

# De mogelijke gevolgen van de her-kalibratie van de afwijkende GO-metingen voor de V5 GMM

## Samenvatting

Een aantal versnellingsmeters van het meetnetwerk van het KNMI in Groningen hebben de grondversnellingen bij aardbevingen niet correct gemeten. De NAM gebruikt de data van het KNMI voor het Hazard and Risk Assessment (HRA) van het Groningen-gasveld om het risico en de dreiging als gevolg van aardbevingen door te rekenen. Deze KNMI data zijn van belang voor het bepalen van de omvang van de versterking en de mate waarin een woning versterkt moet worden.

De NAM en het KNMI hebben een onderzoek uitgevoerd naar de mogelijke impact van de her-kalibratie van deze versnellingsmeters op de uitkomst van het HRA. Hun conclusie was dat de HRA-berekening niet beïnvloed is door de her-kalibratie van de versnellingsmeters in het monitoringsnetwerk van het KNMI. Dan zou er ook geen impact op de prioritering van de versterkingsopgave zijn.

Om deze bewering te verifiëren heeft Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) samen met Prof. van de Universiteit van Napels een onafhankelijke review gedaan. Hoewel de afwijkende data wel gebruikt zijn in de HRA modelketen, heeft SodM geen direct effect op de HRA resultaten kunnen vinden. Echter is de conclusie dat, aangezien er een nieuwe versie van het Ground Motion Model (GMM) aan komt waarin de gecorrigeerde data op dezelfde manier gebruikt worden als andere data, de oude versie van het GMM beter volledig vervangen kan worden door de nieuwe.

## Achtergrond

### Het Groningen meetnetwerk van KNMI

Het KNMI meet groundbewegingen met netwerken van twee soorten instrumenten, die direct boven het Groningen gasveld en in de nabije omgeving zijn geïnstalleerd:

- 1) Seismometers/geophones in het boorgat die de grondsnelheid meten: deze sensoren verbeteren de detecteerbaarheid van de groundbeweging, doordat de signaal-ruisverhouding (SNR) van de signalen hoger is.
- 2) Versnellingsmeters aan het oppervlak die de grondversnelling meten<sup>1</sup>: deze hebben het voordeel dat ze bij een aardbeving sterkere bewegingen kunnen opnemen dan seismometers in het boorgat. Bovendien kunnen de gegevens van versnellingsmeters worden gebruikt om het gevaar van aardbevingen via Ground Motion Models (GMMs) te beoordelen en te berekenen. Vervolgens om de impact op gebouwen te onderzoeken en de schade hieraan te evalueren.

Het meetnetwerk in Groningen en de configuratie hiervan evolueerde in de loop van de tijd, wat betreft het aantal sensoren, de afstand tussen sensoren, de diepte van sensoren, etc.

---

<sup>1</sup> De grondsnelheid en de grondversnellingen kunnen via een simpele bewerking in elkaar omgezet worden.

Het originele Groningen monitoringsnetwerk (Noord-Nederland netwerk) heeft sinds 1995 over het gehele Groningen-gasveld aardbevingen gedetecteerd en de locatie bepaald van de aardbevingen met een magnitude groter dan of gelijk aan  $M_L=1.5$ . Dit Noord-Nederland netwerk bestond uit 14 stations, bestaande uit meerdere seismometers op verschillende diepte in boorgaten: het eerste boorgat werd in 1991 in gebruik genomen, 7 zijn geïnstalleerd in 1995 en in 2010 is dit uitgebreid met 6 extra stations. Ook werden er tussen 1999 en 2009 13 versnellingsmeters (pre-B0) aan het oppervlak geïnstalleerd<sup>2</sup>.

Na de Huizinge aardbeving van augustus 2012 met magnitude  $M_L=3.6$  werd het netwerk in drie fases uitgebreid:

- 1) In 2013 en 2014 werd het netwerk uitgebreid met 17 versnellingsmeters op het seismisch meest actieve gebied boven het Groningen-gasveld. Sommige van de eerdere versnellingsmeterlocaties (11 van de 13 pre-B0 locaties) werden opnieuw gebruikt tijdens het uitbreiden van het netwerk. De versnellingsmeters die met deze netwerkuitbreiding geïnstalleerd zijn worden de *B-stations* (B0) genoemd.
- 2) Vanaf 2014 tot 2017 werd het monitoringsnetwerk uitgebreid met 70 seismische stations die het gehele Groningen-gasveld bedekken. Deze stations worden het *G-netwerk* genoemd. Elk station van dit netwerk bestaat uit vier geofoons geplaatst in een put op 50 m, 100 m, 150 m en 200 m diepte, plus een versnellingsmeter en communicatieapparatuur aan het oppervlak. De versnellingsmeter wordt G0 genoemd en de geofoons in de put heten G1 tot G4, waarbij G4 de diepste gefoon is.
- 3) In 2017 zijn ten westen van het veld, in een gebied dat direct aansluit bij het Groningen-gasveld, 10 versnellingsmeters geplaatst. Deze stations (met alleen een versnellingsmeter aan het oppervlak) worden G710 tot G800 genoemd en zijn ook onderdeel van het *G-netwerk*.

In de fabriekinstellingen van de G0 versnellingsmeters zijn inconsistenties geconstateerd door KNMI: bij de 10 laatst geplaatste G-stations (G710 tot G800) was de aan het oppervlak gemeten amplitude een factor twee te groot en bij de 70 andere G-stations was deze juist een factor twee te klein. Volgens het KNMI is het probleem in december 2018 opgelost en zijn de gemeten data gecorrigeerd.<sup>3</sup>

### Hoe worden deze data gebruikt in de seismische dreiging en risico beoordeling?

De NAM legt de seismische dreiging en het risico behorend bij een operationele strategie vast in een Hazard and Risk Assessment (HRA). De HRA bestaat uit een aantal onderdelen, waaronder de GMM<sup>4</sup>. Het risico wordt berekend op basis van de seismische dreiging. De dreiging wordt weer bepaald met behulp van een GMM. Een GMM laat zien wat er gebeurt met de bovenste grondlagen als er een beving van een bepaalde magnitude optreedt. De informatie die gebruikt wordt als input voor het berekenen van een GMM is:

- a) De trillingen in de bovenste grondlagen (opslingering) als gevolg van gemeten bevingen (door het KNMI netwerk gemeten data);
- b) Eigenschappen van gemeten bevingen (bepaald op basis van door het KNMI netwerk gemeten data);

---

<sup>2</sup> <https://www.kemprogramma.nl/blog/view/57979349/kem-11-improving-the-earthquake-catalogue-in-the-groningen-region>

<sup>3</sup> <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/brieven/2019/02/21/brief-knmi-over-technische-afwijking-in-grondversnellingsmetingen-groningenveld>

<sup>4</sup> <https://www.sodm.nl/onderwerpen/aardbevingen-groningen/vraag-en-antwoord>

- c) Grondsoort en grondstevigheid (in kaart gebracht voor Groningen);
- d) Kans op bevingen (uit seismologisch model);
- e) Eigenschappen van bevingen die mogelijk zijn in het gebied (uit seismologisch model);

De output is een GMM dat klopt met de in het verleden gemeten opslinging van de bovenste grondlagen en dat ook voor de toekomst aangeeft hoe de bovenste grondlagen reageren als er een beving optreedt.

De NAM en het KNMI geven aan dat wat betreft de input voor het GMM:

- 1) Voor de trillingen in de bovenste grondlagen (opslinging) alleen de G4-metingen en dus niet de G0-metingen zijn gebruikt.
- 2) De bepaling van eigenschappen van bevingen op basis van gemeten data niet is beïnvloed door de afwijkingen in de G0-metingen;

De afwijkende G0-metingen zijn alleen gebruikt ter vergelijking met de GMM modelwaarden, het doel hiervan is om te verifiëren dat de waarden die het GMM model geeft, als output voor bevingen die reeds plaats hebben gevonden, overeenkomen met de corresponderende metingen. Deze vergelijkingen hebben volgens de NAM geen invloed op de GMM modelparameters.

## Taak SodM en stappenplan

Om bovenstaande beweringen te verifiëren heeft SodM een onafhankelijke review gedaan. Er is onderzocht of het corrigeren van de G0-metingen mogelijk een effect heeft op het voor de HRA gebruikte GMM (versie 5) door het nemen van de volgende stappen:

- Beschikbare achtergronddocumenten en de lijst van parameters die gebruikt worden in het V5 GMM zijn gecontroleerd op sporen van gebruik van de G0-metingen.
- Tijdens de Schiphol-meeting van 11 maart 2019 is er verduidelijking gevraagd aan het team van experts dat het GMM voor Groningen heeft ontwikkeld.
- Er is een vragenlijst naar de NAM gestuurd om openstaande vragen op papier beantwoord te krijgen.
- Een externe specialist, Prof. [naam] van de Universiteit van Napels, heeft SodM geadviseerd in de benadering van het onderzoek, de vragenlijst en de resultaten.

## Bevindingen en wat hieruit af te leiden

**Welke gemeten trillingen werden gebruikt als input voor het berekenen van de V5 GMM, en op welke manier? Heeft de G0-her-kalibratie een impact op de HRA berekening?**

Voor de eerdergenoemde soorten input voor een GMM wordt hieronder afzonderlijk besproken wat de bevindingen waren en wat hieruit viel af te leiden.

a) *“De trillingen in de bovenste grondlagen (opslinging) als gevolg van gemeten bevingen (door het KNMI netwerk gemeten data).”*

Het team van experts dat het V5 GMM ontwikkeld heeft stelt dat voor de berekening van het GMM de data zijn gebruikt van de versnellingsmeters aan het oppervlak van het B-netwerk en de seismometers op diepte (G4) van het G-netwerk. De reden om G4 data te gebruiken, in plaats van de G0-metingen, is dat er weinig oppervlaktemetingen van de G-stations beschikbaar waren. SodM en de externe reviewer bevestigden dit.



## Klopt het V5 GMM nog steeds met de G0-metingen na her-kalibratie?

In de laatste validatie-stap van het GMM-model wordt de door het grondbewegingsmodel berekende grondversnelling vergeleken met de gemeten grondversnelling na een beving (Tabel 1). In deze vergelijking wordt de versnelling van alle versnellingsmeters gebruikt, dus ook die van de G0-stations. Figuren (zie Appendix) voor zowel de ongecorrigeerde versnellingsdata als voor de versnellingen na her-kalibratie zijn vergeleken. NAM beweert dat op basis van deze vergelijking de her-kalibratie niet tot een andere conclusie zou hebben geleid en het V5 GMM dus nog steeds toepasbaar is.

SodM heeft vele vragen gesteld over deze vergelijking. Het is echter zeer moeilijk om conclusies te trekken hieromtrent. Het zou kunnen dat de variatie in de Groningen data zo groot is dat de her-kalibratie geen significante veranderingen liet zien. Bovendien zijn de figuren zodanig gemaakt dat het effect van de her-kalibratie niet duidelijk zichtbaar is. Volgens het V5 GMM team van experts kost het momenteel te veel tijd om alles opnieuw te plotten, gezien de druk om de zesde versie van het GMM op te leveren. Aangezien hiervoor de B0- en (gecorrigeerde) G0-data op dezelfde manier gebruikt zijn, is het beter om versie 5 volledig te vervangen door versie 6, dan om de fout in versie 5 te corrigeren. SodM kan deze redenatie volgen, maar benadrukt dat dit alleen gerechtvaardigd is als de resultaten van V6 GMM vergelijkbaar zijn. Omdat uit voorlopige resultaten van V6 GMM is gebleken dat er significante verschillen zitten in de dreigingskaarten van beide modellen, is het beter om te wachten tot duidelijk is waar dit verschil precies vandaan komt alvorens een conclusie te trekken.

## Zijn de G0-metingen uit Groningen ook gebruikt voor het berekenen van de kwetsbaarheid van gebouwen?

De database die gebruikt is voor het bepalen van de kwetsbaarheid van gebouwen bevat slechts een klein deel van de grondbewegingsmetingen van aardbevingen in Groningen (Zie tabel 1 voor totale database). De reden hiervoor is dat de meeste metingen niet groot genoeg waren om te gebruiken voor de kwetsbaarheid van gebouwen. De gebruikte metingen kwamen allemaal van het B-netwerk. Daarom kan met zekerheid gezegd worden dat er geen G0-metingen gebruikt zijn in de kwetsbaarheidsanalyses. Dit werd door de NAM aangegeven naar aanleiding van de vragen van de door SodM ingehuurde externe specialist.

In de risicoberekening van individuele huizen zijn de metingen van versnellingsmeters van zowel het B- als G-netwerk gebruikt, dus ook de G0-data. Hier zijn echter alleen de verhoudingen van amplitudes gebruikt waardoor de factor ten gevolge van de afwijking in de metingen uitgefilterd is. Immers, de verhouding tussen twee amplitudes die een factor 2 te groot zijn is hetzelfde als wanneer deze amplitudes niet een factor 2 te groot zouden zijn. Bijvoorbeeld: de verhouding tussen 4 en 2 is  $4/2=2$  en de verhouding tussen 2 en 1 is  $2/1=2$ . De factor 2 afwijking in de G0-data heeft dus geen invloed op de resultaten. SodM kan zich vinden in deze redenatie.

Tabel 1 Aardbevingen waarvan een klein deel van de gegevens is gebruikt in V5 GMM (bron: KNMI).

EQ-ID	ML	Locatie (m)		Datum	Plaats	Max. PGA (g)	Max. PGV (cm/s)	Aantal metingen		
		RD-X	RD-Y					(Pre-)B0	G4	G0
1	3.5			8-aug-2006	Westeremden	0.050	1.25	4	0	0
2	2.5			8-aug-2006	Westeremden	0.005	0.13	1	0	0
3	3.2			30-okt-2008	Westeremden	0.035	1.44	6	0	0
4	2.6			14-apr-2009	Huizinge	0.014	0.44	3	0	0
5	3			8-mei-2009	Zeerijp	0.023	0.62	5	0	0
6	2.5			14-aug-2010	Uithuizermeeden	0.014	0.28	5	0	0
7	3.2			27-jun-2011	Garrelsweer	0.027	1.21	8	0	0
8	2.5			31-aug-2011	Uithuizen	0.006	0.12	3	0	0

9	2.5			6-sep-2011	Oosterwijtwerd	0.001	0.02	1	0	0
10	3.6			16-aug-2012	Huizinge	0.082	3.51	7	0	0
11	2.7			7-feb-2013	Zandeweer	0.019	0.55	3	0	0
12	3.2			7-feb-2013	Zandeweer	0.031	1.44	3	0	0
13	2.7			9-feb-2013	t Zandt'	0.009	0.36	2	0	0
14	3			2-jul-2013	Garrelsweer	0.014	0.55	2	0	0
15	2.8			4-sep-2013	Zeerijp	0.013	0.48	5	0	0
16	3			13-feb-2014	Leermens	0.070	1.62	14	0	0
17	2.6			1-sep-2014	Froombosch	0.0003	0.02	5	0	0
18	2.8			30-sep-2014	Garmerwolde	0.002	0.11	12	0	0
19	2.9			5-nov-2014	Zandeweer	0.077	1.78	14	0	4
20	2.8			30-dec-2014	Woudbloem	0.017	0.35	14	0	5
21	2.7			6-jan-2015	Wirdum	0.013	0.45	14	5	5
22	3.1			30-sep-2015	Hellum	0.002	0.075	11	31	31
23	2.6			27-mei-2017	Slochteren	0.014	0.18	9	59	60

## Conclusies

Tijdens het onderzoek van SodM zijn er aanwijzingen gevonden voor het gebruik van G0-metingen voor de berekening van het V5 GMM. SodM heeft de NAM en het team van experts dat het V5 GMM ontwikkeld heeft gevraagd om uitleg. De verklaring was in een aantal gevallen dat de verhouding van amplitudes is gebruikt, waardoor de fout in schaling geen effect heeft. In een ander geval was de uiteindelijk gebruikte waarde afgeleid van data van over de hele wereld, vanwege het beperkte magnitudebereik in de metingen van Groningen. SodM kan de redenering van deze verklaringen volgen en heeft dus in de beschikbare documenten en communicatie geen gebruik van G0-metingen kunnen vinden die direct effect heeft op de berekening van V5 GMM.

SodM is het wel met het team van experts eens dat het beter is om het V5 GMM volledig te vervangen door het V6 GMM. In het V6 GMM zijn alle correcties toegepast en de B0- en G0-data zijn op dezelfde manier gebruikt. Echter, alleen als de uitkomst van V6 GMM vergelijkbaar is met V5 GMM, kan de huidige conclusie bevestigd worden. Omdat uit voorlopige resultaten van V6 GMM is gebleken dat er significante verschillen zitten in de dreigingskaarten van beide modellen, is het beter om eerst in detail te onderzoeken waar het verschil vandaan komt en wat de echte impact van de afwijkende G0-metingen is.

## Appendix

### V5 GMM Appendix VI: surface residuals corrected