwschades. Inhoudelijk wordt dan weergegeven wat in de ogen van de expert de werkelijke oorzaak van de door hem benoemde gebouwschade is.

**5. Volgens welke richtlijnen werkt het CVW om haar werkzaamheden uit te voeren?**

De kwaliteitseisen (veiligheid, opleiding, werkervaring, etc.) met het verrichten van de werkzaamheden ten behoeve van het inventariseren van bouwschade zijn door CVW geformuleerd en worden vanwege de voortschrijdende kennis continue verbeterd. CVW beschikt voor kennisopbouw over een uitvoerige database. Onderzoek en dergelijken zijn binnen het team wel beschikbaar en bekend, maar zijn niet centraal beschikbaar in een database.

**6. Waarop kan het CVW worden aangesproken?**

Op de Erkenningsregeling, CVW heeft een Erkenningsregeling opgesteld waaraan de in te zetten vakmensen (schade-experts, inspecteurs, ingenieurs, constructeurs en aannemers) moeten voldoen. Middels deze regeling stelt CVW eisen aan aannemers als het gaat om veiligheid, kwaliteit en communicatie.

**7. Welke typen schade komen voor aan gebouwen en zijn veroorzaakt door aardbevingen (scheuren, scheefstelling, etc.)?**

Alleen gemelde gebouwschades worden opgenomen. CVW geeft aan dat in het merendeel van de gevallen sprake is van cosmetische schades (lichte scheuren, etc.).

**8. Is de schadeprocedure eenduidig en reversibel?**

De procedure is eenduidig en reversibel, altijd al geweest. De opname en inspectie van schade aan gebouwen met de TNO-systematiek gebeurt bij herhaalde schademeldingen voor hetzelfde pand zoveel mogelijk door dezelfde schade-expert. Elk opgesteld rapport wordt door een onafhankelijk en vakkundig expert beoordeeld (formuleren, motivatie, procedure).

**9. Wat is de bandbreedte van de schades die u tot dusver hebt vastgesteld met uw werkzaamheden?**

Merendeel van de gerelateerde gebouwschades door geïnduceerde seismiteit zijn cosmetische schades (lichte scheuren). Omvangrijke gebouwschade (vuistgrote scheuren, scheefstelling van gevels) die vastgesteld zijn, hebben veelal te maken met onvoldoende draagkrachtige funderingen/ondiepe fundering op slappe klei/veenachtige grondlagen van een gebouw, zetting, verzakking, spatkracht vanuit de dakconstructie, etc.

**10. Gegevensverzameling voor het projectgebied en ambities.**

De ambities van CVW zijn om op termijn ook gegevens over de effecten van scheurvorming door de omgevingstemperatuur, veenoxidatie, opzwellen van klei/grondverweking, verandering van waterspanning in een database te verzamelen. Vooralsnog is de informatie beperkt en worden aanvullende onderzoeksinspanningen

verricht (Deltares, Crux Engineering B.V.). De beoordeling van gebouwschade volgens het schadeprotocol blijft lastig omdat het hier mensenwerk betreft. Een schade expert zal niet in alle gevallen de schade op dezelfde manier beoordelen. Daarnaast is er beperkt data beschikbaar (door meting of berekening) waarmee de expert de impact van de aardbeving op de te beoordelen woning kan bepalen.

Het onderscheid tussen scheuren door andere oorzaken en die door aardbeving zijn ontstaan, is nauwelijks te maken. Ook met exacte data op de locatie is met de regeling trillingen van de Stichting Bouwresearch (SBR-A) nog steeds alleen aan te geven dat er een kans op gebouwschade is van < 1%. Onderbouwing middels TNO-methodiek is daarbij nog steeds erg belangrijk.

In aanvulling hierop zijn specifieke gegevens (bijvoorbeeld waterstanden, grondopbouw) deels beschikbaar zoals bij instanties als het waterschap of het dataportaal NAM. CVW geeft de kennis zelf mee als basisvaardigheid aan de expert. Dit gebeurt met aanvullende scholing.

#### **11. Maakt CVW voor de afwikkeling van gebouwschade gebruik van de gegevens van sensoren?**

De meetgegevens worden indicatief gebruikt. De exacte gegevens van alle locaties van het TNO-meetnet zijn namelijk niet publiek toegankelijk vanwege privacy-redenen.

##### ***Toelichting***

De kans op gebouwschade wordt richtinggevend bepaald door hantering van de SBR-richtlijn trilling A. Sensoren registreren continu, maar data van het TNO-meetnet wordt verzonden bij  $V_{TOP}$  groter dan 1 mm/s en dat is over het algemeen boven Magnitude groter dan 2,0.

#### **12. Heeft CVW ervaring met de scheefstelling van muren van gebouwen (tilt) als gevolg van trillingen door aardbevingen?**

Nee, wordt wel meegenomen in de afhandeling van de schade-beoordeling. Feitelijk moet er iedere keer opnieuw de afweging worden gemaakt of de gebouwschade beving gerelateerd is. 'Tilt' is visueel niet waarneembaar aldus CVW.

#### **13. Hoe vaak stelt u vast dat gebouwschade niet veroorzaakt wordt door aardbevingen, na het uitvoeren van een gebouwinspectie en hoe zeker bent u van deze conclusie?**

Voor de opname geldt een eerste lijn-procedure. Een onafhankelijk expert voert een schade-inventarisatie in opdracht van CVW uit. Vervolgens kan een eigenaar een contra expertise aanvragen, wanneer de betreffende schade experts en contra expert het niet met elkaar eens zijn, gaan zij vervolgens met elkaar in overleg. Wanneer beide experts na dit overleg nog steeds geen overeenstemming hebben, kan gebruik worden gemaakt van arbitrage door een arbiter bodembeweging. Wanneer schade expert en contra expert het wel met elkaar eens zijn maar schademelder het niet eens is met hun bevindingen kan schademelder zich rechtstreeks wenden tot de arbiter bodembeweging.

Arbiters zijn sinds de tweede helft van 2016 actief. Hierbij geldt dat er geen drempel is voor de eigenaar om een arbitrage aan te vragen, dus een relatief hoog percentage van de mensen gaat door naar de arbitrage. Dit leidt tot lange wachttijden. Hierbij wordt door CVW opgemerkt dat indien beide experts van mening zijn dat de gebouwschade niet aan geïnduceerde seismiciteit ten grondslag ligt, de bewijslast bij de bewoner komt te liggen. De bewoner kan er dan ook nog voor kiezen om naar de arbitrage te stappen.

#### **14. Heeft u ervaring met de richtlijn SBR-A en het toepassen ervan (toetsing aan grenswaarden) ten behoeve van de beoordeling van de schade aan gebouwen door geïnduceerde seismiciteit?**

Ja, de richtlijn SBR-A wordt gehanteerd als beoordelingsinstrument voor de schade-inventarisatie en staat beschreven in de rapportage.

**15. Heeft u ervaring met schade aan gebouwen door geïnduceerde seismiteit als gevolg van kortdurende en continue inwerking ervan in het projectgebied?**

Wetenschappers hebben vastgesteld dat de Huizinge-aardbeving met een lengte van 8 sec. de langste beving tot dusver in het projectgebied is geweest. Deze aardbeving is het gevolg van geïnduceerde seismiteit. De lengte van deze aardbeving geldt net niet meer als puls. Alle overige aardbevingen in het gebied worden door een eenmalige en kortdurende klap gekenmerkt. De wetenschap is op dit onderwerp nog in ontwikkeling en in de dagelijkse praktijk van de experts nog niet echt toegepast. Recentelijk is het rapport van Witteveen en Bos gepubliceerd op [www.cvw.nl/buitengebied](http://www.cvw.nl/buitengebied) en experts kunnen dit rapport tot zich nemen.

**16. Is het mogelijk dat in een gebouw spanning opbouwt en deze spanning met een aanvullende aardbeving vrijkomt?**

Ja, spanningen kunnen zich in gebouwen door bijv. ongelijkmatige zetting opbouwen. Echter, ook kan de spanning vrijkomen door fluctuatie van vocht en temperatuur, tevens door verdergaande bodembeweging door veenoxidatie of zeer lage grondwaterstanden. Momenteel verricht de TU-Delft hiernaar onderzoek.

**17. Indeling schadeklassen A, B en C; is het beoordelingssysteem voor de toekomst ook leidend?**

Vanaf vrijdag 31 maart 2017 om 12.00 uur worden alle schademeldingen van bewoners op een nieuwe manier afgehandeld. Na het bekendmaken van de resultaten van het buitengebied, heeft de Nationaal Coördinator Groningen (NCG) aangekondigd dat per direct voor alle nieuwe schademeldingen een nieuwe methodiek gaat gelden. Van procedurele afwikkeling (vgl. schadeprotocol) of van schadevaststelling (vgl. TNO-methodiek, nu Witteveen en Bos). Deze methodiek wordt onder regie van de NCG uitgewerkt in een nieuw schadeprotocol. Op 1 juli dit jaar zal dit protocol klaar moeten zijn.

**18. Zou u de schadeklasse B nader willen toelichten?**

Er was al gebouwschade aan de woning of het gebouw en deze gebouwschade is verergerd door een aardbeving. De al aanwezige schade kan bijvoorbeeld het gevolg zijn van funderingsschade, achterstallig onderhoud, verbouwing van een woning of gebouw, een weg in de buurt (trillingen van verkeer), etc.

De uitkomsten van het onderzoek in het buitengebied door Witteveen en Bos geven een duidelijk beeld over de oorzaken van de gebouwschade bij circa 1.600 schademeldingen in het buitengebied. Hieruit komt naar voren dat de meeste gebouwschades zijn veroorzaakt door verschillende vormen van belasting van het gebouw, ongelijkmatige zettingen in de ondergrond en vervormingen. Bij een vervorming kan worden gedacht aan scheurvorming die ontstaat doordat bouwdelen willen uitzetten en/of krimpen en daarin worden belemmerd door muren of vloeren. Het merendeel van de geconstateerde gebouwschade is klein. Ruim 90% van de onderzochte scheuren is kleiner dan vijf millimeter. Uit het onderzoek blijkt dat er geen sprake is van mijnbouwschade ten gevolge van gaswinning.

**19. Is uw zienswijze op schade ontstaan door geïnduceerde seismiteit in de afgelopen jaren gewijzigd vanwege de (aanzienlijke) onderzoeksinspanningen die u hebt verricht?**

Er is veel meer gedetailleerde kennis opgebouwd met de onderzoeksinspanningen die naar gebouwschade zijn verricht. Schadeklassen A en B zijn in het verleden vaak te ruim gehanteerd (coulance). Met de kennis van nu (onderzoek naar ontstaan van gebouwschade door TNO met proefwoningen in het projectgebied), komt er meer eenduidigheid in de beoordeling.

**20. Heeft u literatuur of publicaties over de oorzaak, het ontstaan en inventariseren van gebouwschade veroorzaakt door geïnduceerde seismiteit gepubliceerd?**

Nee, publicaties en onderzoeksgegevens worden wel gedeeld met de expertise-bureaus. Op de website van CVW is de technische rapportage buitengebied van Wittenveen en Bos gepubliceerd.

**21. Is het mogelijk om de woningen/gebouwen in het projectgebied te classificeren ten behoeve van een schadebeoordelingsconcept (leeftijd, fundatie, cementtype, etc.)?**

Op dit moment is dat nog niet mogelijk. ARUP een internationaal engineeringbureau mede gespecialiseerd in afhandeling van aardbevingsschade, heeft voor de prioritering van versterkingen een indeling in gebouwtypen

memonummer: 01-CVW  
betreft: vragenlijst overleg 3 april 2017



gemaakt. Of dit met de SBR gecombineerd kan worden is nog niet duidelijk. Hier wordt nog onderzoek naar gedaan. Een rapport is bij CVW niet beschikbaar.

Antea Group  
Heerenveen, april 2017

## Bijlage 4 - Specificatie accelerosensoren

Voor de analyse van de technische specificaties van de accelerosensoren van de meetnetbeheerders zijn twee parasensoren onderzocht: het meetbereik en de noise.

*Noise is een ongewenst signaal dat wordt veroorzaakt door de elektrische en mechanische componenten van het meetapparaat. Om voldoende betrouwbaar te kunnen meten, moet het noise-level van het meetapparaat zo laag mogelijk zijn; uiteindelijk geldt: hoe lager de noise hoe nauwkeuriger het meetapparaat.*

Het noise-level kan op verschillende manieren worden weergegeven. Daarnaast is het noise-level afhankelijk van het meetbereik van een sensor en de specifieke frequentie.

Navolgend is het noise-level van de accelerosensoren die in het projectgebied opgesteld staan, onderling bij 10 Hz vergeleken.

*Overzicht met sensoren van meetnetbeheerders ten behoeve van de monitoring van geïnduceerde aardbevingen in het wingebied van het Groningenveld.*

| Beheerder         | KNMI           | TNO Bouw en Ondergrond | StabiAlert | Omnidots V1 |
|-------------------|----------------|------------------------|------------|-------------|
| Merk              | EPI            | GS AC 73               | onbekend   | onbekend    |
| Frequentiebereik  | 0-200 Hz       | 0-200 Hz               | +/- 2G     | onbekend    |
| Noise (bij 10 Hz) | 0,0000022 mm/s | 0,000016 mm/s          | 0,47 mm/s  | 0,17 mm/s   |
| SBR-richtlijn     | ja             | ja                     | ja         | nee         |

\*Inmiddels V2 op de markt met significant betere specificaties, voldoet aan SBR-richtlijn.

### KNMI, type EPI-Sensor

frequentiebereik: 0 Hz – 200 Hz

noise: > 145 dB (tussen 0,1 en 20 Hz)

De noise is gerelateerd aan het geringste meetbereik van: +/-0,25 g:

$145 \text{ dB} = -20 \cdot \log_{10}(a_{\min}/a_{\max}) \Rightarrow a_{\min} = 10^{(-145/20)} \cdot 0,25 \cdot 9,81 = 1,38e-4 \text{ mm/s}^2$

Dat betekent dat de noise  $1,38e-4 \text{ mm/s}^2$  bedraagt. Bij 10 Hz resulteert dat in **2,2 nm/s**.

### TNO Bouw en Ondergrond, type GS AC 73

frequentiebereik: 0 Hz – 200 Hz

noise: 134 dB (tussen 0,02 en 50 Hz)

De noise is gerelateerd aan het geringste meetbereik van: +/-0, 5 g:

$134 \text{ dB} = -20 \cdot \log_{10}(a_{\min}/a_{\max}) \Rightarrow a_{\min} = 10^{(-134/20)} \cdot 0,5 \cdot 9,81 = 9,79e-7 \text{ m/s}^2$

Dat betekent dat de noise  $9,79e-4 \text{ mm/s}^2$  bedraagt. Bij 10 Hz resulteert dat in **16 nm/s**.

### Stabialert

meetbereik: +/- 2G

noise: 3 mG

De noise van 3 mG is bij 20 Hz:  $3 \cdot 9,81/1000 = 0,03 \text{ m/s}^2$  en dat betekent bij 10 Hz: **0,47 mm/s**.

### Omnidots V1

meetbereik: geen informatie

noise: 150 ug/sqrt(Hz)

Omrekening naar het relevante frequentiebereik 0,02-50 Hz. De noise bedraagt dan:  $150 * 10^{-6} * 9,81 * \sqrt{50-0,02} = 0,01 \text{ m/s}^2$  en dat betekent bij 10 Hz: **0,17 mm/s**.

Uit een vergelijking van de gegevens blijkt dat de door KNMI toegepaste accelerosensoren het laagste noise-level hebben en uiteindelijk het nauwkeurigst zijn. De verschilfactoren van de KNMI accelerosensoren ten opzichte van de overige zijn:

- TNO Bouw en Ondergrond: 7,3
- StabiAlert: 213.600
- Omnidots V1: 77.270

## Bijlage 5 - Projectrelevante ervaringen in Duitsland





## Assessing the Vibrations of Induced Seismicity in Germany

Client: Antea Group

DMT project number: GEE3-2017-00183

Report date: 02.05.2017

Number of pages: 7

Editors: Dr. Ralf Fritschen  
Dr. Simon Kremers

**DMT GmbH & Co. KG**

Exploration & Geosurvey  
Surveying & Geomonitoring

Am Technologiepark 1  
45307 Essen  
Germany

Phone +49 201 172-1966  
dmt@dmtd.de  
www.dmt.de

Managing Company:  
DMT Verwaltungsgesellschaft mbH  
represented by its managing directors  
Prof. Dr. Eiko Räkens (Chairman)  
Ulrich Pröpper

Chairman of the Supervisory Board:  
Jürgen Himmelsbach

DMT GmbH & Co. KG  
Registered office: Essen  
Registration court: Amtsgericht  
Essen, registration no. HRA 9091

DMT Verwaltungsgesellschaft mbH  
Registered office: Essen  
Registration court: Amtsgericht  
Essen, registration no. HRB 20420

TÜV NORD GROUP

## 1 Introduction

Monitoring of induced seismicity in Germany started in the year 1908 by the Westfälische Berggewerkschaftskasse (WBK), a predecessor organisation of DMT GmbH & Co. KG. As in many other regions worldwide, coal mining in Germany is accompanied by mining induced seismicity, which can sometimes be felt by the population or may even cause damage to buildings. Induced seismicity is caused by fracture processes in the underground, often named induced seismic events or induced earthquakes. In the recent 15 to 20 years also the operation of geothermal power plants and the extraction of gas in Germany caused induced seismicity that was felt at surface. All subsurface activities in Germany that cause seismicity, which can be felt at surface, have to be monitored. One aim of monitoring is to locate the seismic events, in order to determine possible relations between production and seismicity, another aim is to assess the vibrations at surface.

A seismic event can be characterized by its magnitude  $M$ , which is a measure of the energy of the radiated seismic waves. Although the magnitude  $M$  of an event roughly determines how large the induced vibrations at the surface will be, there is no general correlation between magnitudes  $M$  and surface vibrations  $v_{\max}$ . One reason is that maximum surface vibrations depend on event depth, which can vary over a considerable range. Another reason is the radiation pattern. An induced seismic event radiates seismic waves asymmetrically in all directions showing a complicated radiation pattern that depends on the generally unknown detailed fracturing process. The induced maximum vibration  $v_{\max}$  depend, furthermore, on local soil conditions.

The maximum level of vibrations at surface  $v_{\max}$  generally determines, if they can be felt or even are able to cause damage to buildings or infrastructure. Hereby, the vibration impact at surface is independent of the source, whether the source is a quarry blast, traffic, a machine or an induced seismic event. Only the level of the vibration itself and its dominant frequency determine its effects (i.e. if it can be felt or cause damage).

## 2 Assessing the impact of vibrations on structures

Several countries have established guidelines to assess the effects of vibrations on structures. Almost all guidelines use the vibration velocity (often also referred as peak particle velocity, PPV) in mm/s as the physical unit that determines, whether a vibration may cause damage to a structure or not. Examples are the German DIN 4150, the Austrian ÖNorm 9020, the Swiss SN 640 312 or the Dutch Trillingsrichtlijn SBR-A.

The national guidelines generally define the type of measurement equipment to use, the way to calibrate the equipment and how to install the measurement devices. They are based on experience in vibration and damage assessment in the area of mining, civil engineering and industry of more than 50 years. Thousands of measurements have shown that the observed maximum vibration velocity is a suitable physical unit to assess possible damage. In its latest revision of December 2016 DIN 4150-3 clearly states that although the local measurement of crack width or strain can be used to assess the damage potential of single parts of a building, these measurements are not suited to assess the building damage potential as a whole.

It must be emphasized that no limit value exists that determines, whether a vibration definitely causes damage. The different types of houses, their individual history and condition and their different exposure to environmental conditions do not allow to define a generally valid limit value for damage initiation.

The international guidelines on the contrary name guideline values, called “Anhaltswerte” in the German DIN 4150 or “Grenswaarde” in the Dutch SBR. These are values obtained through experience.

Vibrations with maximum vibration velocities below the guideline values do not cause damage. If damage nevertheless occurs, it has to be assumed that other causes are responsible (cited from DIN 4150-3).

According to the Austrian ÖNorm 9020 possible other causes for damages are temperature variations, soil settlements, ground water movements and much more.

## Guideline Values

Vibrations of more than  $v_{\max}=0.5$  mm/s can generally be felt (DIN 4150). Damages to dwellings, such as small cracks in plastered surfaces or the enlargement of existing cracks, can only be caused by much higher vibrations. Dowding (*Dowding, Ch. D.: Construction Vibrations. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 2000*) compiled different studies that investigated damage thresholds for vibrations caused by blasting. According to these studies, cosmetic or threshold cracking does not occur below vibration velocities of 12 mm/s.

Most national guidelines define lower guideline values to exclude damage. One of the most conservative guidelines, i.e. a guideline with very restrictive guideline values, are the German DIN 4150-3 and the Dutch SBR-A.

According to DIN 4150-3 and SBR-A cosmetic or threshold cracking at dwellings and buildings of similar design does not occur below 5 mm/s (for short term vibrations, measured at the foundation of the building).

## 3 Measuring points and interpolation

The vibrations of induced seismic events affect in general large areas at the surface and often an assessment of buildings, where no measurements took place, is required. Therefore the measurements of a whole measurement network must be examined and single measurements have to be interpolated to cover the affected area.

The interpolation requires special care, especially because of the directivity effects of the source, local site amplifications and different transfer functions between individual buildings and the subsoil. Therefore it is important to measure vibrations in different directions and different distances from the source.

How dense a seismic network has to be, i.e. how many stations have to be installed at the surface, depend on several factors, especially:

- the expected magnitude  $M$  of the events,
- the epicenter distribution,
- the depth, where the seismic events occur and
- the knowledge of the local soil and herewith local site amplification.

All these factors have to be taken into account to assess the reliability of an interpolated maximum vibration velocity. A network should be capable

of measuring all vibrations caused by induced seismic events that can be felt at surface.

## **4 Assing vibrations by induced seismicity in Germany**

The vibrations of induced seismicity are in Germany always assessed on the basis of DIN 4150-3. That implies that:

1. Ground vibrations are assessed with a suitable seismic network
2. Measurements have to be performed with instruments that comply with the requirements DIN 4150, i.e. frequency range of 1 Hz to 80 Hz, calibration procedure etc.
3. Measurements are performed at the building basement.

In addition it is mostly required that measurements and interpolations are conducted by an independent and accredited third-party expert.

As pointed out, vibration measurements cannot be used to proof, whether a vibration above the guideline value caused a damage. The measurements can only be used to delineate the regions, where damage can be excluded. If in a region, where damage cannot be excluded, a damage occurs, an expert – mostly a civil engineer, who is specialized to assess building damages – has to examine the damage on site and has to identify its cause.

In Germany, the vibrations caused by induced seismicity are measured in the vicinity of geothermal power plants, most active mines and the gas fields of Northern Germany.

In the Saar area, for example, numerous strong vibrations were induced by coal mining from approx. 1998 to 2008. The mining operator commissioned DMT to install a vibration monitoring network and to assess and interpolate the recorded vibration velocities. The network consisted of 40 seismic stations, covering an area of 18 km x 18 km. Between 1998 and 2008 the seismic network recorded approx. 3500 seismic events that could be felt, 130 of these caused maximum vibration velocities that exceeded the guideline values of DIN 4150. The largest induced seismic event was rec-

orded with a maximum vibration velocity of 93 mm/s. The dominant frequencies of the seismic events were generally about 5 Hz to 15 Hz. Event durations were lesser than 2 seconds.

Mine owner and mining authorities adopted together with the local citizens' initiative the following procedure to assess possible damage to houses:

1. Independent of the dominant frequency of the vibration, the lowest guideline value of DIN 4150-3 for dwellings, 5 mm/s, was used to assess potential damage.
2. The measured values of the installed vibration network were interpolated (using the linear Kriging method). Since the local soil conditions were not well known, a reduced guideline value of 3 mm/s was introduced to account for possible amplification effects. When interpolating the measurements, smoothing was only allowed by increasing the region, where damage could not be excluded.
3. If a damage was reported inside the region of possible damage, an expert had to assess the damage and identify its cause. If no obvious cause, other than the vibration, could be identified, the operator had to compensate the house owner.
4. Damage caused by vibrations was excluded for buildings outside the 3 mm/s region (see Fig. 1).

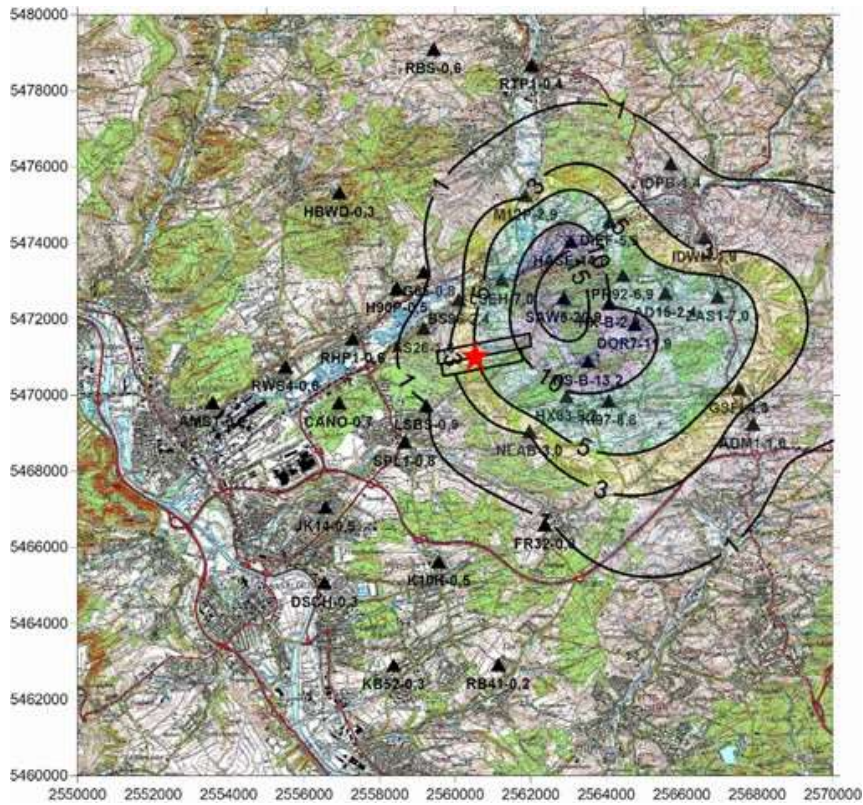


Figure 1: Isoseismal map in mm/s of an induced seismic event that occurred in the Saar Area. The epicenter of the event is marked with a red star. The map defines regions, where damage caused by vibrations cannot be excluded. The isoseismal map was interpolated using recorded  $v_{max}$  values (measuring stations shown as black triangles). Due to the directivity of the source the maximum  $v_{max}$  was not recorded at the epicenter but in 3 km distance.

## Over Antea Group

Van stad tot land, van water tot lucht; de adviseurs en ingenieurs van Antea Group dragen in Nederland sinds jaar en dag bij aan onze leefomgeving. We ontwerpen bruggen en wegen, realiseren woonwijken en waterwerken. Maar we zijn ook betrokken bij thema's zoals milieu, veiligheid, assetmanagement en energie. Onder de naam Oranjewoud groeiden we uit tot een allround en onafhankelijk partner voor bedrijfsleven en overheden. Als Antea Group zetten we deze expertise ook mondiaal in. Door hoogwaardige kennis te combineren met een pragmatische aanpak maken we oplossingen haalbaar én uitvoerbaar. Doelgericht, met oog voor duurzaamheid. Op deze manier anticiperen we op de vragen van vandaag en de oplossingen van de toekomst. Al meer dan 60 jaar.

## Contactgegevens

Tolhuisweg 57  
8443 DV HEERENVEEN  
Postbus 24  
8440 AA HEERENVEEN  
T. 0513-63 45 67  
E. [info.nl@anteagroup.com](mailto:info.nl@anteagroup.com)

**[www.anteagroup.nl](http://www.anteagroup.nl)**

### Copyright © 2017

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar worden gemaakt door middel van druk, fotokopie, elektronisch of op welke wijze dan ook, zonder schriftelijke toestemming van de auteurs.