Staatstoezicht op de Mijnen
Ministerie van Economische Zaken en Klimaat

Validatie van het seismisch netwerk van het KNMI in Groningen

Tussentijdse rapportage, juli 2019

Inhoud

1. Inleiding 4
   1.1 Wat ging aan dit rapport vooraf? 5
   1.2 Wat is de scope van het SodM validatie-onderzoek? 5
   1.3 Leeswijzer 6
2. Wat zijn de doelen van de SodM validatie? 7
   2.1 Wat zijn de doelen van de korte termijn validatie? 7
   2.2 Wat zijn de doelen van de langere termijn validatie? 8
3. Hoe heeft SodM de validatie aangepakt? 9
   3.1 Wie hebben bijgedragen? 9
   3.2 Wat was het verloop van de korte termijn validatie? 9
   3.3 Welke onderzoeken zijn er uitgevoerd als onderdeel van de validatie? 10
   3.4 Toelichting 11
   3.5 Langere termijn onderzoeken 12
4. Inventarisatie meetproblemen 13
   4.1 Instellings- en installatieproblemen van de G0-meters 14
   4.2 Demping B0-versnellingsmeters 15
   4.3 Demping voorlopers van de B0-meters 16
   4.4 Verkeerde correctie van een deel van de G4-metingen 17
   4.5 Overige Groningen seismische metingen 17
5. Zijn de seismische metingen nu op orde? 19
   5.1 G0 metingen (2014 – heden) 19
   5.2 B0-metingen (2013 – heden) 20
   5.3 Pre-B0-metingen (1994 – 2013) 20
   5.4 G4-metingen (M_L=2,6 Slochteren beving) 21
6. Impact van de geconstateerde problemen 22
   6.1 Gevolgen voor eerder vastgestelde grondbewegingen en shake maps 22
   6.2 Gevolgen voor de empirische GMPE vergelijking 22
   6.3 Effecten op schadeafhandeling en subsidieregelingen 23
   6.4 Gevolgen voor de berekende seismische dreiging en risico's 23
   6.5 Gevolgen voor het versterkingsprogramma en schadeafhandeling 25
   6.6 Gevolgen voor het vaststellingsbesluit voor het gasjaar 2019/2020 26

6.7 Gevolgen voor KEM onderzoeken 26
6.8 Andere gevolgen 26
7. Uitkomsten feitenonderzoek 28
8. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen 30
Welke meetproblemen zijn gevonden en zijn deze nu opgelost? 30
Wat is de impact van de meetproblemen en welke vervolgacties en onderzoeken zijn nodig? 32
Hoe kunnen meetproblemen in de toekomst voorkomen worden? 34
9. Referenties 35
Bijlagen 36

1. Inleiding

De metingen van de grondbewegingen (grondsnelheid en grondversnelling) in Groningen zijn van groot belang voor het beoordelen en afhandelen van schadedossiers, het toepassen van ministeriële (subsidie)regelingen, de berekeningen van seismische dreiging door het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (verder: KNMI) en de Nederlandse Aardolie Maatschappij (verder: NAM), de berekening van het seismisch risico door de NAM (met het HRA model[1]), de omvang en prioritering van het versterkingsprogramma en als input voor wetenschappelijke studies. Het is daarvoor essentieel dat alle gerapporteerde metingen correct zijn. Dat geldt voor de aantallen bevingen, het tijdstip, de locatie en de sterkte van de bevingen en met name ook voor de grondbewegingen die optreden aan het oppervlak.

Versnellingsmeters worden gebruikt om de impact van een beving aan het oppervlak te kunnen vaststellen. Schade wordt voornamelijk bepaald door de snelheid van de beweging aan het oppervlak. Die wordt niet alleen bepaald door de afstand tot en de magnitude van een aardbeving, maar ook door bijvoorbeeld de lokale bodemgesteldheid. Zo veroorzaakt een beving van 3,0 op de schaal van Richter op veengrond meer schade dan op zandgrond. Op veen wordt dan ook een hogere grondversnelling gemeten. Bij de beving van Zeerijp werd een grondversnelling van 0,116 g gemeten.

In februari 2019 werd gemeld dat er problemen met een deel van de versnellingsmeters (G0) waren. Aangezien de mensen in Groningen er op moeten kunnen vertrouwen dat er correcte metingen worden gebruikt voor de hier boven beschreven activiteiten, heeft Staatstoezicht op de Mijnen (verder: SodM) besloten een validatie-onderzoek te starten van de grondversnellingsmetingen in het Groningen gasveld. Dit rapport gaat over de resultaten van dit validatie-onderzoek. Het rapport beschrijft de gevonden problemen, of deze problemen inmiddels verholpen zijn en wat op dit moment bekend is over de gevolgen (impact) van de gevonden problemen. Het rapport bevat eveneens aanbevelingen voor verder onderzoek daar waar bijvoorbeeld de impact van gevonden problemen op dit moment nog niet bepaald kan worden. Tenslotte bevat dit rapport aanbevelingen om vergelijkbare problemen in de toekomst zo veel als mogelijk te voorkomen.

De minister van Economische Zaken en Klimaat (verder: EZK) en ten dele de operator de NAM dragen verantwoordelijkheid voor de veiligheid van de gaswinning. SodM is de toezichthouder op de veiligheid in Groningen. De NAM is wettelijk verantwoordelijk voor het meten van de grondbewegingen in Groningen (Mijnbouwwet artikel 44, 1e en 4e lid). Het KNMI is beheerder van het seismisch netwerk. SodM is niet de toezichthouder op het KNMI. SodM houdt wel toezicht op de NAM. Naar aanleiding van de melding op 5 februari 2019 dat er problemen waren met een deel van de seismische metingen, heeft SodM als toezichthouder op NAM een onafhankelijke audit laten

[1] Het Hazard and Risk model waarmee de NAM de seismische dreiging en risico voor het Groningen-gasveld berekent.

Het KNMI gebruikt voor het meten van aardbevingen een netwerk van seismometers en versnellingsmeters in Nederland. De versnellingsmeters bevinden zich aan het aardoppervlak en meten de snelheid en versnelling van de grondbeweging. De seismometers bevinden zich in een ondiepe put (200 m) op verschillende diepten onder de grond. Deze meters worden gebruikt om de locatie en sterkte van de bevingen te bepalen. Als de meters aan het aardoppervlak of in gebouwen zijn geïnstalleerd dan krijgen ze de annotatie 0. De seismometers in de ondiepe putten worden van het oppervlakte naar beneden genummerd: 1 op 50 m diepte, 2 op 100m, 3 op 150 m en 4 voor de meter op 200m diepte. Het huidige netwerk van versnellingsmeters bestaat uit twee delen: de oudere B0-meters en de nieuwere G0-meters. Een nog ouder deel van het netwerk met 13 versnellingsmeters (verder: pre-B0-meters) is in verschillende fasen geïnstalleerd in de periode voor 2013. Deze pre-B0-meters zijn in de periode 2013-2014 vervangen door het B0-meter netwerk met 17 meters. Hier zijn van 2014 tot eind 2017 80 G0-versnellingsmeters aan toegevoegd, als onderdeel van het G-netwerk. Op dit moment zijn er 79 G0-meters en 16 B0-meters in actief gebruik.

Voor 2013	Installatie pre-B0-meters
2013-2014	Vervanging pre-B0-meters door 17 B0-meters (B-netwerk) waarvan 16 in actief gebruik
2014-2017	Toevoeging 80 G0-meters (G-netwerk) waarvan 79 in actief gebruik

uitvoeren op de kwaliteit van de gemeten grondversnellingen van het KNMI. Hierbij heeft SodM gekeken naar de metingen van alle versnellingsmeters, dus niet alleen naar de G0 metingen.

SodM benadrukt dat de in dit rapport beschreven problemen vrijwel geheel zijn terug te voeren op de wijze waarop de metingen zijn uitgevoerd en verwerkt. De seismische metingen worden ook gebruikt door het HRA-model dat de seismische dreiging en het seismisch risico berekent. Het feit dat de waargenomen problemen de modeluitkomsten kunnen beïnvloeden, is niet het gevolg van het HRA model, maar is toe te schrijven aan de meetinformatie waarmee het model gevoed wordt.

1.1 Wat ging aan dit rapport vooraf?

Onderzoekers betrokken bij het Kennisprogramma Effecten Mijnbouw (verder: KEM) stelden SodM op 5 februari 2019 op de hoogte van problemen met de gerapporteerde waarden van de grondbewegingen tijdens de aardbevingen in Groningen. De onderzoekers waren gestuit op inconsistenties in de metingen van de grondbewegingen. Volgens de onderzoekers maten de B0-meters geïnstalleerd in 2013 en 2014 systematisch hogere en lagere grondbewegingen dan de later toegevoegde G0-meters. Andere KEM onderzoekers meldden dat de data van de G0-meters op de KNMI website eind 2018 waren veranderd.

Bij navraag geeft het KNMI aan dat er een probleem is geweest met de G0-meetgegevens. Het probleem is door het KNMI en partners[2] ontdekt en sinds augustus 2018 bekend. De oorzaak van het probleem is door KNMI in november 2018 gevonden waarna de meetwaarden eind 2018 zijn gecorrigeerd. Door een menselijke fout is daar op dat moment niet over gecommuniceerd.

1.2 Wat is de scope van het SodM validatie-onderzoek?

Als toezichthouder op de veiligheid van de gaswinning in Groningen besluit SodM kort na het duidelijk worden van de problemen met de G0-metingen tot validatie van de metingen van alle versnellingsmeters in Groningen. De metingen met de seismometers van het KNMI waarmee de locatie en kracht van een beving bepaald worden zijn in 2018 in opdracht van SodM beoordeeld door een onafhankelijke partij, NORSAR. In dit onderzoek zijn geen problemen naar voren gekomen die

[2] KNMI maakt samen met NAM, Deltares, Imperial College, University of Liverpool en Virginia Tech deel uit van een consortium dat het grondversnellingsmodel (Ground motion model, afgekort: GMM) ontwikkelt.

significante invloed hebben op de kwaliteit van de metingen. De nadruk tijdens de huidige validatie ligt daarom op de metingen van de grondbewegingen (bijvoorbeeld de grondversnelling). SodM kijkt in deze validatie naar de volledige meetketen: van installatie tot de rapportage van de metingen[3]. Ook is gekeken naar de recente correcties op de G0-metingen.

1.3 Leeswijzer

Dit rapport is een tussentijdse rapportage met de uitkomsten van de tot nu toe uitgevoerde onderzoeken, de conclusies die daar op dit moment uit getrokken kunnen worden en de gevolgen daarvan.

- Hoofdstuk 2 beschrijft de doelen van de SodM validatie;
- Hoofdstuk 3 geeft een overzicht van de aanpak van de validatie. SodM heeft voor het uitvoeren van de validatie verschillende organisaties opdracht gegeven op deelterreinen onderzoek te doen. In dit hoofdstuk wordt ook een overzicht gegeven van de onderzoeken die zijn uitgevoerd of nog worden uitgevoerd;
- Hoofdstuk 4 beschrijft welke meetproblemen zijn gevonden gedurende de validatie;
- Hoofdstuk 5 geeft een overzicht van de problemen die inmiddels wel of niet zijn opgelost. Daar waar de problemen nog niet zijn opgelost worden aanbevelingen gedaan hoe tot oplossingen te komen;
- Hoofstuk 6 geeft een analyse van de impact van de meetproblemen. Ten dele kan de impact van de meetproblemen nog niet bepaald worden. In die gevallen geeft SodM aanbevelingen voor verder onderzoek;
- Hoofdstuk 7 beschrijft de resultaten van het SodM feitenonderzoek naar hoe de meetproblemen hebben kunnen ontstaan en hoe is gecommuniceerd hierover;
- Hoofdstuk 8 geeft een samenvatting en de conclusies en aanbevelingen. Het hoofdstuk is voor een lezer bekend met de seismische metingen zelfstandig leesbaar;
- De rapportages met de details van de uitgevoerde onderzoeken zijn te vinden in bijlagen 1-9.

[3] Zoals type, installatie en kalibratie van de verschillende generaties en soorten versnellingsmeters, de verwerking van de meetsignalen, de operationele procedures, de kwaliteitsbewaking, de beschikbaarheid, kwaliteit, integriteit en betrouwbaarheid van het seismische netwerk, de beschikbaarheid van de meetgegevens en de rapportage van de resultaten van de metingen.

2. Wat zijn de doelen van de SodM validatie?

De metingen van de grondbewegingen in Groningen zijn van groot belang voor het beoordelen en afhandelen van schadedossiers, het toepassen van ministeriële (subsidie)regelingen, de berekeningen van seismische dreiging en risico, de omvang en prioritering van het gebouwenversterkingsprogramma en als input voor wetenschappelijke studies. Er mag geen twijfel bestaan dat de gerapporteerde meetwaarden correct zijn. Dat geldt voor de aantallen bevingen, het tijdstip, de locatie en de sterkte van de bevingen en met name ook voor de grondbewegingen die optreden aan het oppervlak.

De onafhankelijke validatie heeft als doel zeker te stellen dat de KNMI metingen van de grondbewegingen in Groningen nu en in de toekomst op orde zijn en om vast te stellen, daar waar er problemen met de seismische metingen waren of zijn, wat de impact van deze problemen is. Tenslotte heeft de validatie tot doel om voor seismische metingen die nog steeds problemen bevatten de vervolgacties vast te stellen om de gevonden problemen zo goed als mogelijk te verhelpen.

De validatie is opgesplitst in een korte (fase 1) en een langere termijn deel (fase 2). De korte termijn validatie (de eerste maanden) kijkt of de metingen zijn uitgevoerd en verwerkt zoals de bedoeling was. Dit rapport beschrijft de resultaten van deze korte termijn validatie (fase 1). De langere termijn validatie (fase 2) kijkt of de gekozen aanpak nog verbeterd kan worden.

Hieronder worden de doelen van de korte en de lange termijn validatie in meer detail beschreven.

2.1 Wat zijn de doelen van de korte termijn validatie?

De korte termijn validatie (de eerste maanden) had de volgende doelen:

1. Inventarisatie van de problemen met de kwaliteit en de integriteit van de KNMI seismische meetwaarden in Groningen, van de installatie van de meters in het veld tot de rapportage van de metingen;
2. Vaststellen of de geconstateerde problemen met de seismische meetwaarden inmiddels zijn opgelost en, als dat niet het geval is, wat er nodig is om de problemen alsnog op te lossen;
3. Vaststellen wat de gevolgen zijn van de gevonden problemen. Welk effect hebben deze problemen op kaarten van de waargenomen grondbewegingen (de zogenaamde shake maps); op de empirische Ground Motion Prediction Equation (de empirische GMPE, zie 6.2), op de berekeningen van de seismische dreiging; de berekeningen van het seismisch risico (het HRA-model); op de afhandeling van schadedossiers; op de omvang en prioritering van het versterkingsprogramma; op andere berekeningen en op KEM onderzoeken;
4. Daar waar de effecten nog niet vastgesteld kunnen worden, bepalen welke vervolgonderzoeken daarvoor nog moeten worden uitgevoerd in fase 2;
5. Vaststellen wat er precies gebeurd is en wat we daarvan kunnen leren: wie wist wat wanneer, wat is met die kennis gedaan, hoe is daar over gecommuniceerd en met wie, hoe kon dit gebeuren, wat zijn achterliggende oorzaken, welke verbeteringen zijn mogelijk.

2.2 Wat zijn de doelen van de langere termijn validatie?

De langere termijn validatie heeft de volgende doelen:

6. Opvolgen van acties en vervolgonderzoeken die binnen het tijdsbestek van de korte termijn validatie niet kunnen worden afgerond.;
7. De door KNMI en NAM toegepaste werkwijzen vergelijken met de beste methodieken die wereldwijd beschikbaar zijn, potentiele verbeteringen definiëren en vaststellen van het mogelijke verbetereffect daarvan;
8. Vaststellen van de mogelijkheden en de noodzaak om door middel van onderzoek verdere verbeteringen in de methodieken te ontwikkelen. Bijvoorbeeld als onderdeel van het KEM of als onderdeel van andere kennisprogramma's.

3. Hoe heeft SodM de validatie aangepakt?

3.1 Wie hebben bijgedragen?

De SodM validatie steunt op een aantal technische onderzoeken, een audit door de Zwitserse seismologische dienst (verder SED) en een door SodM zelf uitgevoerd feitenonderzoek. Bij de technische onderzoeken gaat het om onderzoeken naar de metingen zelf en om onderzoeken naar de verwerking van die metingen tot de data zoals die door het KNMI op haar website wordt gepubliceerd. Voor de uitvoering van de onderzoeken voor de korte termijn validatie is gebruik gemaakt van expertise en capaciteit die op korte termijn beschikbaar was bij de consortia die in opdracht van KEM met wetenschappelijk onderzoek bezig waren. Het gaat om de volgende partijen: Technische Universiteit Delft, Fugro, Hanze University, Seister Seismic Engineering Solutions en Witteveen+Bos. Ook is gebruik gemaakt van de expertise en adviezen van een aantal leden van het KEM expert panel [https://www.kemprogramma.nl]. Alle bevindingen van de technische onderzoeken zijn beschikbaar gesteld voor de onafhankelijke audit door SED en als bijlages toegevoegd aan dit rapport.

3.2 Wat was het verloop van de korte termijn validatie?

In eerste instantie lag de nadruk van de validatie op een nadere analyse van de gemelde problemen met de G0-meters. Omdat snel duidelijk wordt dat de problemen niet beperkt zijn tot de G0-meters werden de onderzoeken uitgebreid. Voorbeelden zijn: een analyse van de beschikbaarheid (uptime) en de kwaliteit van seismische meetinstrumenten en metingen in Groningen en een onderzoek naar de metingen van de eerder geïnstalleerde B0- en pre-B0-versnellingsmeters (zie tabel 1).

Gedurende het onderzoek heeft NAM[4] aangegeven dat er fouten zijn gemaakt met de verwerking van de metingen van de M_L=2,6 Slochteren beving op 27 mei 2017. Het gaat hier om de verwerking van de data van de G4-meters welke zich in boorgaten op 200 meter diepte bevinden. Ook naar dit probleem is binnen de validatie gekeken. Voor alle duidelijkheid: het gaat niet om problemen met de G4 metingen zelf, alleen om problemen in de verwerking van deze meetdata.

Tijdens de onderzoeken is vastgesteld of de problemen inmiddels afdoende zijn opgelost en zo niet, wat daarvoor nog moet gebeuren.

Om vast te stellen wat de impact is van de gevonden problemen, is in detail gekeken naar of, waar en hoe deze problemen een effect hebben op de toepassingen die gebruik maken van de versnellingsmetingen. Steeds is gekeken naar de mogelijke grootte van het effect, of het mogelijk is er voor te corrigeren en of dat inmiddels is gebeurd. Waar de effecten nog niet, of nog niet afdoende, zijn hersteld, is gekeken wat daarvoor nog nodig is.

Tenslotte hebben inspecteurs van SodM een feitenonderzoek uitgevoerd om vast te stellen wat er precies is gebeurd en wat we daar van kunnen leren.

[4] NAM rapporteerde hierover op basis van input die zij verkreeg van het consortium dat de grondbewegingsmodellen maakt (zie voetnoot 2).

3.3 Welke onderzoeken zijn er uitgevoerd als onderdeel van de validatie?

De onderstaande tabel geeft een overzicht van de verschillende onderzoeken die in het kader van de validatie in opdracht van SodM zijn uitgevoerd. Onder de tabel wordt per onderzoek verdere toelichting gegeven.

Tabel 1 Overzicht onderzoeken

Onderzoeken uitgevoerd in het kader van de SodM validatie Groningen seismische metingen						
#	SodM validatie doel(en)	Bijlage	Onderwerp	Toelichting	Hoe	Wie
Metingen						
1	1,2	1A	Kalibratie B0 en G0 versnellingsopnemers	Check calibratie B0 en de G0 opnemers (na correctie voor verkeerde hardware settings)	Metingen op een triltafel van de Hanze Hogeschool	Hanze University
2	1	2	Inventarisatie versnellingsmeters en data Groningen seismisch netwerk	Kwaliteitscontrole KNMI versnellingsmeters en metingen voor de periode 2014-2018	Analyse van alle gemeten records op problemen in de signalen	Witteveen+Bos, TUD en TNO
3	2	3	KNMI correctie G0 metingen	Vaststelling betrouwbaarheid G0 metingen (na correctie)	Review op basis aangeleverde documentatie	TUD
4	2	1A, 1B	Vaststelling invloed bevestiging B0 meters in gebouwen	Vaststelling of de B0 meetsignalen gedempt worden bij hogere freqenties	Vergelijking B0 metingen met nabije (gecorrigeerde) G0 metingen	Seister Seismic Engineering Solutions
5	2,3	4A, 4B	Vaststelling invloed bevestiging B0 meters in gebouwen	Vaststelling of de B0 meetsignalen gedempt worden bij hogere freqenties	Modelberekeningen vvan de te verwachten gebouweffecten op de B0 meters	Witteveen+Bos, TUD en TNO
6	2	4	Vaststelling invloed bevestiging G0 meters op kleine betonplaten	Vaststelling of de G0 meetsignalen niet gedempt worden bij hogere frequenties	Modelberekeningen voor de toegepaste installatie van de G0 meters	Witteveen+Bos, TUD en TNO
7	1,2,5	5	Review Zwitserse Seismologische dienst (SED)	Oordeel over de betrouwbaarheid van de gehele keten van het KNMI seismologisch meetnetwerk in Groningen	Documentatie reviews, interviews met KNMI, installatiebedrijf, veldinspecties, beoordeling bevindingen Fugro en Witteveen+Bos, analyse van door KNMI aangeleverde informatie	Zwitserse Seismologische Dienst SED, adviesrol Prof. Wiemer, (lid KEM expert panel)
Verwerking metingen						
8	1,3,4	6	Foutieve verwerking G4 metingen Slochteren beving	Vaststelling mogelijke invloed op de HRA uitkomsten	Inschatting van het effect door onafhankelijke domeinexperts	SodM, adviesrol Prof. Iervolino (lid KEM expert panel)
9	3,4	7	Effect andere dan door KNMI aangenomen G0-meterinstellingen op de ontwikkeling van de NAM HRA	Verificatie claim KNMI en NAM dat de G0 metingen niet gebruikt zijn voor de ontwikkeling van de HRA V5	Review van de HRA V4 en V5 rapportages van NAM	SodM, adviesrol Prof. Iervolino (lid KEM expert panel)
10	3,4	-	Effecten op HRA berekeningen	Beoordeling effect gecorrigeerde G0 en weglaten G4 metingen op HRA berekeningen	Eerste berekeningen met GMM V6	NAM
Feitenonderzoek						
11	5	8	Fact finding exercitie	Lering van wat er is gebeurd voor de toekomst. Verduidelijking rollen en verantwoordelijkheden	Inteviews met betrokkenen (NAM, KNMI, EZK, installatiebedrijf etc.)	SodM
Langere termijn onderzoek						
KEM02	3,4,7,8	-	Site response model	Check en verbetering van bestaand model voor berekening lokale opslingering	Modelberekeningen aan effecten onzekerheden, knipklei, terpen, sloten en kanalen	Consortium Witteveen+Bos
KEM04	3,4,7,8	-	Ground Motion Model (GMM)	Check prestaties bestaande modellen (GMM V5 en V6) Aanzet ontwikkeling volgende generatie GMM model	Modelberekeningen van effect inhomogeniteiten in de eigenschappen van de diepe ondergrond in Groningen	Consortium Fugro
KEM11	3,4,6,7,8	9A, 9B	Groningen seismic catalogue	Verbetering kwaliteit seismische data Groningen (aantallen bevingen, sterkte, locatie, mechanisme, vastgestelde grondbewegingen)	Onderzoek naar verbeteringen in de seismische metingen en de verwerking daarvan in Groningen	NORSAR

3.4 Toelichting

Onderzoek 1 controleert met onafhankelijke metingen op triltafels voor een aantal B0 en G0 versnellingsmeters of deze de juiste versnellingen en snelheden meten. Voor de G0 meters wordt eerst de door het KNMI vastgestelde correctie toegepast. De metingen vinden plaats in een laboratorium van de Hanze Hogeschool. De gecontroleerde versnellingsmeters worden verwijderd uit de meetopstellingen in het veld en zijn na afloop van de triltafelmetingen teruggeplaatst.

Onderzoek 2 inventariseert de beschikbaarheid (uptime) en de kwaliteit van de alle KNMI versnellingsmeters en metingen in het Groningenveld in de periode 2014-2018.

Onderzoek 3 is een onafhankelijke check op een studie van het KNMI op basis waarvan KNMI concludeert dat de G0 versnellingsmeters in het veld na correctie nu de juiste waarden voor de grondbewegingen meten.

In **onderzoek 4** zijn de met B0-meters gemeten grondversnellingen in detail vergeleken met de metingen met G0-meters in de directe omgeving (tijdens dezelfde aardbevingen). De hiervoor gebruikte B0- en G0-meters staan binnen een afstand van 1 – 2 km van elkaar. Dezelfde analyse wordt uitgevoerd voor paren van G0-meters op relatief korte afstand van elkaar om te toetsen of de gevonden gemiddelde verschillen worden veroorzaakt door de verschillen in de ondergrond die ook op deze relatief korte afstanden kunnen optreden.

In **onderzoek 5** is voor 4 gebouwen met modelberekeningen de invloed van het gebouw onderzocht op de B0-meting van de grondbeweging. Daarvoor zijn de eigenschappen (massa/afmeting/fundering) van de gebouwen en die van de lokale ondergrond gebruikt.

In **onderzoek 6** is de analyse uit onderzoek 4 uitgevoerd voor de G0-meters. Voor de G0-meters gaat het niet om het effect van gebouwen maar om het mogelijke effect van de relatief kleine betonplaten waarop de G0-meters zijn gemonteerd.

Onderzoek 7 is een onafhankelijke audit door SED op de gehele keten van de seismische metingen in Groningen. SED heeft hiervoor de (tussen)resultaten van onderzoeken 1 t/m 6 gebruikt. Ook is aanvullende informatie door SED opgevraagd bij KNMI. Een medewerker van SED heeft KNMI bezocht en KNMI medewerkers geïnterviewd. Een aantal B0- en G0- meetstations in Groningen is bezocht. De medewerker van SED heeft gesproken met de projectleiders van Fugro en Witteveen+Bos betrokken bij onderzoeken 1 t/m 6, met SodM en met een lid van het KEM expert panel.

Onderzoek 8 kijkt (kwalitatief) naar het mogelijke effect van de verkeerde verwerking van de G4 meetsignalen tijdens de M_L=2,6 aardbeving bij Slochteren op 27 mei 2017. De fout is veroorzaakt door een verkeerde verwerking van op zichzelf correcte seismische metingen. De verkeerde verwerking is uitgevoerd door een onderzoeker die werkt in het consortium van partijen[5] dat het grondbewegingsmodel (het zogenoemde Ground motion model, afgekort: GMM) voor Groningen heeft ontwikkeld. Het GMM model berekent welke grondbewegingen aan het oppervlak zijn te verwachten voor een aardbeving van een gegeven sterkte (magnitude) op een gegeven plaats in het Groningenveld. Het GMM is op zijn beurt onderdeel van de NAM HRA modelketen voor de berekening van de seismische dreiging en het seismisch risico in Groningen Het door dit consortium

[5] Zie voetnoot 2.

ontwikkelde model wordt door KNMI gebruikt voor het berekenen van de seismische dreigingskaarten. SodM en een lid van het KEM panel hebben onderzocht of de grootte van het effect kan worden ingeschat.

Onderzoek 9 kijkt of de onjuiste waarden van de G0 versnellingsmeters een effect kunnen hebben gehad op de huidige versie van het hier boven beschreven Ground Motion Model van NAM (GMM V5).

In **onderzoek 10** voert NAM op verzoek van SodM enkele eerste berekeningen uit van de seismische dreiging en het seismisch risico met de eind april 2019 bij NAM beschikbaar gekomen volgende versie van het Ground motion model (versie GMM V6) met als doel een eerste indruk te krijgen of de impact van een aantal meetproblemen beperkt is of niet.

Onderzoek 11 is het SodM feitenonderzoek naar de verantwoordelijkheden, rollen en procedures. De informatie voor het feitenonderzoek is verzameld door het opvragen van documenten en door interviews met medewerkers van KNMI, NAM, Antea Group (installateur van de seismische meters) en Kinemetrics (leverancier van de apparatuur). Ook wordt gebruik gemaakt van vragenlijsten die ter beantwoording worden opgestuurd. Het feitenonderzoek en de vragen zijn gericht op het verkrijgen van inzicht in: 1) hoe heeft dit kunnen gebeuren, 2) Is er adequaat gehandeld en 3) wat kunnen we hier van leren?

3.5 Langere termijn onderzoeken

In de langere termijn validatie wordt gekeken of er verbeteringen mogelijk zijn in de seismische metingen. De onderzoeken zijn onderdeel van het lopende Kennis Programma Effecten Mijnbouw (KEM, zie https://www.kemprogramma.nl).

De Noorse seismologische dienst (verder NORSAR) heeft in opdracht van SodM het KEM11A onderzoek uitgevoerd. Daarmee heeft SodM met name de wijze waarop het KNMI de locatie en de sterkte (magnitude) van de bevingen bepaalt laten controleren. Er werden geen grote problemen gevonden. Wel zijn er verbeteringen mogelijk. Het onderzoek is in een eerder stadium, voordat de problemen met de metingen van de grondbewegingen werden vastgesteld, uitgevoerd en afgerond. In een tweede fase (KEM11B) gaat NORSAR, met medewerking van KNMI, in opdracht van SodM werken aan het ontwikkelen en toepassen van verbeteringen. Ook gaat NORSAR in KEM 11B kijken naar de metingen van de grondbewegingen aan het oppervlak die door de aardbevingen in Groningen veroorzaakt worden.

De uitkomsten van KEM11A zullen op korte termijn beschikbaar komen op de KEM website [https://www.kemprogramma.nl] . Uitkomsten van de KEM02, KEM04 en KEM 11B onderzoeken worden op een termijn van 6 tot 18 maanden verwacht.

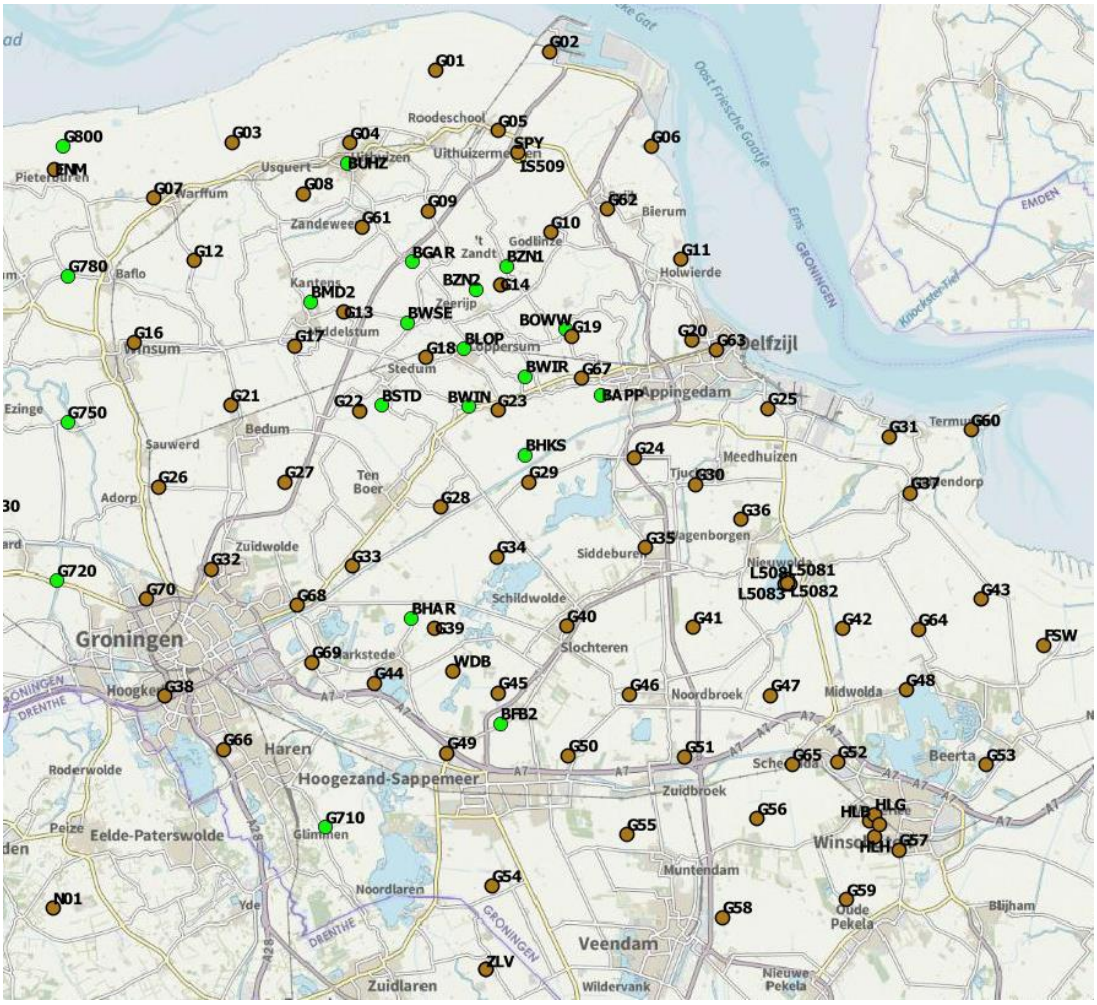
In de volgende hoofdstukken worden de belangrijkste uitkomsten en bevindingen op hoofdlijnen beschreven en gerelateerd aan de doelen van de SodM validatie. De rapporten met de resultaten van de al uitgevoerde onderzoeken zijn opgenomen als bijlagen 1 t/m 9.

4. Inventarisatie meetproblemen

Het eerste doel van de SodM validatie is een Inventarisatie van de problemen met de kwaliteit en de integriteit van de KNMI seismische meetgegevens in Groningen, van de installatie van de meters in het veld tot de rapportage van de metingen. Figuur 1 geeft een overzicht van de in Groningen geïnstalleerde pre-B0-, B0- en G0-versnellingsmeters. SodM heeft de problemen in de meetketen voor alle seismische meters in Groningen geïnventariseerd. Dat levert de volgende bevindingen op:

- Installatieproblemen van de G0-meters;
- Demping van de metingen met de B0-meters door de gebouwen waarin ze gemonteerd zijn;
- Demping van de metingen met de voorlopers van de B0-meters (de pre-B0-meters) door de gebouwen waarin ze gemonteerd waren;
- Onjuiste verwerking van de G4 metingen van de M_L=2,6 Slochteren beving van 27 mei 2017;
- Geen problemen met de metingen van de overige seismometers in het Groningen seismische netwerk.

De volgende paragrafen beschrijven de bevindingen in meer detail.

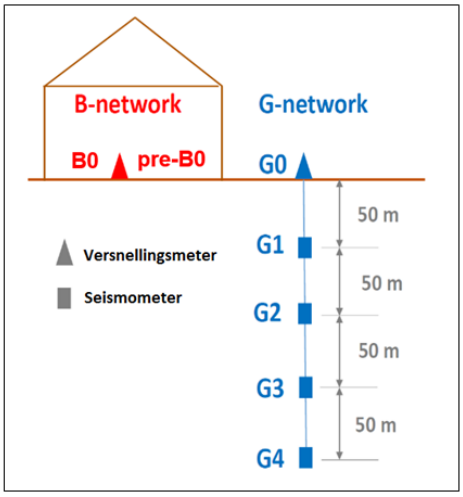


Figuur 1 (bron bijlage 2, figuur 1.1): Overzicht pre-B0- en B0-versnellingmeters in gebouwen (groen) en G0-versnellingsmeters bij boorgatlocaties (bruin)

4.1 Instellings- en installatieproblemen van de G0-meters

KNMI meet momenteel met 79 G0-meters de seismische grondbewegingen aan het oppervlak die optreden door de aardbevingen in Groningen. Het G-netwerk is in de periode 2014-2017 door de Antea Group geïnstalleerd. Het bestaat op dit moment uit 10 “losse” G0-versnellingsmeters op kleine betonplaten en 70 boorgatlocaties met meerdere seismische meters. Eén van de meters op een boorgatlocatie wordt niet actief gebruikt. Het totaal aantal actieve meters in het G0-netwerk is daarmee op dit moment 79. De locaties staan verspreid over het Groningen gasveld. Op de boorgatlocaties bestaat het G-netwerk uit G0-versnellingsmeters op kleine betonplaten aan het oppervlak en vier seismometers (G1 t/m G4) meters op 50, 100, 150 en 200 meter diepte in de boorgaten (Figuur 2). De installatie van de G0-meters op de kleine betonplaten zorgt volgens KNMI voor een onverstoorde meting van de grondversnellingen die aan het vrije oppervlak optreden (vrije veld metingen).

Onderzoekers betrokken bij KEM04 melden aan EZK en SodM op 5 februari 2019 problemen met de metingen van de grondversnellingen in Groningen. De KEM onderzoekers vergelijken (de verhouding van) het meetsignaal van G0-meters met dat van nabije eerder (in gebouwen) geïnstalleerde B0-meters. Ze gebruiken voor die analyse G0-data van vóór de correctie door het KNMI (waarover op dat moment nog niet is gecommuniceerd). Het effect van verschillen in de lokale ondergrond is bij lage frequenties (grootste golflengten) het kleinst en zelfs daar wordt steeds een verschil in de orde van 50% in de amplitude van de grondversnelling gezien. De conclusie is: er klopt iets niet. Op dat moment is voor de KEM onderzoekers niet duidelijk of het gaat om een probleem met de B0- of met de G0-meters.

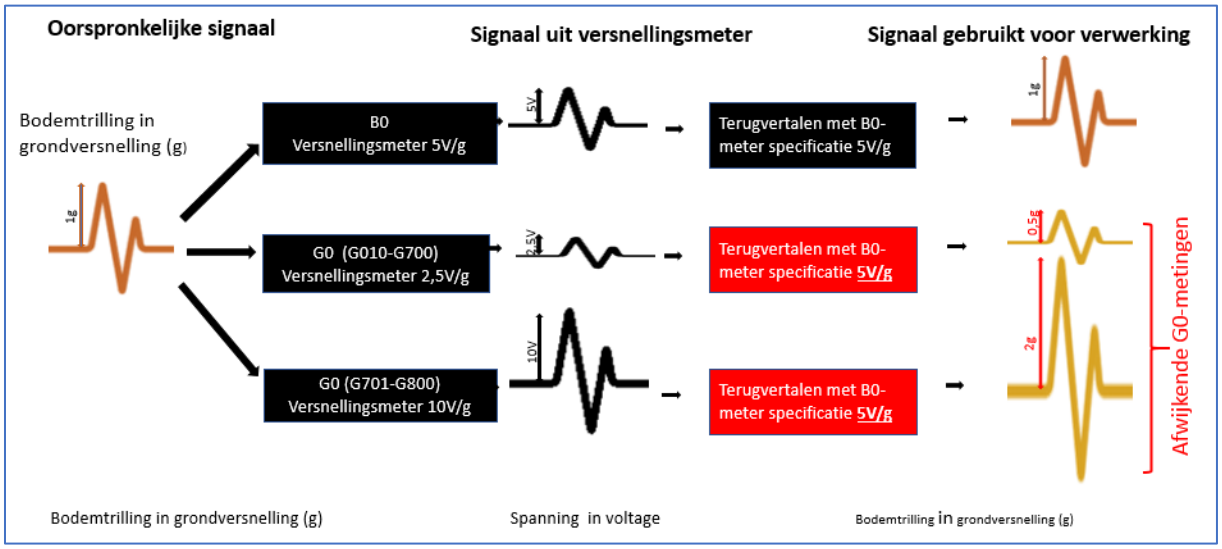


Figuur 2: B-netwerk en G-netwerk versnellingsmeters

Bij navraag geeft het KNMI aan dat er een probleem is geweest met de G0-meetgegevens. In november 2018 concludeert KNMI dat een instellingsprobleem met de G0-meters problemen veroorzaakt [KNMI, 2019c]. Eind 2018 corrigeert het KNMI de header behorende bij de meetgegevens op de website. Het probleem is volgens KNMI veroorzaakt doordat verschillende leveringen G0-meters verschillende (hardware) instellingen hebben. Zowel NAM, KNMI als het bedrijf wat de G0 meters heeft geïnstalleerd (Antea Group) waren zich hiervan bij de installatie niet bewust. De afgegeven signalen van de G0-meters tijdens aardbevingen worden daardoor tot december 2018 met een verkeerde kalibratiefactor omgezet in grondversnellingen. De 69 G0-meters op de boorgatlocaties meten hierdoor, volgens het KNMI, een factor 2 te lage grondbewegingen. De 10 “losse” G0-meters meten een factor 2 te hoge grondbewegingen.

De audit door SED in opdracht van SodM (bijlage 5) en het feitenonderzoek van SodM (bijlage 8) bevestigen (in grote lijnen) de door KNMI gegeven verklaring voor de problemen met de metingen. In beide onderzoeken wordt de technische achtergrond van de problemen in detail onderzocht. Het blijkt dat voor verschillende batches meters steeds iets verschillende versnellingsmeters van hetzelfde merk (Kinemetrics) zijn besteld. Er zijn verschillen in het maximale bereik (2g en 4g), de uitgangsspanning (2,5V en 10V) en de manier van aansluiten (zie bijlagen 5 en 8). Dit was niet bekend

tijdens de installatie van de G0-meters. Daardoor is voor alle G0-meters hetzelfde aansluitschema gebruikt als voor de eerdere B0-meters in 2013/14. Dat leidt tot andere verhouding tussen de versnelling en het afgegeven voltage. Wat leidt tot andere gerapporteerde waarden voor de gemeten grondversnelling (Figuur 3).



Figuur 3: Effect verschillende meterinstellingen op de meetwaarden

Omdat er een ander voltagebereik wordt gebruikt dan waarvoor de meters zijn geoptimaliseerd staat ook de apparatuur die het analoge meetsignaal omzet naar een digitaal signaal (de digitisers) op een ander voltage ingesteld. Dat is suboptimaal maar levert geen problemen op met de metingen. In combinatie met het hoge ruisniveau in Groningen (veroorzaakt door bijvoorbeeld verkeer) leidt dat namelijk niet tot een andere signaal/ruis verhouding.

4.2 Demping B0-versnellingsmeters

KNMI meet de grondbewegingen ook met de B0-meters. Deze meters heeft Antea Group tussen 2013 en 2014 geïnstalleerd. De huidige B0-meters staan gemonteerd op de betonnen vloeren van 16 gebouwen verspreid over het centrale deel van het Groningen gasveld. De B0-meters vervangen de eerdere, minder geavanceerde, versnellingsmeters (de pre-B0-meters) die tot die tijd gebruikt werden om de grondbewegingen te meten. Installatie van versnellingsopnemers in gebouwen is internationaal niet ongebruikelijk. Echter, internationaal worden grondversnellingsmetingen voornamelijk gedaan in gebieden met een harde ondergrond. Montage van versnellingsmeters in gebouwen op een harde ondergrond levert geen problemen op. Dit blijkt uit de controles die gebruikelijk zijn bij het opzetten van dergelijke meetnetwerken. Deze controles hebben tot doel om te bepalen of de eigenschappen van de gebouwen waarin de meters zijn gemonteerd geen significante effecten hebben op de gemeten grondversnellingen. De versnellingsmeters zijn in Groningen in gebouwen gemonteerd die niet op harde maar op zachte grond staan.

Bij het bespreken van de problemen met de G0-meters met de KEM04-onderzoekers, geven deze aan dat er ook problemen lijken te zijn met de B0-metingen. Tijdens de analyse van die problemen blijkt dat B0-meters beïnvloed worden door de gebouwen waarin ze geïnstalleerd zijn. De uitkomsten van onderzoek 4 (bijlage 1) bevestigen dat. De B0-meters meten bij hogere frequenties vaak lagere grondversnellingen dan de (gecorrigeerde) G0 versnellingsmeters in de nabije omgeving (op 1 tot 2

km afstand). Deze demping treedt op vanaf frequenties van 3 tot 5 Hz en neemt toe met toenemende frequentie. Bij 10 Hz varieert de demping van vrijwel nul (geen effect) tot meer dan 80% (meer dan een factor 5 te laag gemeten grondversnelling). Bij een frequentie van 10 Hz is de gemiddelde demping 50% (een factor 2 te laag gemeten grondversnelling). Het dempingeffect viel tot begin dit jaar niet zozeer op door de toen voor alle frequenties te lage G0-metingen (te laag bij lage en bij hogere frequenties).

De demping lijkt groter naarmate het gebouw een zwaardere (en diepere) fundering heeft. Bij een tweetal meters die gemonteerd zijn in niet-gefundeerde lichte houten gebouwen is er nauwelijks effect. Het niveau van de grondbeweging blijkt voor de tot nu toe in Groningen gemeten grondversnellingen nauwelijks effect op de mate van demping te hebben (zie bijlage 1A). Dat is in overeenstemming met de literatuur op dit gebied (zie bijvoorbeeld: Steward, 20009, Moore, 2014). Vergelijking van G0-meters op relatief korte afstanden van elkaar laat gemiddeld geen systematische verschillen zien, waardoor andere verklaringen (zoals verschillen in de ondiepe ondergrond) minder waarschijnlijk zijn. Naast de demping bij hogere frequenties zijn er ook bij een aantal frequenties pieken te zien in de B0-metingen. Die worden mogelijk veroorzaakt door resonanties (bij bepaalde frequenties) van de gebouwen zelf.

Om de dempingseffecten verder te onderzoeken zijn in onderzoek 5 (bijlage 4) berekeningen uitgevoerd voor de gebouwen waarin B0 meters zijn gemonteerd. De uitkomsten laten zien dat de verklaring mogelijk ligt in een ingewikkelde wisselwerking (zogeheten kinematische effecten) tussen de aardbevingsgolven, de fundering van de gebouwen en de bodem onder de gebouwen (Landwehr et al, 2013; Kampitsis et al., 2013). De frequentie waarbij de demping van de B0-metingen begint op te treden en de mate van demping zoals vastgesteld in onderzoek 4 zijn vergelijkbaar met de resultaten van de berekeningen in onderzoek 5. Dat maakt het aannemelijk dat B0-meters aanzienlijk beïnvloed worden door de fundering van de gebouwen waarin ze geïnstalleerd zijn en dat het effect verschillend zal zijn voor ieder B0-station.

4.3 Demping voorlopers van de B0-meters

Nu blijkt dat er een aanzienlijk dempingseffect is bij de B0-meters, rijst de vraag of dit effect ook van invloed is geweest bij de voorloper van de B0-meters: de pre-B0-meters. In 11 gebouwen waar in 2013 en 2014 B0-versnellingsmeters zijn gemonteerd, waren in de periode daarvoor andere (minder geavanceerde) pre-B0-versnellingsmeters aanwezig. Ook waren er in die periode pre-B0 meters aanwezig in twee andere gebouwen. Die laatste meters zijn na hun verwijdering niet vervangen omdat daartoe geen noodzaak was. Figuur 1 en tabel 2 geven een overzicht van de locaties van de B0- en de pre-B0-meters en de periode waarin ze in gebruik waren of in gebruik zijn. Pre-B0-meters zijn de enige versnellingsmeters die zijn gebruikt voor de metingen van de grondbewegingen in de periode voor 2013. Het is onwaarschijnlijk dat deze metingen *niet* gedempt zijn. Immers de funderingen van de gebouwen die zorgen voor de demping waren voor 11 van de 13 pre-B0-meters dezelfde. Voor de overige pre-B0-meters zal door NAM of KNMI nog onderzocht moeten worden om wat voor gebouwen en funderingen het gaat en wat de waarschijnlijkheid is dat die demping veroorzaakten.

Tabel 2 Overzicht pre-B0 en B0 meters (bron KNMI)

Station	Locatie	Latitude	Longitude	Open sinds	Gesloten	Instrument	Station	Open sinds	Instrument
WSE	Westeremden	53,3457	6,7103	20061011	20131001	GeoSig-16	BWSE	20131001	episensor
MID1	Middelstum-1	53,3485	6,6427	19961220	20140701	GeoSig-16	BMD1	20131001	episensor
MID2	Middelstum 2	53,3447	6,6432	19961220	19980210	GeoSig-16			
MID3	Middelstum-3	53,3543	6,6475	19980210	20131001	GeoSig-16	BMD2	20131001	episensor
GARST	Garsthuizen	53,369	6,7142	20090915	20131001	GeoSig-18	BGAR	20131001	episensor
KANT	Kantens	53,3784	6,6627	20070403	20140701	GeoSig-18			
WIN	Winneweer	53,3132	6,7478	20070403	20131001	GeoSig-18	BWIN	20131001	episensor
HKS	Hoeksmeer	53,2919	6,7855	20050426	20131001	GeoSig-18	BHKS	20131001	episensor
STDM	Stedum	53,3133	6,6927	20090915	20131001	GeoSig-18	BSTD	20131001	episensor
FRB2	Froombosch-2	53,1886	6,7662	20060322	20131001	GeoSig-18	BFB2	20131001	episensor
HARK	Harkstede	53,2302	6,7097	20060816	20131001	GeoSig-18	BHAR	20131001	episensor
ZAN1	t Zandt-1	53,3669	6,7755	19990629	20131001	GeoSig-18	BZN1	20131001	episensor
ZAN2	t Zandt-2	53,358	6,7553	19990629	20131001	GeoSig-18	BZN2	20131001	episensor
BONL	Oosternieland	53,4013	6,7555	20131001	20150701	episensor			
BAPP	Appingedam	53,316	6,836	20131001		episensor			
BWIR	Wirdum	53,3237	6,7867	20131001		episensor			
BUHZ	Uithuizen	53,4082	6,6733	20131001		episensor			
BOWW	Oosterwijtwerd	53,3417	6,8132	20131001		episensor			
BLOP	Loppersum	53,335	6,7473	20131001		episensor			

4.4 Verkeerde correctie van een deel van de G4-metingen

De ruwe meetsignalen van seismische meters moeten gecorrigeerd worden voor de effecten van de meter zelf op de metingen. De meter veroorzaakt zelf ook demping die bij bepaalde frequenties sterker optreedt dan bij andere. Pas na deze correctie kunnen de metingen in verdere toepassingen gebruikt worden. Tijdens het onderzoek naar de afwijkende G0-metingen van het KNMI meldt NAM dat het consortium[6] dat het Ground Motion model ontwikkelt een fout heeft gemaakt bij de bewerking van de G4-metingen van de M_L=2,6 Slochteren aardbeving op 27 mei 2017. Bij deze metingen is de correctie voor de effecten van het meetinstrument niet juist uitgevoerd. De data van de M_L=2,6 Slochteren-beving die op deze verkeerde wijze is verwerkt, is alleen gebruikt voor de afstelling van het grondbewegingsmodel (GMM-model) van het HRA-model. In de GMM V5 maakte het consortium hiervoor gebruik van de G4-metingen in plaats van de G0-metingen. De inschatting van het consortium is dat het effect van het gebruik van de verkeerd gecorrigeerde G4-metingen van een enkele aardbeving klein is.

4.5 Overige Groningen seismische metingen

Als toezichthouder op NAM besluit SodM kort na het bekend worden van de problemen met de G0-metingen tot validatie van de overige seismische metingen in Groningen. Er wordt in opdracht van SodM door SED gekeken naar de volledige seismische meetketen van installatie tot de rapportage van de metingen: type, installatie en kalibratie van de verschillende generaties en soorten meters, de verwerking van de meetsignalen, de operationele procedures, de kwaliteitsbewaking, de beschikbaarheid, kwaliteit, integriteit en betrouwbaarheid van het seismische netwerk, de beschikbaarheid van de meetgegevens en de rapportage van de resultaten van de metingen.

De problemen met de seismische metingen in Groningen blijken op basis van de resultaten van de deze validatie en op basis van een eerdere studie van NORSAR voornamelijk beperkt te zijn tot de

[6] Zie voetnoot 2

metingen van de grondbewegingen aan het oppervlak. Daarnaast zijn de op zichzelf juiste G4-metingen van de M_L=2,6 Slochteren beving van 27 mei 2017 door de modelontwikkelaars van het GMM-model van de NAM verkeerd verwerkt.

De eerdere analyse van NORSAR van het seismische meetsysteem in Groningen (KEM11a) was voornamelijk gericht op de G1 t/m G4 meters en de oudere boorgat seismometers die worden gebruikt voor de vaststelling van het tijdstip, de kracht en de locatie van de geïnduceerde aardbevingen in Groningen (onderzoek KEM11A, bijlage 9]. Er zijn in de NORSAR studie voor die metingen geen opmerkelijke problemen gevonden. De gevonden problemen hebben geen significante invloed op de metingen. In het rapport geeft NORSAR een overzicht van welke metingen van welke boorgat-seismometers in welke periode beschikbaar zijn en in welke periode die metingen niet betrouwbaar zijn en niet gebruikt zouden moeten worden.

Witteveen+Bos heeft daarnaast in opdracht van SodM een inventarisatie gemaakt van de beschikbaarheid en de kwaliteit van de alle KNMI versnellingsmeters en metingen in het Groningen gasveld voor de periode 2014 tot 2018 (onderzoek 2, bijlage 2). Ook die inventarisatie heeft geen eerder niet bekende bevindingen opgeleverd. Wel resulteert deze studie in een nuttig overzicht van welke grondversnellingsmetingen van welke meters in welke periode beschikbaar zijn. Ook laat het overzicht zien in welke periode die grondversnellingsmetingen niet gebruikt zouden moeten worden.

5. Zijn de seismische metingen nu op orde?

Het eerste doel van de SodM validatie is de inventarisatie van problemen met de seismische meetgegevens in Groningen. Het tweede doel van de SodM validatie is om vast te stellen of de in het vorige hoofdstuk beschreven problemen met de seismische metingen inmiddels zijn opgelost en als dat niet het geval is wat er moet worden gedaan om de problemen alsnog op te lossen. Het gaat om alle bovengenoemde problemen met de G0-metingen, de B0-metingen, de metingen met pre-B0-meters en de verwerking door NAM van de G4-metingen van de M_L=2,6 Slochteren beving van 27 mei 2017. Kort samen gevat leidt dat tot de volgende constateringen. Van de problemen met de G0- en de G4-metingen is de oorzaak duidelijk. Ook constateert SodM dat de problemen inmiddels zijn opgelost: de meetwaardes zijn op de juiste wijze gecorrigeerd. Voor de pre-B0 en de B0-metingen is dat (nog) niet het geval of nog niet volledig. Om ook daar tot meer duidelijkheid en gecorrigeerde en betrouwbare waardes te komen, moet een aantal zaken door NAM en KNMI worden onderzocht. De volgende paragrafen geven meer details.

5.1 G0 metingen (2014 – heden)

De problemen met de G0-meters zijn opgelost en de problemen met de meetwaardes zijn op een juiste wijze opgelost. Daarmee is de weergave van de metingen van de grondbewegingen met de 79 G0-versnellingsmeters van het G-netwerk, geïnstalleerd tussen 2014 en 2017, nu goed. Ze kunnen zonder verdere problemen worden gebruikt.

KNMI heeft de instellingsproblemen opgelost via een aanpassing in de metadata (de header) voor iedere G0-meter. In de metadata wordt aangegeven wat de factor is tussen het ruwe meetsignaal (het door de opnemer afgegeven voltage) en de grondversnelling. Door deze factor aan te passen zijn de verschillen in de hardware-instellingen tussen verschillende batches G0-meters door KNMI gecorrigeerd (voor meer details zie bijlagen 5 en 9).

Na de toepassing van de correcties door het KNMI van de verkeerde meetwaarden van de G0-versnellingsmeters zijn de problemen met de gemeten (te lage) waarden van de grondversnelling en de oriëntatie van de meters opgelost. Dat wordt bevestigd door:

- Onafhankelijke metingen op triltafels van de Hanze Hogeschool in onderzoek 1 (bijlage 1). De resultaten tonen aan dat de geteste B0- en G0-meters de juiste waarde van de door de triltafel opgelegde versnellingen meten wanneer de juiste kalibratiefactoren worden gebruikt.
- Een analyse van het KNMI [KNMI, 2019a] en de validatie daarvan in onderzoek 3 door Witteveen+Bos. [bijlage 3]. In de KNMI analyse worden de G0-metingen en de B0-metingen vergeleken voor sterke tektonische aardbevingen op zeer grote afstand van Groningen. De frequenties van dergelijke teleseismische signalen zijn zeer laag en de signalen in Groningen worden niet beïnvloed door lokale verschillen in de diepe en ondiepe ondergrond (KNMI, 2019a). De amplitudes van de bevingen zouden voor alle meters in Groningen vrijwel gelijk moeten zijn en dit is na de correctie van de G0-meetwaarden voor de instellingsverschillen inderdaad het geval.
- De analyse van B0 en G0 metingen bij lage frequenties in onderzoek 4 (bijlage 1). Na de correctie van de G0-meetwaarden zijn deze bij lage frequenties (onder de 3 Hz) gemiddeld hetzelfde als de waarden van de B0-stations in de nabijheid van de G0-meters (zie ook paragraaf 4.2].

- Uitkomsten van de modelberekeningen in onderzoek 6 die aantonen dat er geen effect is van de montage van de G0-meters op relatief kleine betonplaten in het vrije veld op de gemeten grondbewegingen (Bijlage 4).
- De in opdracht van SodM uitgevoerde audit van de Zwitserse seismologische dienst (SED) (onderzoek 7, bijlage 5), die in grote lijnen de door KNMI gegeven verklaring voor de meetproblemen bevestigt. De SED audit bevestigt ook dat het probleem van de door KNMI gerapporteerde, niet geheel correcte oriëntatie van een deel van de G0-meters inmiddels ook door KNMI is opgelost.

Wel zijn er nog enkele kanttekeningen. De door KNMI toegepaste correctieprocedure via de metadata levert geen oplossing voor de fysiek niet optimale afstemming van de G0-meters en de daaraan gekoppelde apparatuur die het analoge meetsignaal omzet naar een digitaal signaal (digitisers). Dat leidt niet tot verkeerde meetwaarden. Toch geeft SED aan KNMI het advies om in het kader van een verbeterde kwaliteitsbeheer de instelling en aansluiting van alle G0-meters en de daaraan gekoppelde digitisers te controleren. Dat kan alleen door alle G0-meters en digitisers individueel na te lopen. SodM ondersteunt dit advies van SED. De fabrikant van de G0-meters wijst er in dat kader op dat KNMI daarvoor gespecialiseerd personeel en gereedschap moet inzetten om te voorkomen dat er beschadigingen van de meters optreden. Als dat praktisch mogelijk is, adviseert SodM aan KNMI om tegelijkertijd de instelling van de op de G0-meters aangesloten meetapparatuur te optimaliseren. En om deze apparatuur te voorzien van de laatste software updates van de fabrikant (zie bijlage 9).

5.2 B0-metingen (2013 – heden)

Bij de uitvoering van de SodM validatie zijn de betrokken onderzoekers gestuit op problemen met de 18 in 2013-2014 geïnstalleerde versnellingsmeters van het B0-netwerk. De B0-versnellingsmeters blijken in meer of mindere mate gedempt te worden door (de fundering van) de gebouwen waarin ze zijn geïnstalleerd. De mate van demping wordt bepaald door de frequentie van het signaal, het type gebouw, de toegepaste fundering en de eigenschappen van de grond onder het gebouw. Voor 2 B0-meters is er vrijwel geen demping. Voor de andere 16 B0-meters loopt de demping bij hogere frequenties op tot een factor 10. Gemiddeld is de demping van de B0-meters een factor 2 bij frequenties in het bereik rond de 5 Hertz. Omdat veel gebouwen in Groningen gevoelig zijn voor grondbewegingen met deze frequenties, is de genoemde demping in de metingen van de grondbewegingen een probleem. Dit probleem is nog niet opgelost.

SodM heeft NAM opgedragen, ten genoegen van SodM, een addendum aan het studie- en data acquisitie plan toe te voegen met daarin een voorstel om te onderzoeken of en hoe de metingen met de B0-meters kunnen worden gecorrigeerd voor de effecten van gebouwdemping. SodM zal een onafhankelijke validatie van de resultaten van dit onderzoek laten uitvoeren.

5.3 Pre-B0-metingen (1994 – 2013)

In de periode voorafgaand aan de installatie van het B0-netwerk in 2013-2014 werden de metingen van de grondbewegingen in het Groningen gasveld uitgevoerd met de versnellingsmeters van het pre-B0-netwerk. Deze meters zijn weliswaar nu niet meer in gebruik, maar de meetresultaten van deze meters worden wel nog gebruikt. Die versnellingsmeters stonden grotendeels in dezelfde gebouwen waar later de B0-meters zijn geïnstalleerd. De verwachting is daarom dat ook de metingen

met de pre-B0-meters voor een deel vergelijkbare dempingseffecten kennen. Ook dit is nog niet opgelost. SodM heeft de NAM opgedragen de mogelijkheden voor correctie van de pre-B0-metingen mee te nemen in het onderzoek naar de correctie van de B0-metingen.

5.4 G4-metingen (M_L=2,6 Slochteren beving)

Tijdens de SodM validatie is tenslotte gebleken dat de metingen met de G4 seismometers op een diepte van 200 meter tijdens de M_L=2,6 Slochteren beving van 27 mei 2017 door het consortium dat het zogenaamde Ground motion model ontwikkelt, niet juist zijn verwerkt.

NAM gebruikte de metingen van de G4 stations tot nu toe voor het kalibreren van het GMM-model. De NAM heeft het GMM-model gebruikt in de berekeningen van de seismische dreiging en risico (het HRA model). NAM heeft de G4 metingen van de Slochteren beving op 27 mei 2017 inmiddels opnieuw verwerkt en daarbij de juiste correctie toegepast.

In de volgende versies van het GMM model (V6 en verder) worden de G4-metingen niet langer gebruikt in de berekeningen van de seismische dreiging en risico (het HRA model). In plaats daarvan worden nu de (gecorrigeerde) G0-metingen benut die tot dusver hiervoor niet gebruikt werden.

De gevolgen van de onjuist verwerkte gegevens voor de HRA-berekeningen zijn nog niet duidelijk. SodM heeft NAM verzocht in een vervolgstudie te laten uitzoeken tot welke verschillen in uitkomsten het gebruik van deels verkeerde G4-metingen, correcte G4-metingen of alleen de (gecorrigeerde) G0-metingen hebben geleid.

SodM concludeert dat de seismische metingen die op dit moment gedaan worden correct zijn, met uitzondering van de metingen van de B0-meters.

6. Impact van de geconstateerde problemen

De eerste twee doelen van de SodM validatie zijn de inventarisatie van de problemen met de meetgegevens, de vaststelling of deze zijn opgelost en als dat niet het geval is wat er nog moet worden gedaan om de problemen alsnog op te lossen. Het derde doel van de SodM validatie is, vast te stellen wat de gevolgen van de geconstateerde problemen zijn.

SodM kan bevestigen dat de G0-metingen niet direct gebruikt zijn in de HRA-berekeningen. De problemen met de gerapporteerde meetwaarden van deze meters hebben naar verwachting geen significante impact op de dreiging- en risicoberekeningen. De G0-metingen zijn wel gebruikt voor het empirische grondbewegingsmodel. Echter de ambtelijke werkgroep die deze doorwerking heeft onderzocht heeft geconstateerd dat dit niet van invloed is geweest op de schadeafhandeling. SodM heeft deze analyse beoordeeld en heeft geen aanleiding om een andere conclusie te trekken. De vraag blijft daarbij wat het effect is van de overige geconstateerde problemen op kaarten van de waargenomen grondbewegingen (zogenaamde shake maps); op de empirische Ground Motion Prediction Equation (de empirische GMPE); op de seismische dreigingsberekeningen; de risicoberekeningen (de HRA-berekeningen) van NAM; op de afhandeling van schadedossiers; op de omvang en prioritering van het versterkingsprogramma en op KEM onderzoeken. En hoe lossen we dat op? In een aantal gevallen is de oplossing nog niet duidelijk en moet aanvullend onderzoek worden uitgevoerd om te kijken of en hoe dat moet. De onderstaande paragrafen geven meer details.

6.1 Gevolgen voor eerder vastgestelde grondbewegingen en shake maps

KNMI gebruikt voor het berekenen van shake maps - kaarten met de contouren van de opgetreden maximale grondversnelling (de PGA) per aardbeving – de tijdens een aardbeving gemeten grondversnellingen. Nadat KNMI de instellingsproblemen met de G0-meters had opgelost, heeft KNMI de shake maps opnieuw berekend (KNMI, 2019d).

Inmiddels weten we dat ook de metingen van een deel van de B0- en een deel van de pre-B0-meters tot de vaststelling van te lage grondversnellingen hebben gemeten. Een belangrijk deel van die metingen lijkt voor frequenties hoger dan ongeveer 3 - 5 Hz aanzienlijk gedempt. Dit betekent dat de in het verleden gerapporteerde PGA waarden (in Groningen ongeveer overeenkomend met een frequentie van 10 Hz) voor die meters te laag zijn geweest. SodM vraagt aan KNMI die shake maps opnieuw te berekenen zodra de NAM de B0-metingen en pre-B0-metingen ten genoegen van SodM heeft gecorrigeerd.

6.2 Gevolgen voor de empirische GMPE vergelijking

Met de empirische Ground Motion Prediction vergelijking van NAM (empirische GMPE, Bommer, 2019) , die zowel KNMI als NAM gebruiken, kan voor alle historische bevingen voor iedere locatie in Groningen snel een inschatting gemaakt worden van de hoogste grondsnelheid (PGV) die daar is opgetreden en of er daardoor schade veroorzaakt kan zijn.

Voor de ontwikkeling van de empirische GMPE zijn 1724 grondversnellingen gebruikt van 55 geïnduceerde aardbevingen met een magnituderange van 1,8 - 3,6, gemeten met pre-B0-, B0- en G0-meters. De empirische GMPE is in zijn huidige vorm mogelijk niet goed bruikbaar omdat niet uitgesloten kan worden dat het effect van de gedempte B0- en pre-B0 metingen daarop aanzienlijk is. Gebruik van alleen gecorrigeerde G0 metingen leidt ertoe dat veel van de bevingen waarbij de

grootste grondversnellingen zijn opgetreden niet in de vergelijking worden meegenomen. Deze bevingen vonden plaats vóór de installatie van het G-netwerk in 2014-2017. Herberekening van de empirische dreigingskaart door NAM is volgens SodM daarom pas zinvol als de pre-B0 en B0 metingen die daarvoor worden gebruikt, gecorrigeerd zijn.

6.3 Effecten op schadeafhandeling en subsidieregelingen

Een ambtelijke werkgroep heeft in kaart gebracht voor welke toepassingen in het verleden verkeerde G0-metingen zijn gebruikt en geconcludeerd dat er geen gevolgen zijn. SodM heeft deze analyse beoordeeld en heeft geen aanleiding een andere conclusie te trekken. Er is met name gekeken naar de effecten op de afhandeling van schade en de toepassing van (subsidie)regelingen (EZK/IenW, 2019). De effecten van de demping van de pre-B0 en B0-metingen zijn door de werkgroep niet onderzocht. Deze waren op dat moment nog niet bekend. SodM adviseert dat de betrokken ministeries een vergelijkbare evaluatie uitvoeren voor de effecten van de problemen met de pre-B0 en B0-meters. De werkgroep kan allereerst kijken of de pre-B0 en B0-metingen doorwerken in de aanpak bij schadeafhandeling en subsidieregelingen en hoe een aanpassing van die metingen zou kunnen doorwerken. Pas als een inschatting beschikbaar is van de omvang van het effect (van de demping van de B0 en pre-B0 meters) kan vervolgens bezien worden of de gedempte B0-metingen van invloed zijn en zo ja, in welke mate. SodM heeft NAM opdracht gegeven een inschatting van de omvang van het effect te maken. SodM houdt hier toezicht op en zal dit bovendien laten valideren door een onafhankelijke derde partij.

6.4 Gevolgen voor de berekende seismische dreiging en risico's

Het Ground Motion Model, versie 5 (GMM V5) is onderdeel van de NAM HRA modelketen voor de berekening van de seismische dreiging en het seismisch risico in Groningen. Tevens wordt dit model door de KNMI gebruikt om de seismische dreigingskaarten te berekenen. Met het HRA model berekent NAM de dreiging en de risico's van de aardbevingen in Groningen voor een gegeven productieprofiel. Voor de ontwikkeling ervan is gebruik gemaakt van de B0- en preB0-metingen en van de latere G4-metingen op een diepte van 200 meter. De G0 metingen zijn niet direct gebruikt voor de ontwikkeling van het GMM V5 Ground Motion model en er is daarom geen significant effect van de correctie van deze metingen te verwachten op de berekening van seismische dreiging en risico (bijlage 7). Door nauwgezet de documenten te doorlopen die de ontwikkeling van versie V4 en versie V5 van het GMM in detail beschrijven (Bommer, 2017, Bommer 2018) is dit gecontroleerd door SodM. Ook is daarvoor gesproken met de onderzoekers die de Ground Motion modellen ontwikkelen voor NAM. Wel is uit de analyse van SodM gebleken dat de G0-metingen op een indirecte wijze gebruikt zijn voor de ontwikkeling van delen van het model. Vermoedelijk is het effect van dit indirecte gebruik van de G0-metingen op de GMM V5 klein. Echter, het is niet uit te sluiten dat het effect groter is (bijlage 7). Een deskundige van het KEM panel heeft de conclusies van SodM beoordeeld en kan deze bevestigen.

Voor het gebruik van de verkeerd verwerkte G4 metingen van de M_L=2,6 Slochteren beving voor de ontwikkeling van de GMM V5 geldt het volgende. Volgens de analyse van SodM - bevestigd door een expert van het KEM panel - is niet met volledige zekerheid vast te stellen dat het effect van de verkeerde verwerking van een deel van de G4 metingen op de GMM V5 klein is (bijlage 6). Er is verder onderzoek nodig om het effect van de verkeerde verwerking te kunnen inschatten. SodM heeft NAM opdracht gegeven dit te doen.

De aanzienlijke demping van tenminste een deel van de pre-B0- en de B0-metingen werkt ook door in de dreiging- en risicoberekeningen. Immers, deze metingen zijn gebruikt voor de ontwikkeling van de GMM V5.

Sinds eind april is versie V6 van het Ground Motion model bij NAM beschikbaar. Daarin wordt gebruik gemaakt van pre-B0-, B0- én – in tegenstelling tot de eerdere versie van de HRA – de gecorrigeerde G0-metingen. De G4-metingen worden niet meer gebruikt in V6. Tegelijkertijd is een aantal andere wijzigingen doorgevoerd. Daarmee zijn de problemen met de invloed van verkeerde meetwaarden van de grondversnelling op de HRA berekeningen deels opgelost maar niet volledig. Ook voor de ontwikkeling van GMM V6 gebruikt NAM gedempte pre-B0 en B0 metingen voor de kalibratie van het model (zie Tabel 3).

Tabel 3 pre-B0 en B0-metingen gebruikt in GMM V5 (bron KNMI)

EQ-ID	M_L	Datum	Plaats	G4	G0	(pre-) B0	
				aantal	aantal	aantal	betreffende B0- en Pre-B0 meters
1	3.5	8-aug-2006	Westeremden	0	0	4	Pre-B0 (MID3, ZAN2, ZAN1, HKS)
2	2.5	8-aug-2006	Westeremden	0	0	1	Pre-B0 (MID3)
3	3.2	30-okt-2008	Westeremden	0	0	6	Pre-B0 (MID3, MID1, ZAN2, ZAN1, WSE, WIN)
4	2.6	14-apr-2009	Huizinge	0	0	3	Pre-B0 (MID3, MID1, WSE)
5	3.0	8-mei-2009	Zeerijp	0	0	5	Pre-B0 (MID1, ZAN2, ZAN1, WSE, WIN)
6	2.5	14-aug-2010	Uithuizermeeden	0	0	5	Pre-B0 (MID1, ZAN2, WSE, GARST, KANT)
7	3.2	27-jun-2011	Garrelsweer	0	0	8	Pre-B0 (MID1, ZAN2, ZAN1, HKS, WSE, WIN, GARST, KANT)
8	2.5	31-aug-2011	Uithuizen	0	0	3	Pre-B0 (ZAN2, WSE, GARST)
9	2.5	6-sep-2011	Oosterwijtwerd	0	0	1	Pre-B0 (WSE)
10	3.6	16-aug-2012	Huizinge	0	0	7	Pre-B0 (MID1, HKS, WSE, WIN, STDM, GARST, KANT)
11	2.7	7-feb-2013	Zandeweer	0	0	3	Pre-B0 (WSE, GARST, KANT)
12	3.2	7-feb-2013	Zandeweer	0	0	3	Pre-B0 (WSE, GARST, KANT)
13	2.7	9-feb-2013	t Zandt'	0	0	2	Pre-B0 (WSE, GARST)
14	3.0	2-jul-2013	Garrelsweer	0	0	2	Pre-B0 (ZAN1, WIN)
15	2.8	4-sep-2013	Zeerijp	0	0	5	Pre-B0 (ZAN1, HKS, BWSE, WIN, GARST)
16	3.0	13-feb-2014	Leermens	0	0	14	Pre-B0 (HKS, WIN, GARST, KANT), B0 (BMD2, BMD1, BZN2, BWSE, BWIR, BOWW, BONL, BAPP, BLOP, BUHZ)
17	2.6	1-sep-2014	Froombosch	0	0	5	B0 (BZN2, BZN1, BWIR, BOWW, BAPP)
18	2.8	30-sep-2014	Garmerwolde	0	0	12	B0 (BMD2, BZN2, BHKS, BWSE, BSTD, BGAR, BOWW, BONL, BAPP, BLOP, BUHZ, BHAR)
19	2.9	5-nov-2014	Zandeweer	0	4	14	B0 (BMD2, BZN2, BHKS, BWSE, BWIN, BSTD, BGAR, BWIR, BOWW, BONL, BAPP, BLOP, BUHZ, BHAR)
20	2.8	30-dec-2014	Woudbloem	0	5	14	B0 (BMD2, BZN2, BHKS, BWSE, BWIN, BSTD, BGAR, BWIR, BOWW, BONL, BAPP, BLOP, BUHZ, BHAR)
21	2.7	6-jan-2015	Wirdum	5	5	14	B0 (BMD2, BZN2, BZN1, BHKS, BWSE, BSTD, BGAR, BWIR, BOWW, BONL, BAPP, BLOP, BUHZ, BHAR)
22	3.1	30-sep-2015	Hellum	31	31	12	B0 (BMD2, BZN2, BWSE, BWIN, BSTD, BGAR, BWIR, BOWW, BAPP, BLOP, BUHZ, BHAR)
23	2.6	27-mei-2017	Slochteren	59	60	10	B0 (BZN1, BHKS, BWIN, BSTD, BGAR, BWIR, BAPP, BLOP, BUHZ, BHAR)

Volgens NAM leiden de eerste berekeningen met GMM V6 tot een significante toename van de seismische dreiging. NAM heeft tegelijkertijd een aantal verschillende aanpassingen gemaakt in GMM V6. Ten eerste zijn de eigenschappen van de ondiepe ondergrond in GMM V6 aangepast op grond van de laatste inzichten. Het gaat om de laagdiktes en seismische voortplantingssnelheden in de verschillende lagen. Ten tweede is het aantal metingen van grondbewegingen dat gebruikt wordt om het model te kalibreren uitgebreid (omdat er inmiddels weer meer bevingen hebben plaatsgevonden). Er zijn dus een viertal verschillen tussen de versie 5 en 6 van het model: (1) G0 data toegevoegd; (2) G4 wordt niet meer gebruikt; (3) eigenschappen van de ondiepe ondergrond zijn aangepast; en (4) de metingen van meerdere aardbevingen sinds model versie 5 (o.a. de M_L= 3,4 Zeerijp en de M_L= 2,8 Garrelsweer bevingen uit 2018) zijn toegevoegd.

Omdat al deze zaken tegelijkertijd veranderd zijn, is het niet eenvoudig het afzonderlijke effect van de correctie van de G0-meetwaarden of van de eerder verkeerd verwerkte G4-metingen van de M_L=2,6 Slochteren beving van 27 mei 2018 op GMM V5 vast te stellen. Ook is het niet mogelijk om vast te stellen wat het afzonderlijke effect is van de modelaanpassing waardoor uitgegaan wordt van G0-metingen in plaats van G4-metingen (het weglaten van de G4-metingen en de vervanging daarvan door G0-metingen in GMM V6).

SodM heeft NAM opgedragen door middel van een systematisch onderzoek te bepalen waardoor de verschillen in uitkomsten tussen GMM V5 en GMM V6 veroorzaakt worden en welke impact zij hebben op de risicoberekeningen. De voorlopige doorrekeningen suggereren echter dat het gezamenlijke effect niet beperkt is: de deelberekeningen suggereren dat de dreiging significant toeneemt. Een toenemende dreiging zou betekenen dat het aantal gebouwen, dat op basis van de verwachtingswaarde een hoger risico heeft dan de norm van 10^{-5} per jaar, ook toeneemt. Echter, omdat de dreiging uniform over het gehele veld toeneemt en daardoor álle gebouwen als gevolg van de nieuwe berekende dreiging een hoger risico hebben, betekent dit volgens SodM dat de gebouwen die hierdoor nu ineens een (licht) verhoogd risicoprofiel hebben een lager risico hebben dan de gebouwen die op dit moment onderdeel zijn van de versterkingsopgave. Het ruimtelijk patroon van de berekende dreigingskaarten (en daarmee de volgorde in de risicoprioritering van de gebouwen op basis van het berekende risico) veranderen volgens deze eerste voorlopige berekeningen van NAM niet. Hierbij dient opgemerkt te worden dat op basis van de verwachtingswaarde er geen gebouwen zijn die boven de tijdelijke norm van 10^{-4} per jaar uitkomen. In de volgende paragraaf wordt de impact op het versterkingsprogramma verder besproken.

De impact van het gebruik van verkeerde waarden voor de grondversnellingen op de HRA berekeningen is met GMM V6 nog niet opgelost. Ook voor de ontwikkeling van GMM V6 is gebruik gemaakt van pre-B0- en B0-metingen waarvan we nu weten dat die deels aanzienlijk gedempt zijn. Op verzoek van SodM is door KNMI uitgezocht welke pre-B0- en B0-meters wanneer gebruikt zijn en welke data daarvan door KNMI en NAM gebruikt is voor de ontwikkeling van de GMM (zie tabel 3). Om de effecten daarvan op de GMM te bepalen is vervolgonderzoek nodig. Dit onderzoek moet proberen het effect van de afzonderlijke veranderingen apart inzichtelijk te maken. Hiertoe zijn veel verschillende berekeningen nodig en dit zal om zorgvuldig te gebeuren de nodige tijd gaan vergen. SodM heeft NAM opgedragen, ten genoegen van SodM, een addendum aan het studie en data acquisitie plan toe te voegen met daarin een voorstel voor dit onderzoek.

Uiteindelijk zullen nieuwe seismische dreigingsberekeningen en kaarten moeten worden gemaakt door zowel het KNMI als door de NAM. De NAM zal ook een nieuwe seismische risico analyse moeten maken. Dat betekent dat er in elk geval een nieuwe versie van het Ground Motion model moeten worden ontwikkeld waarbij de geconstateerde problemen naar het oordeel van SodM in voldoende mate verholpen zijn.

6.5 Gevolgen voor het versterkingsprogramma en schadeafhandeling

Eerste berekeningen suggereren dat met de op dit moment gedeeltelijk gecorrigeerde meetgegevens de seismische dreiging groter is dan voorheen bepaald. Omdat het nog niet duidelijk is in welke mate de correctie van de meetgegevens tot een grotere dreiging leidt en de pre-B0 en B0 metingen nog moeten worden gecorrigeerd, weten we niet wat het uiteindelijke resultaat gaat worden. Daarvoor is nader onderzoek nodig. Wel is het voorstelbaar dat meer gebouwen in het versterkingsprogramma opgenomen moeten worden. Deze gebouwen hebben dan wel een lagere prioriteit dan de

gebouwen die nu al in het versterkingsprogramma zitten: de volgorde van de gebouwen op basis van risico blijft op basis van de huidige inzichten gelijk.

Op dit moment is er geen capaciteit om méér gebouwen aan te pakken in het versterkingsprogramma. Ook hebben de toe te voegen gebouwen een lagere prioriteit dan de gebouwen in het huidige versterkingsprogramma. Daarom adviseert SodM om eerst de demping in de pre-B0 en B0 metingen te corrigeren, en dan nogmaals de seismische dreiging en het seismisch risico te berekenen. Dan weten we met meer zekerheid hoeveel en welke gebouwen moeten worden opgenomen. SodM verwacht dat in de volgende update van de risicoberekeningen de correcties aangebracht zullen zijn. Dat zou betekenen dat in de eerste helft van 2020 duidelijk moet worden of en zo ja welke gebouwen nog aan het versterkingsprogramma toegevoegd moeten worden.

De dreigingskaarten die in de NPR worden gebruikt zijn ook berekend met het GMM v5. In de hierbij gebruikte methodologie zitten een aantal conservatieve veronderstellingen. De berekeningen die in het verleden zijn gedaan zijn bovendien gedaan op basis van de hogere niveaus van gaswinning in jaren voorafgaand aan deze berekeningen. Om deze redenen is het niet de verwachting dat de benodigde mate van versterking gaat veranderen in het geval dat de kaarten veranderen. Tegelijkertijd kan dit ook niet uitgesloten worden. Terwijl dit onderzocht wordt kan en moet (gegeven de noodzaak voor versnelling van de versterkingsoperatie) naar het oordeel van SodM de huidige toepassing van de NPR voortgezet worden.

Het is op dit moment onduidelijk of de geconstateerde problemen met de pre-B0 metingen en B0-metingen een effect hebben op de schadeafhandeling. SodM adviseert de minister van EZK om de ambtelijke werkgroep die eerder dit jaar onderzocht wat het effect van de G0-meetproblemen was op de schadeafhandeling, opdracht te geven dezelfde vraag te beantwoorden voor de B0-metingen.

6.6 Gevolgen voor het vaststellingsbesluit voor het gasjaar 2019/2020

SodM heeft de minister advies gegeven met betrekking tot het komen tot een ontwerpbesluit voor het gasjaar 2019/2020. Gegeven bovenstaande impactbeoordeling is er op dit moment, met de nu beschikbare informatie, geen aanleiding voor SodM om de gegeven adviezen aan te vullen.

6.7 Gevolgen voor KEM onderzoeken

Het vierde doel van de SodM validatie is te bepalen welke vervolgonderzoeken nodig zijn als de gevolgen van de gevonden problemen met seismische metingen nog niet goed kunnen worden vastgesteld. In de KEM02 en KEM04 onderzoeken wordt sinds februari 2019 gebruik gemaakt van gecorrigeerde G0-metingen. De betrokken onderzoekers hebben in overleg met SodM en EZK besloten voorlopig geen gebruik te maken van pre-B0 en B0-metingen. De onderzoekprogramma's zijn daarop aangepast. Als het in een later stadium mogelijk blijkt om een deel van de pre-B0 en/of de B0 metingen te gebruiken of te corrigeren, kunnen deze alsnog in KEM02/04 vervolgonderzoeken worden meegenomen. Ook daar is de onderzoeksopzet op aangepast.

6.8 Andere gevolgen

De problemen met de pre-B0-, B0- en G0 metingen hebben mogelijk een aantal andere gevolgen. Ze worden mogelijk gebruikt in eerdere externe veiligheidsberekeningen, stabiliteitsberekeningen voor hoogspanningsmasten en fluidisatieberekeningen. Er zijn mogelijke gevolgen voor de uitkomsten van alle berekeningen en modellen waarin ongecorrigeerde G0-metingen en/of gedempte pre-B0- of B0-

metingen zijn gebruikt. SodM adviseert dat een ambtelijke werkgroep van de betrokken ministeries op korte termijn een inventarisatie opstelt.

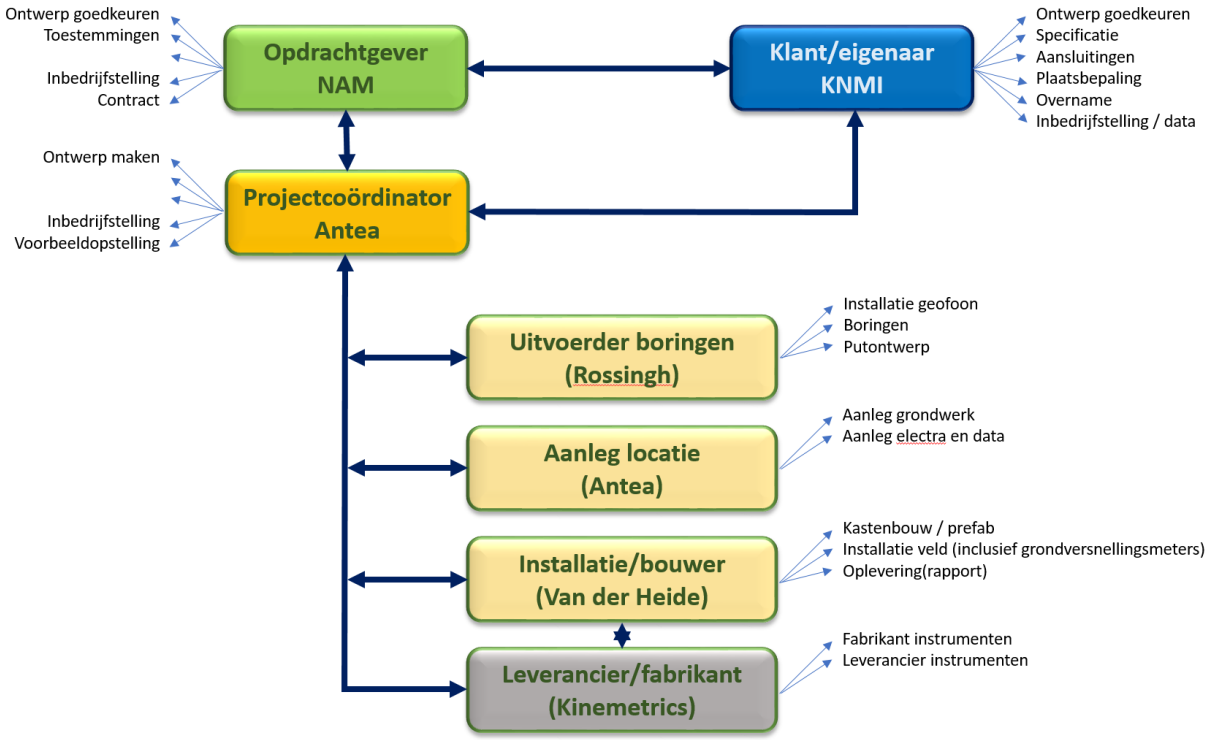
7. Uitkomsten feitenonderzoek

Het vijfde doel van de SodM validatie is vast te stellen wat er precies gebeurd is en wat we daar van kunnen leren. SodM heeft een feitenonderzoek gedaan om te kijken wie wanneer wat wist over de incorrecte metingen.

Aanleiding voor het feitenonderzoek was de melding op 5 februari 2019 van onderzoekers betrokken bij KEM aan EZK en SodM van problemen met de metingen van de grondversnellingen in Groningen. KNMI heeft die systematische verschillen tussen de B0- en de G0- metingen al in augustus 2018 besproken met NAM en met onderzoekers die voor NAM werken aan modellen voor de voorspelling van de grondbewegingen in Groningen. KNMI en NAM begrepen op dat moment nog niet wat de oorzaak was. Ze schatten het effect van de eventuele meetproblemen in als gering. Zij communiceerden in dat stadium nog niet met anderen over de meetproblemen. Het probleem en de oplossing daarvan in december 2018 (inclusief het aanpassen van de data) meldde KNMI door een menselijke fout ook later niet aan belanghebbenden zoals SodM, EZK en de KEM onderzoekers.

Een deel van het feitenonderzoek is uitgevoerd door de Zwitserse Seismologische Dienst (SED) die in opdracht van SodM een onafhankelijke audit heeft uitgevoerd. Een ander deel van het feitenonderzoek is uitgevoerd door SodM zelf. Er zijn interviews afgenomen bij een aantal partijen (KNMI, NAM, Antea Group en Kinemetrics). Het seismologisch netwerk in Groningen is een groot en complex netwerk, waarvoor voldoende ervaren mensen nodig zijn om het professioneel te kunnen bouwen en beheren. De onderstaande figuur illustreert de rolverdeling van de betrokken partijen tijdens de uitbreiding van het netwerk (vanaf 2014).

Het netwerk wordt door veel verschillende partijen gebruikt.



Figuur 4 schematische rollenverdeling

Het KNMI en de NAM hebben ieder te weinig aandacht gehad voor de kwaliteitsbewaking en hebben onvoldoende omgevingsbewustzijn getoond met betrekking tot de impact van afwijkende meetgegevens. Er zijn veel verschillende partijen betrokken bij de aanleg, de installatie en de operatie van het seismisch netwerk in Groningen. Noch het KNMI noch de NAM heeft daarbij in voldoende mate de regierol en zicht over het totale project.

Voorgaande heeft mede geleid tot het niet of laat opmerken van de problemen met de pre-B0, B0 en G0 metingen en/of had men geen oog voor de mogelijk impact daarvan. Het gebrek aan adequaat optreden (communicatie) van zowel KNMI als NAM heeft geleid tot publieke onrust.

Uit de audit van SED blijkt dat het KNMI over onvoldoende ervaren mensen beschikt voor het professioneel en adequaat beheren van een seismisch netwerk met de grootte en de complexiteit zoals in Groningen. Voorgaande heeft mede geleid tot het niet of laat opmerken van de problemen met de pre-B0, B0 en G0 metingen en/of had men geen oog voor de mogelijk impact daarvan. Het gebrek aan adequaat optreden (communicatie) van zowel KNMI als NAM heeft geleid tot publieke onrust.

SodM is van mening dat het KNMI en de NAM de kwaliteitsborging beter hadden moeten organiseren en dat er heldere afspraken moeten komen over de wijze van opschaling en communicatie als er problemen zijn.

Van het KNMI, het kennisinstituut in Nederland op het gebied van seismische meetgegevens, mag worden verwacht dat zij binnen haar bedrijfssystemen borgt dat de geïnstalleerde seismische meetstations en de meetgegevens nauwkeurig en betrouwbaar zijn en dat bij geconstateerde afwijkingen hierover met betrokken partijen proactief wordt gecommuniceerd.

Van de NAM, die als afnemer afhankelijk is van deze meetgegevens en daarmee het voor de aardbevingsproblematiek van belang zijnde rekenmodel doorberekent, mag worden verwacht dat zij controle uitoefent op de betrouwbaarheid van de ontvangen meetgegevens. Hierbij past een proactieve houding en actieve communicatie.

8. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

In de regio van het Groningengasveld wordt met behulp van een groot aantal meters de omvang en locatie van aardbevingen bepaald en de grondbewegingen gemeten. De metingen van de grondbewegingen zijn van groot belang voor het beoordelen en afhandelen van schadedossiers, het toepassen van ministeriële (subsidie)regelingen, de berekeningen van seismische dreiging en risico (met het HRA model[7]), de omvang en prioritering van het versterkingsprogramma en als input voor wetenschappelijke studies.

Een eerdere validatie, uitgevoerd door het Noorse instituut NORSAR, heeft laten zien dat de metingen waarmee de omvang en locatie van aardbevingen worden bepaald, goed uitgevoerd worden. De voorliggende validatie is gericht op de metingen van de grondbewegingen.

In het gebied worden de grondbewegingen aan het oppervlak gemeten door zowel B0 als G0 meters. Er zijn 16 actieve B0 meters en 79 actieve G0 meters. Daarnaast worden ook de bewegingen in de ondergrond gemeten. Hiertoe zijn op de locaties van de G0-meters op verschillende dieptes meters aangebracht (dit zijn de G1, G2, G3 en G4 meters op 50, 100, 150 en 200 meter diepte waar in het NORSAR onderzoek uitgebreid naar gekeken is).

In februari 2019 werd gemeld dat er problemen waren met een deel van de versnellingsmeters (G0). Aangezien de mensen in Groningen er op moeten kunnen vertrouwen dat er correcte metingen worden gebruikt, heeft SodM besloten een validatie-onderzoek te starten van de grondversnellingsmetingen in het Groningen gasveld. Dit rapport is een tussentijdse rapportage met de uitkomsten van de tot nu toe uitgevoerde onderzoeken, de conclusies die daar op dit moment uit getrokken kunnen worden en de gevolgen daarvan.

In het onderstaande worden de conclusies van de validatie gepresenteerd: eerst de conclusies met betrekking tot de vragen welke meetproblemen zijn geconstateerd en zijn deze nu opgelost; vervolgens de conclusies met betrekking tot de impact die de meetproblemen hebben; en tenslotte de conclusies met betrekking tot hoe meetproblemen in de toekomst voorkomen kunnen worden.

Welke meetproblemen zijn gevonden en zijn deze nu opgelost?

De eerste twee doelen van de SodM validatie zijn: 1) een inventarisatie van de problemen met de kwaliteit en de integriteit van de KNMI seismische meetgegevens in Groningen; en 2) het vaststellen of de geconstateerde problemen inmiddels zijn opgelost en, als dat niet het geval is, wat er nodig is om de problemen alsnog op te lossen.

De G0-metingen zijn nu goed

SodM heeft vastgesteld dat de in februari 2019 bij SodM gemelde problemen met de G0-versnellingsmeters in het Groningen gasveld door KNMI in een eerder stadium zijn vastgesteld en adequaat zijn opgelost. Dat wordt bevestigd door een onafhankelijke audit die in opdracht van SodM door de Zwitserse seismologische dienst SED is uitgevoerd. SED had daarbij toegang tot de resultaten van ondersteunende deelstudies die in opdracht van SodM zijn uitgevoerd door Fugro, Seister Seismic Engineering Solutions, Bal en Witteveen+Bos. Ook had SED toegang tot de resultaten van het feitenonderzoek naar de problemen met de G0-meters dat door SodM zelf is uitgevoerd. De SED

[7] Het Hazard and Risk model waarmee de NAM de seismische dreiging en risico voor het Groningen-gasveld berekend.

audit en het feitenonderzoek van SodM bevestigen in grote lijnen de door KNMI gegeven verklaring voor de meetproblemen. De SED audit bevestigt ook dat het probleem van de door KNMI gerapporteerde, niet geheel correcte oriëntatie van een deel van de G0-meters inmiddels ook door KNMI is opgelost.

SodM concludeert gegeven het bovenstaande dat de weergave van de metingen van de grondbewegingen met de 79 G0-versnellingsmeters van het G-netwerk, geïnstalleerd tussen 2015 en 2017, nu goed zijn. Ze kunnen zonder verdere problemen worden gebruikt. Wel adviseert SodM dat KNMI alle individuele G0-meters nog een keer naloopt om te controleren dat voor alle meters het juiste aansluitschema is toegepast. Als dat praktisch mogelijk is, adviseert SodM aan KNMI om tegelijkertijd de instelling van de op de G0-meters aangesloten meetapparatuur te optimaliseren. En om deze apparatuur te voorzien van de laatste software updates van de fabrikant.

De B0-metingen zijn niet goed: de meetopstelling dempt deels het meetsignaal
Bij de uitvoering van de SodM validatie zijn de betrokken onderzoekers gestuit op problemen met de 17 in 2013-2014 geïnstalleerde versnellingsmeters van het B0-netwerk. De B0-versnellingsmeters blijken in meer of mindere mate gedempt te worden door (de fundering van) de gebouwen waarin ze zijn geïnstalleerd. De mate van demping wordt bepaald door de frequentie van het signaal, het type gebouw, de toegepaste fundering en de eigenschappen van de grond onder het gebouw. Voor 2 B0-meters is er vrijwel geen demping. Voor andere B0-meters loopt de demping bij hogere frequenties op tot een factor 5. Gemiddeld is de demping van de B0-meters een factor 2 bij frequenties in het bereik rond de 10 Hertz. Omdat veel gebouwen in Groningen gevoelig zijn voor grondbewegingen met deze frequenties, is de genoemde demping in de metingen van de grondbewegingen een probleem. Dit probleem is nog niet opgelost.

Onderzocht wordt of en hoe de demping gecorrigeerd kan worden
SodM heeft NAM opgedragen op korte termijn te onderzoeken of en hoe de metingen met de B0-meters kunnen worden gecorrigeerd voor de effecten van gebouwdemping. SodM heeft NAM opgedragen, ten genoegen van SodM, een addendum aan het studie- en data acquisitie plan toe te voegen met daarin een voorstel voor dit onderzoek. SodM zal een onafhankelijke validatie van de resultaten van dit onderzoek laten uitvoeren.

In de periode voorafgaand aan de installatie van het B0-netwerk in 2013-2014 werden de metingen van de grondbewegingen in het Groningen gasveld uitgevoerd met de versnellingsmeters van het pre-B0-netwerk. Die versnellingsmeters stonden grotendeels in dezelfde gebouwen waar later de B0-meters zijn geïnstalleerd. De verwachting is daarom dat ook de metingen met de pre-B0-meters voor een deel vergelijkbare dempingseffecten kennen. Ook dit is nog niet opgelost. SodM heeft de NAM opgedragen de mogelijkheden voor correctie van de pre-B0-metingen mee te nemen in het onderzoek naar de correctie van de B0-metingen.

De overige metingen zijn goed
Door Witteveen+Bos is in opdracht van SodM een overzicht gemaakt van de grondversnellingsmeters en metingen in het Groningen gasveld in de periode 2014-2018. Daarin is te zien welke versnellingsmeters en metingen in welke periode beschikbaar waren, en welke van die metingen niet gebruikt moeten worden omdat ze kleinere of grotere problemen kennen. Op basis van de analyse

zijn geen belangrijke eerder niet bekende problemen gevonden. Dat is in overeenstemming met de resultaten van een eerdere studie die in opdracht van SODM in 2018 door NORSAR is uitgevoerd.

Tijdens de SodM validatie is tenslotte gebleken dat de metingen met de G4 seismometers op een diepte van 200 meter tijdens de M_L=2,6 Slochteren beving van 27 mei 2017 door het consortium dat het zogenaamde Ground motion model ontwikkelt, niet juist zijn verwerkt. Het probleem is inmiddels onderkend en opgelost maar de gevolgen ervan voor de HRA-berekeningen zijn nog niet duidelijk.

SodM concludeert dat de seismische metingen die op dit moment gedaan worden correct zijn, met uitzondering van de metingen van de B0-meters.

Wat is de impact van de meetproblemen en welke vervolgacties en onderzoeken zijn nodig?

Het derde doel van de SodM validatie is om vast te stellen wat de gevolgen van de gevonden problemen met seismische metingen. Het vierde is, te bepalen welke vervolgonderzoeken nodig zijn als dat nog niet goed kan worden vastgesteld.

SodM kan bevestigen dat de G0-metingen niet direct gebruikt zijn in de HRA-berekeningen. De problemen met de gerapporteerde meetwaarden van deze meters hebben naar verwachting geen significante impact op de dreiging- en risicoberekeningen. De G0-metingen zijn wel gebruikt voor het empirische grondbewegingsmodel. Echter de ambtelijke werkgroep die deze doorwerking heeft onderzocht heeft geconstateerd dat dit niet van invloed is geweest op de schadeafhandeling. SodM heeft deze analyse beoordeeld en heeft geen aanleiding om een andere conclusie te trekken. De vraag blijft daarbij wat het effect is van de overige geconstateerde problemen op kaarten van de waargenomen grondbewegingen (zogenaamde shake maps); op de empirische Ground Motion Prediction Equation (de empirische GMPE); op de seismische dreigingsberekeningen van het KNMI en de NAM; op de risicoberekeningen (de HRA-berekeningen) van NAM; op de afhandeling van schadedossiers; op de omvang en prioritering van het versterkingsprogramma en op KEM onderzoeken. En hoe lossen we dat op? In een aantal gevallen is de oplossing nog niet duidelijk en moet aanvullend onderzoek worden uitgevoerd om te kijken of en hoe dat moet.

SodM vraagt KNMI de shake maps opnieuw te berekenen – zodra de B0-metingen gecorrigeerd zijn
KNMI gebruikt voor het berekenen van shake maps - kaarten met de contouren van de opgetreden maximale grondversnelling (de PGA) per aardbeving – de tijdens een aardbeving gemeten grondversnellingen. SodM vraagt aan KNMI die shake maps opnieuw te berekenen zodra de NAM de BO-metingen en pre-BO-metingen ten genoegen van SodM heeft gecorrigeerd.

SodM vraagt KNMI en NAM de Empirische GMPE vergelijking opnieuw vast te stellen zodra de B0-metingen gecorrigeerd zijn
Met de empirische Ground Motion Prediction vergelijking (empirische GMPE) die zowel KNMI als NAM gebruiken, kan voor alle historische bevingen voor iedere locatie in Groningen snel een inschatting gemaakt worden van de hoogste grondsnelheid (PGV) die daar is opgetreden. En of er daardoor schade veroorzaakt kan zijn. De empirische GMPE in zijn huidige vorm is niet goed bruikbaar omdat de verwachting is dat het effect van de gedempte B0- en pre-B0 metingen daarop aanzienlijk is. Gebruik van alleen de gecorrigeerde G0 metingen zou ertoe leiden dat veel van de

bevingen waarbij de grootste grondversnellingen zijn opgetreden, niet worden meegenomen. Herberekening van de empirische dreigingskaart door NAM is volgens SodM daarom pas zinvol als de pre-B0 en B0 metingen die daarvoor worden gebruikt, gecorrigeerd zijn.

SodM heeft NAM opgedragen systematisch de impact van de meetproblemen op de risicoberekeningen te bepalen
Sinds eind april is versie V6 van het Ground Motion model bij NAM beschikbaar. Daarin wordt gebruik gemaakt van pre-B0-, B0- én – in tegenstelling tot de eerdere versie van de HRA – de gecorrigeerde G0-metingen. De G4-metingen worden niet meer gebruikt in GMM V6. Daarmee zijn de problemen met de invloed van verkeerde of gedempte meetwaarden van grondversnelling op de seismische dreigingsberekeningen van het KNMI en de NAM en op de HRA berekeningen van de NAM deels opgelost maar niet volledig. Ook voor de ontwikkeling van GMM V6 gebruikt NAM gedempte pre-B0 en B0 metingen voor de kalibratie van het model. Volgens NAM leiden de eerste berekeningen met GMM V6 tot een significante toename van de seismische dreiging. NAM heeft tegelijkertijd een aantal verschillende aanpassingen gemaakt in GMM V6. Het is daarom nu niet goed mogelijk te bepalen waar de verschillen in de uitkomsten vandaan komen. SodM heeft NAM opgedragen door middel van een systematisch onderzoek te bepalen waardoor de verschillen in uitkomsten tussen GMM V5 en GMM V6 veroorzaakt worden en welke impact zij hebben op de risicoberekeningen.

SodM vraagt KNMI om, na correctie van de dempingseffecten in de metingen van de grondversnellingen, de seismische dreigingskaarten te herberekenen.

SodM adviseert om, na correctie van de dempingseffecten in de metingen van de grondversnellingen, te bestuderen of, en zo ja welke, nieuwe gebouwen met een (licht) verhoogd risico toegevoegd moeten worden aan de versterkingsopgave.
Eerste berekeningen suggereren dat met de op dit moment gedeeltelijk gecorrigeerde meetgegevens de seismische dreiging groter is dan voorheen bepaald. Omdat het nog niet duidelijk is in welke mate de correctie van de meetgegevens tot een grotere dreiging leidt en de pre-B0 en B0 metingen nog moeten worden gecorrigeerd, weten we niet wat het uiteindelijke resultaat gaat worden. Hier moet nog verder onderzoek naar gedaan worden. Wel is het voorstelbaar dat meer gebouwen in het versterkingsprogramma opgenomen moeten worden. Deze gebouwen hebben dan wel een lagere prioriteit dan de gebouwen die nu al in het versterkingsprogramma zitten: de volgorde van de gebouwen op basis van risico blijft op basis van de huidige inzichten gelijk.

Op dit moment is er geen capaciteit om méér gebouwen aan te pakken in het versterkingsprogramma. Ook hebben de toe te voegen gebouwen een lagere prioriteit dan de gebouwen in het huidige versterkingsprogramma. Daarom adviseert SodM om eerst de demping in de pre-B0 en B0 metingen te corrigeren, en dan nogmaals de seismische dreiging en het seismisch risico te berekenen. Dan weten we met meer zekerheid hoeveel en welke gebouwen moeten worden opgenomen. SodM verwacht dat in de volgende update van de risicoberekeningen de correcties aangebracht zullen zijn. Dat zou betekenen dat in de eerste helft van 2020 duidelijk moet worden of en zo ja welke gebouwen nog aan het versterkingsprogramma toegevoegd moeten worden.

SodM adviseert de minister van EZK om de mogelijke impact op schadeafhandeling te bepalen
Het is op dit moment onduidelijk of de geconstateerde problemen met de pre-B0 metingen en B0-

metingen een effect hebben op de schadeafhandeling. SodM adviseert de minister van EZK om de ambtelijke werkgroep die eerder dit jaar onderzocht wat het effect van de G0-meetproblemen was op de schadeafhandeling, opdracht te geven dezelfde vraag te beantwoorden voor de B0-metingen.

SodM adviseert dat onderzoeken vooralsnog geen gebruik maken van de nu nog gedempte meetwaarden
De meetgegevens van het KNMI worden ook gebruikt in de verschillende onderzoeksprogramma's die SodM heeft opgestart, en in andere berekeningen bijvoorbeeld voor stabiliteit van installaties. Ook hier zijn door SodM stappen genomen om de gevolgen van de incorrecte metingen in kaart te brengen.

De onderzoekers die gebruik maken van de KNMI gegevens, benutten nu alleen nog de gecorrigeerde G0 metingen. De incorrecte pre-B0 en B0 metingen worden nu niet meer gebruikt. In de toekomst, wanneer deze metingen wel gecorrigeerd kunnen worden, kunnen ze weer gebruikt worden in de onderzoeken.

S*odM adviseert de minister van EZK na te gaan of de meetgegevens elders gebruikt zijn*
De incorrecte pre-B0 en B0 kunnen ook gebruikt zijn of worden voor andere berekeningen voor bijvoorbeeld externe veiligheid en stabiliteit van installaties. SodM adviseert dat de eerder genoemde ambtelijke werkgroep bepaalt waar deze meetgegevens mogelijk gebruikt zijn.

Hoe kunnen meetproblemen in de toekomst voorkomen worden?

Het vijfde doel van de SodM validatie is vast te stellen wat er precies gebeurd is en wat we daarvan kunnen leren. SodM heeft een feitenonderzoek gedaan om te kijken wie wanneer wat wist over de incorrecte metingen. Er is niet goed gecommuniceerd toen het probleem met de meters in eerste instantie ontdekt was. De onafhankelijke audit van de Zwitserse Seismologische Dienst heeft hier ook naar gekeken.

Het KNMI beheert het seismische meetnetwerk in Groningen. De kwaliteitscontrole op dit meetnetwerk kan verbeterd worden. Het is een zeer groot en complex netwerk, waarvoor voldoende ervaren mensen nodig zijn om het professioneel te kunnen beheren. Ook is vaak niet duidelijk wie waarvoor verantwoordelijk was: er zijn veel verschillende partijen betrokken bij de aanleg, installatie en operatie van het meetnetwerk in Groningen. Ook de seismische metingen zelf worden door veel partijen gebruikt. Geen van deze partijen heeft daarbij in voldoende mate de regierol en zicht over het totale project (in alle facetten). Daarom kon het probleem met de meters ontstaan, werden de problemen laat ontdekt en werd er daarover ook niet of nauwelijks gecommuniceerd door het KNMI en de NAM. SodM is van mening dat het KNMI en de NAM de kwaliteitsborging beter hadden moeten organiseren en dat er heldere afspraken moeten komen over de wijze van opschaling en communicatie als er problemen zijn. SodM adviseert de minister van EZK om in overleg met de minister van IenW de rolverdeling te verhelderen en eveneens duidelijkheid te verschaffen wie de regierol het beste kan uitvoeren.

Van de NAM, die als afnemer afhankelijk is van de seismische meetgegevens en daarmee het voor de aardbevingsproblematiek van belang zijnde rekenmodel doorrekent, verwacht SodM dat zij een betere controle uitoefent op de betrouwbaarheid van de ontvangen meetgegevens. Hierbij past een proactieve houding en actieve communicatie.

9. Referenties

Bommer, Julian, J., Bernard Dost, Benjamin Edwards, Pauline Kruiver, Pier Meijers, Michail Ntinalexis, Adrian Rodriguez-Marek, Elmer Ruigrok, Jesper Spetzler and Peter Stafford, Independent Consultants, Deltares and KNMI, V4 Ground-Motion Model (GMM) for Response Spectral Accelerations, Peak Ground Velocity, and Significant Durations in the Groningen Field, https://nam-onderzoeksrapporten.data-app.nl/reports/download/groningen/en/ac3beb15-5ad6-4870-854b-ecd711996c4d, June 2017

Bommer, Julian, J., Benjamin Edwards, Pauline P Kruiver, Adrian Rodriguez-Marek, Peter J Stafford, Bernard Dost, Michail Ntinalexis, Elmer Ruigrok and Jesper Spetzler, V5 Ground-Motion Model (GMM) for the Groningen Field, Re-issue with Assurance Letter, https://nam-onderzoeksrapporten.data-app.nl/reports/download/groningen/en/52a1edec-6824-4ab3-8d92-3294c9cbec3a, March 2018

Bommer, Julian. J., Peter J Stafford & Michail Ntinalexis, Updated Empirical GMPEs for PGV from Groningen Earthquakes, https://nam-onderzoeksrapporten.data-app.nl/reports/download/groningen/en/980419ed-36e4-480a-bbd2-0e06a2b3d8ea, March 2019

EZK/lenW, Eindnotitie werkgroep KNMI-metingen, 29 mei 2019, bijlage 886025 bij de brief van de minister van economische zaken en klimaat en de staatssecretaris van infrastructuur en waterstaat aan de Tweede Kamer, kst-33529-641, 3 juni 2019

Kampitsis, A.E. et al., Seismic soil–pile–structure kinematic and inertial interaction - A new beam approach (2013)

KNMI, (2019a), *Amplitudes*. Submitted to SodM

KNMI, (2019b), *Sensor Orientation*. Submitted to SodM

KNMI, (2019c), Technische afwijking in grondversnellingsmetingen Groningenveld, Brief aan het Ministerie van Economische Zaken en Klimaatverandering, KNMI-2019/462, 21 februari 2019

KNMI, (2019d), Comparison of Shake Maps before and after correction of G-accelerometers gain, http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjQoqKWqqDjAhWII1AKHTvwDd8QFjAAegQIABAC&url=http%3A%2F%2Frdsa.knmi.nl%2Fnl-rrsm-files%2Fshakemaps-comparison.pdf&usg=AOvVaw2p6Pu66YE-L7Pt9INPODxv

Landwehr, Hans; Jaap Bijnagte, Raphael Steenbergen (TNO), Effecten aardbevingen op hoogspanningsnet in Groningen, 1208624-010, Deltares, 2014, B

Moore, D.M. et al, Earthquake Spectra, Volume 30, No. 3, pages 1057–1085, © 2014, Earthquake Engineering Research Institute, August 2014

Stewart, J.P., Variations between foundation-level and free-field earthquake ground motions," Earthquake Spectra, 16 (2), 511-532, 2000

Bijlagen

Bijlage 1A Quality check of the Groningen accelerometer network, Fugro, Document Nr.: 1018/-0338-001, Version: 2.0, Date: 1 May 2019, contains:

> KNMI Accelerometers Shake Table Validation Tests, revision R2, Hanze University of Applied Sciences, 30 April 2019
>
> Analysis of consistency between B- and G-station records for induced events in the Groningen gas field; final version, Seister 29th April 2019
>
> Memorandum: comparison closest available CPT at B- and G-stations, Fugro, 30th April 2019

Bijlage 1B Analysis of consistency between B- and G-station records for induced events in the Groningen gas field; final report, Seister, Final Report, Document N° : STR_FUG_18P17_01 (Includes an Addendum (Annex 2) with two additional figures upon request of SodM), 8 July 2019

Bijlage 2 Investigation of malfunctioning earthquake recording stations for Groningen earthquake events over period 2014 – 2018, Witteveen+Bos, Reference 113982/19-008.330, 13 May 2019

Bijlage 3 Evaluation, validation and improvement of the site-amplification component of the Groningen Seismic Risk Model: A review of the KNMI procedures for the installation of the sensors and correction of the amplitudes implemented, TU Delft, 28 June 2019

Bijlage 4A Dynamic amplification effects for B-stations due to building response, Witteveen+Bos, TU Delft, TNO, 113982/19-009.783, 12 June 2019

Bijlage 4B B0 accelerometers Groningen, Damping effects by buildings of the B0 accelerometers, 113982/19-010.997, Witteveen+Bos, draft01, 2 July 2019

Bijlage 5 Fact-finding mission / audit: Groningen Seismic Measurements, John Clinton, Stefan Wiemer, 21.05.2019 (post review: 10.06.2019)

Bijlage 6 Het effect van de verkeerde verwerking G4 Slochteren data in V5 GMM, SodM, juni 2019

Bijlage 7 De mogelijke gevolgen van de her-kalibratie van de afwijkende G0-metingen voor de V5 GMM, SodM, juni 2019

Bijlage 8 Feitenonderzoek naar de afwijkende G0-metingen in Groningen, SodM, juni 2019

Bijlage 9A Samenvatting: Review of the public KNMI induced earthquake catalogue from the Groningen gas field, , NORSAR, Project phase 1, WP1, May 2018

Bijlage 9B Samenvatting: Review of the public KNMI induced earthquake catalogue from the Groningen gas field, NORSAR, Project phase 1, WP2, June 2018

10 juli 2019

Staatstoezicht op de Mijnen
Henri Faasdreef 312 | Den Haag
T 070 379 84 00

info@sodm.nl
www.sodm.nl
@sodmnl