



RAPPORTAGE SEISMICITEIT
GRONINGEN – 1 JUNI 2018



Inhoudsopgave

1	Samenvatting	2
2	Inleiding en leeswijzer.....	3
2.1	Inleiding.....	3
2.2	Leeswijzer.....	3
3	Status MRP juni 2018.....	5
4	“Activity Rate” – aantal aardbevingen.....	6
4.1	Meet netwerk en meetnauwkeurigheid.....	6
4.2	Aantal aardbevingen afgelopen 12 maanden.....	6
4.3	12-Maandsgetal	8
5	“Earthquake density” – aardbevingsdichtheid	11
6	“Peak-ground-acceleration” – maximale grondversnelling.....	13
6.1	Definitie en herkomst PGA-data	13
6.2	PGA de afgelopen 12 maanden en historie	13
7	“Peak-ground-velocity”	15
7.1	Definitie en herkomst PGV-data	15
7.2	PGV de afgelopen 12 maanden en historie	15
8	“Damage-State”/ gebouwbeweging/ schade-ontwikkeling	17
9	Andere patronen.....	18
9.1	Ontwikkeling per regio.....	18
9.2	Verhouding grote en kleine bevingen.....	20
10	Productie en reservoir-druk ontwikkeling	23
10.1	Productie.....	23
10.2	Ontwikkeling van de reservoir-druk.....	25
11	Voorspellingen seismische ontwikkelingen	26
11.1	Voorspellingen voor regio “Noord-West” (Loppersum gebied)	26
12	Maatregelen.....	28
13	Referenties.....	29

1 Samenvatting

De ontwikkeling van seismiciteit in het Groningen-veld is geanalyseerd aan de hand van de structuur van het nieuwe Groningen Meet- en Regel protocol en de opzet van dit rapport volgt die structuur.

Van de reguliere protocol parameters, die seismische ontwikkeling in de gaten moeten houden, wordt vastgesteld dat de parameters die het aantal aardbevingen, de aardbevingsdichtheid, de gemeten grondversnelling en de gemeten grondacceleratie een grenswaarde overschreden hebben. De eerste twee op waakzaamheidsniveau en derde op signaleringsniveau en de laatste op interventieniveau.

Van deze parameters wordt een vrij uitgebreide context beschreven om deze ontwikkeling in hun historische context te kunnen plaatsen en trachten te begrijpen. Speciale aandacht wordt gegeven aan seismische ontwikkeling Loppersum waar er een trend omhoog is voor bevingen met een magnitude van 1 of hoger. Hoewel dit niet direct een protocol parameter is, ligt deze trend aan de basis van de aardbevingsdichtheid-parameter die wel onderdeel is van het signaleringssysteem van het MRP. Op de parameter damage state wordt in dit rapport verder niet ingegaan, dit in verband met het NAM op afstand initiatief ontbreekt het NAM aan gedetailleerde informatie. Op basis van publieke informatie lijkt er geen reden te zijn om te geloven dat geobserveerde schade afwijkt van de verwachtingen.

De minister heeft in zijn kamerbrief van 29 maart 2018 kenbaar gemaakt dat er gestreefd moet worden naar minimale productie uit het Groningen gasveld en dat de productie zo snel mogelijk afgebouwd zal gaan worden naar 0 Nm³/jaar in 2030. Daarnaast heeft de minister de NAM verzocht een operationele strategie op te stellen op basis van criteria beschreven in een verwachtingenbrief.

2 Inleiding en leeswijzer

2.1 Inleiding

Dit is de periodieke rapportage zoals beschreven staat in artikel 5 van het instemmingsbesluit Winningsplan Groningen en verder beschreven staat in hoofdstuk 11 van het nieuwe Meet- en Regel Protocol (hierna afgekort in dit document tot: “MRP”, dit document is te vinden via Referentie 1). Artikel 5 van het instemmingsbesluit bepaalt dat de Nederlands Aardolie Maatschappij elk jaar op 1 mei en op 1 november een rapport uitbrengt met daarin de analyses van de ontwikkeling van de seismiteit en van de voorgestelde maatregelen.

Het rapport is operationeel van karakter, sluit aan op het MRP, en is geschreven voor een breder publiek, en niet bedoeld voor publicatie in een academisch tijdschrift; conclusies zijn voorzichtig en de review van dit rapport is beperkt tot de eigen NAM-organisatie. Daar waar nodig of wenselijk zal (ook op verzoek) meer onderzoek gedaan worden om één en ander te bevestigen of te ontkrachten. Het gedrag van aardbevingen is notoir moeilijk te voorspellen, maar er is daar waar mogelijk toch een poging gedaan om ontwikkelingen te duiden en voorzichtige voorspellingen te doen; gebruik makend van voortschrijdend inzicht en op basis van statistische en geomechanische modellen (die wel in internationale tijdschriften gepubliceerd zijn).

Seismische gegevens en gasproductie in dit rapport zijn bijgewerkt tot en met 1 juni. Het rapport kijkt in principe een jaar terug maar daar waar relevant wordt teruggekeken tot het jaar 2000 om seismische ontwikkelingen in hun historische context te plaatsen.

2.2 Leeswijzer

Dit rapport is opgebouwd rond de structuur van het MRP – waarvan de status waarden in tabel 1 zijn weergegeven. Sectie 3 vat de huidige status van alle meet-grootheden samen. In secties 4 tot en met 9 worden de meet-grootheden één voor één besproken en wordt de achtergrond erbij gegeven.

Sectie 10 beschrijft de productie en het reservoir druk verloop van de afgelopen jaren. In sectie 11 wordt de verwachte seismische ontwikkeling besproken.

Om de leesbaarheid te vergoten is in het rapport geprobeerd om bepaalde kleuren consistent te gebruiken in de verschillende figuren.

- Groen: Bevingen met een magnitude groter of gelijk aan 1
- Paars: Bevingen met een magnitude groter of gelijk aan 1.2
- Blauw: Bevingen met een magnitude groter of gelijk aan 1.5
- Rood: Bevingen met een magnitude groter of gelijk aan 2
- Geel (omkaderd): Analyses die betrekking hebben op het gebied rond Loppersum

De reden dat af en toe verschillende magnitude gebruikt worden voor analyse in dit rapport, heeft vooral te maken met de compleetheid van de dataset en de hoeveelheid data die beschikbaar is (zie ook discussie in sectie 4).

3 Status MRP juni 2018

De status van de signaalwaarden van het MRP staat weergegeven in tabel 1. In de eerste kolom staan 6 grootheden die permanent gemonitord worden met kort samengevat de definities. De bovenste vier grootheden staan ook vermeld als dashboard op de NAM-website (www.nam.nl/feiten-en-cijfers/aardbevingen) en deze worden vrijwel continue bijgewerkt. In de tweede kolom staan de actuele waarden, in de derde de waarden bij de vorige rapportage. De laatste 3 kolommen geven de grenswaarden die gehanteerd worden in het MRP voor “waakzaamheid”, “signalering” en “interventie”. Deze grenswaarden zijn op hun beurt gerelateerd aan “maatregelen” die bij overschrijding overwogen worden, voor uitvoeriger beschrijving hiervan zie Referentie 1.

MRP status					
	1 juni 2018	oktober 2017/ vorige periode	Grenswaarden		
			Waakzaamheid	Signalering	Interventie
Activity Rate (# aardbevingen, $M \geq 1.5$)	20	17	15	20	25
EQ density (aantal x $\text{km}^2 \text{ jr}^{-1}$, $M \geq 1$)	0.38	0.30	0.17	0.25	0.40
PGA (in “g”, laatste $M2+$)	0,11 (Zeerijp)	0.04 (Slo)	0.05	0.08	0.10
PGV (meest recente maximum, in mm/s)	28,1 (Zeerijp)	6,4 (Slo)	5	50	80
Damage State	Data not presently available	Data not presently available	Δ (model, <u>actual</u>)		
Other patterns	Loppersum trend	Loppersum trend	“Expert <u>Judgement</u> ”		

Tabel 1. MRP-status op 1 oktober 2017.

De MRP-status op 1 juni 2018: Het aantal aardbevingen (“activity rate”) ligt tussen het waakzaamheids-niveau en het signalerings-niveau. Het 12 maands-getal voor $M \geq 1.5$ laat een stijging zien over de afgelopen 6 maanden. De aardbevings-dichtheid waarde (“EQ density”) is ook gestegen en bevindt zich nog in het signalerings-niveau. De maximale PGA in de afgelopen periode is gestegen tot het interventieniveau en was gerelateerd aan de beving in Zeerijp $M=3.4$ (8 januari 2018). Ook de maximale PGV was geassocieerd met dezelfde beving in Zeerijp en bleef onder het signaleringsniveau. De waargenomen schade (“Damage State”) heeft geen onverwachte patronen laten zien. Er zijn ook geen onverwachte patronen waargenomen in de locaties van aardbevingen, de verhouding kleine en grote aardbevingen of in relatie tussen aardbevings-magnitude en PGV/PGA (peak ground-velocity en peak ground acceleration).

4 “Activity Rate” – aantal aardbevingen

4.1 Meet netwerk en meetnauwkeurigheid

Vanaf 2013 is het meetnetwerk uitgebreid met 70 meetpunten direct boven en rond het Groningenveld. Het doel van deze uitbreiding was de vergroting van de nauwkeurigheid en gevoeligheid van het meetnetwerk. Elk meetstation bestaat uit een bovengronds geplaatste accelerometer voor het meten van grondbeweging en vier ondergronds geplaatste geofoons voor nauwkeurige plaatsbepaling en aardbevingssterkte. Alle in dit hoofdstuk gerapporteerde meetdata is ontleend aan en is terug te vinden op de website van het KNMI (<http://www.knmi.nl/nederland-nu/seismologie/aardbevingen>).

De gevoeligheid van het seismische meetnetwerk is na de uitbreiding met 70 nieuwe seismische meetstations toegenomen waardoor vanaf 2014 alle aardbevingen met een magnitude groter dan 1.0 op de schaal van Richter boven het Groningenveld worden geregistreerd, de catalogus van compleetheid is magnitude 1.0. Vóór 2014 was de catalogus van compleetheid magnitude in elk geval 1.5, maar met wat meer onzekerheid kan een magnitude van compleetheid van 1.2 sinds 2000 aangehouden worden. Het aantal aardbevingen met een magnitude kleiner dan 1.5 (1.2) vóór 2014 zou dus onderschat kunnen zijn.

4.2 Aantal aardbevingen afgelopen 12 maanden

In de afgelopen 12 maanden, tussen juni 2017 en juni 2018, zijn er 49 aardbevingen gemeten met een magnitude groter of gelijk aan 1.0 (vergeleken met 53 aardbevingen in de 12 maanden ervoor). Tabel 2 toont het aantal aardbevingen per maand. Er zijn in deze periode 29 aardbevingen gemeten met een magnitude tussen de 1 en 1.5. Er waren 15 aardbevingen tussen de 1.5 en 2, 3 tussen 2 en 2.5 en 2 groter dan 2.5.

Maand	$1.0 \leq M < 1.5$	$1.5 \leq M < 2.0$	$2.0 \leq M < 2.5$	$M \geq 2.5$	Totaal
Jun-17	3	0	0	0	3
Jul-17	4	0	0	0	4
Aug-17	3	2	0	0	5
Sep-17	6	2	0	0	8
Oct-17	3	0	0	0	3
Nov-17	0	1	0	0	1
Dec-17	4	4	1	0	9
Jan-18	1	1	0	1	3
Feb-18	2	1	2	0	5
Mar-18	3	2	0	0	5
Apr-18	0	0	0	1	1
May-18	0	2	0	0	2
Totaal	29	15	3	2	49

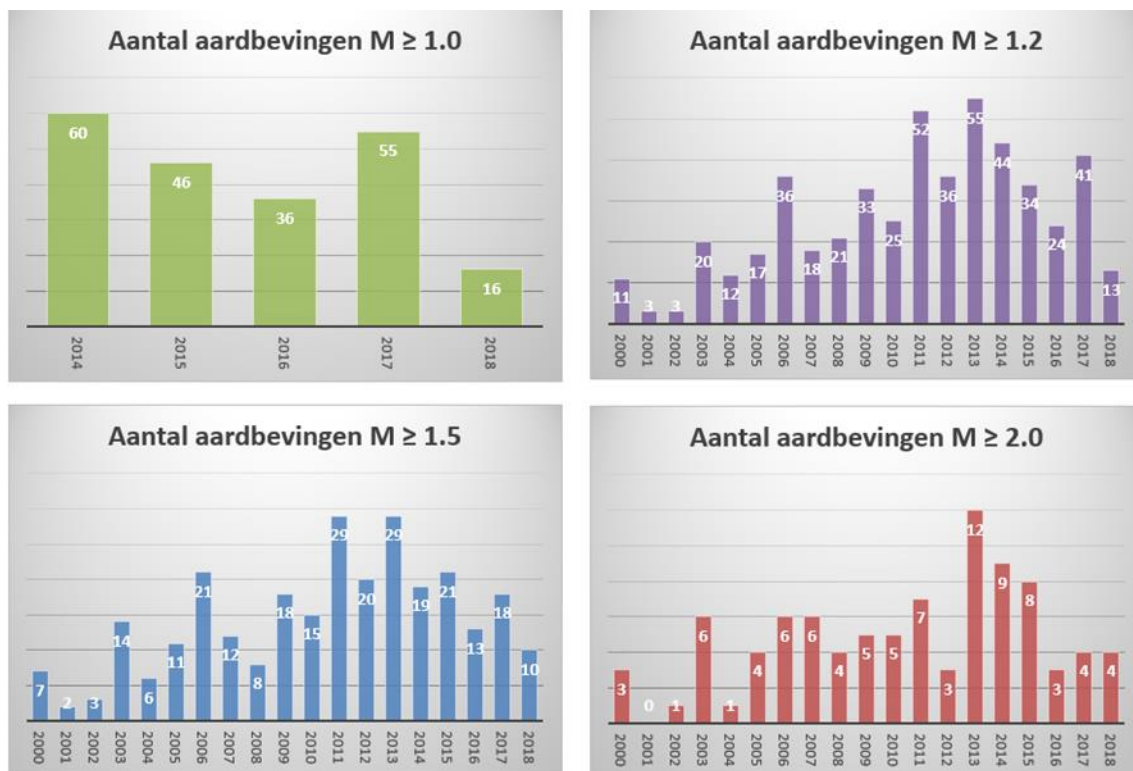
Tabel 2. Aantal waargenomen aardbevingen in het afgelopen jaar.

Tabel 3 geeft een aantal historische gemiddelden en aantallen waarmee huidige ontwikkelingen in historische context geplaatst kunnen worden. De jaarlijkse gemiddelde sinds 2014 liggen op dertig voor magnitudes tussen de 1 en 1.5, elf voor magnitudes tussen de 1.5 en 2.0, vier voor magnitudes tussen de 2.0 en 2.5 en twee voor magnitudes groter dan 2.5. Dat betekent dus dat er gemiddeld 47 bevingen per jaar waren met een magnitude groter dan 1.0. De dataset voor $M < 1.5$ is incomplete en pas sinds 2014 (na de uitbreiding van het meet-netwerk) kunnen we bevingen $M \geq 1.0$ meten. De tabel laat ook zien dat er vanaf 2000 zo'n 260 bevingen zijn geweest met een magnitude van 1.5 of groter. Opvallend zijn ook de relatief vaste verhoudingen tussen grote en kleine bevingen (iets wat overigens al veel eerder vastgesteld is voor Groningen).

Maand	$1.0 \leq M < 1.5$	$1.5 \leq M < 2.0$	$2.0 \leq M < 2.5$	$M \geq 2.5$
Maandelijks gemiddelde vanaf 2014	2.6	1	0.3	0.2
Maandelijks gemiddelde vanaf 2000	incompleteet	1	0.2	0.2
Jaarlijks gemiddelde vanaf 2014	30	11	4	2
Jaarlijks gemiddelde vanaf 2000	incompleteet	10	3	2
Totaal vanaf 2014	119	42	15	8
Totaal vanaf 2000	incompleteet	174	53	33

Tabel 3. Historische gemiddelden en jaartotalen

Figuur 1 laat de ontwikkeling van het aantal aardbevingen per jaar zien voor de verschillende magnitude-klassen. Het panel linksboven (groene kleur) laat het jaarlijks aantal aardbevingen zien voor $M \geq 1$ (waarbij opgemerkt moet worden dat 2018 uiteraard nog niet compleet is en dat er vanwege incompleetheit van de data voor 2014 er geen data van voor 2014 geplot worden). Er zijn enige statistische aanwijzingen dat de dataset boven de 1.2 wel compleet zou kunnen zijn (voor de periode voor 2014) en dat is de reden dat deze geplot is vanaf het jaar 2000 (panel rechtsboven, paarse kleuren). Dit panel laat zien dat het aantal aardbevingen in 2017 ongeveer gelijk is aan het aantal geregistreerd in 2014. Het linker panel beneden (blauwe kleuren) laat bevingen zien met een magnitude van 1.5 en hoger. Deze dataset is vrijwel zeker compleet vanaf 2000 en kan dus goed gebruikt worden om een historisch perspectief te bieden op de seismische ontwikkeling. Het aantal aardbevingen met een magnitude van 1.5 en hoger geregistreerd in 2018 is in lijn met de observaties in 2017. Het panel rechts beneden tenslotte (in de rode kleuren), laat de bevingen van 2.0 en hoger zien. Het aantal in 2018 is nu al gelijk aan het totaal geobserveerd in 2017.



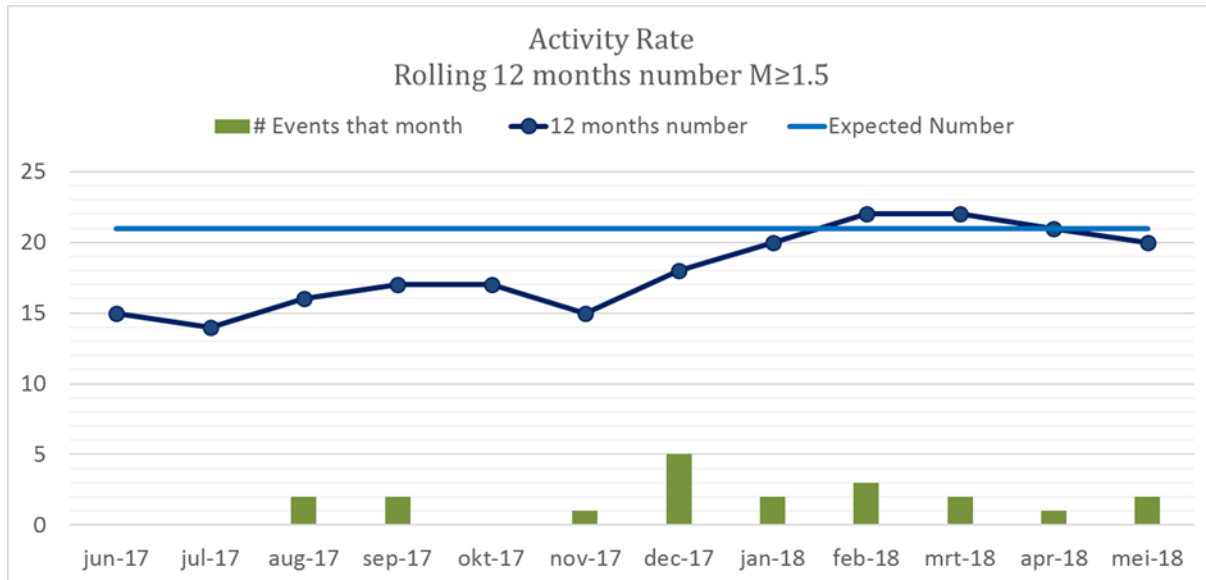
Figuur 1. Aantal aardbevingen per jaar voor 4 verschillende magnitude-klassen

4.3 12-Maandsgetal

Het MRP gebruikt een zogenaamd 12-maands-getal als meet-grootheid. Hiermee wordt de seismiciteits-ontwikkeling voor een jaar continue bijgesteld zodra er weer een maand verstreken is.

Het huidige 12-maandsgetal in het protocol (1 juni 2018) van 20 is dus de som van alle bevingen met een magnitude van groter dan of gelijk aan 1.5 van juni 2016 tot juni 2018.

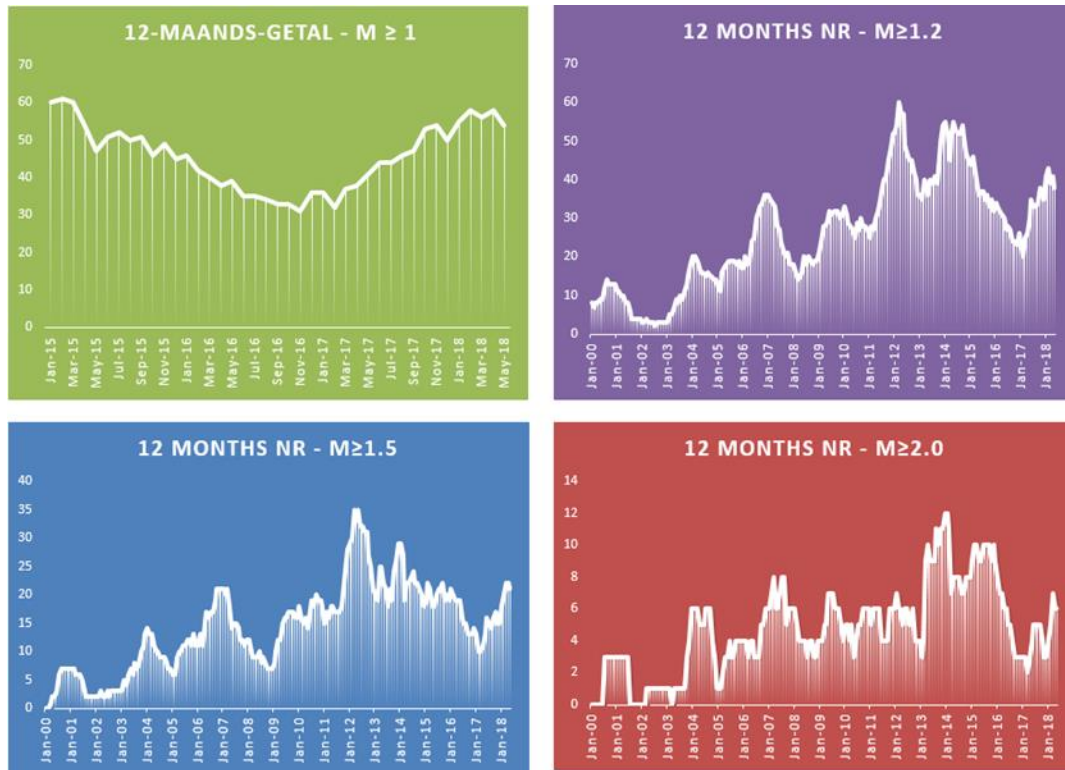
Figuur 2 laat de 12 maands-getallen zien voor $M \geq 1.5$ (blauwe lijn). De lijn laat een dalende trend zien over de laatste 3 maanden. De (statistische) interpretatie hiervan is afhankelijk van hoe lang in de tijd teruggekeken wordt (zie ook figuur 1).



Figuur 2. Maandgetallen aantal aardbevingen en productie

Figuur 3 laat de 12 maands-getallen zien voor dezelfde vier magnitude-klassen als uit figuur 1 (deze zijn uiteraard ook gebaseerd op dezelfde data). In het groene paneel linksboven staan de aardbevingen met een magnitude van 1.0 en hoger.

In februari is een speciaal rapport Short special report Exceedance Activity Rate (referentie 4) uitgegeven als gevolg van het overschrijden van de MRP parameter activity rate. De overschrijding was het gevolg van de beving in Loppersum op 8 februari 2018 (en de twee bevingen daarvoor in Garrelswaer en Scharmer).

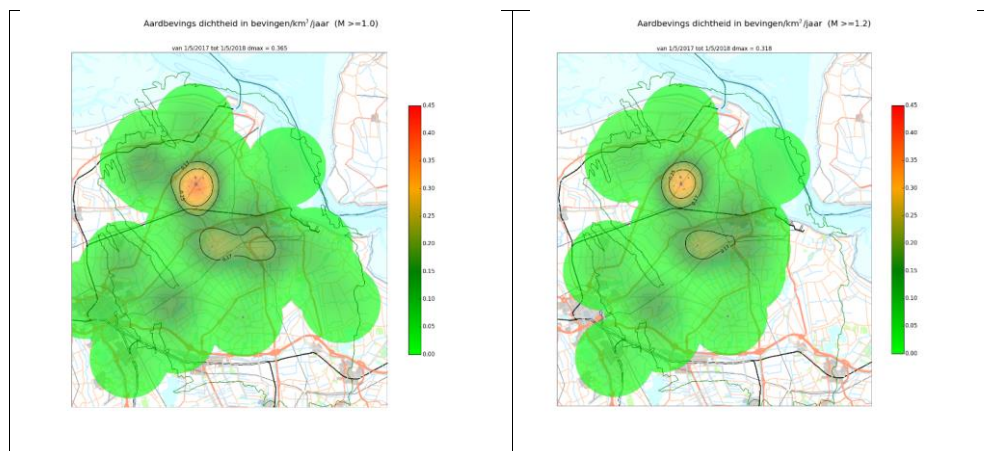


Figuur 3. 12-maandsgetallen voor 4 magnitude-klassen

Deze laat dezelfde trend zien als in figuur 1 maar laat ook het verband zien met de ontwikkeling van seismiciteit in de jaren ervoor. Op dit moment is een niveau van seismiciteit bereikt dat iets onder het niveau ligt als in December 2015. Het panel ernaast (paarse kleur) laat bevingen zien met een magnitude van 1.2 en hoger, maar geeft de ontwikkeling sinds 2000 weer. Ook hier is de stijging sinds 2016 duidelijk, hoewel er sinds de laatste maanden een daling lijkt te zijn, dit kan echter mogelijk ook als natuurlijke variatie gedeut worden. Duidelijk uit deze plaatjes is dat stijgingen en dalingen in de verschillende magnitude-klassen tamelijk goed samenvallen hoewel er ook verscheidene periodes in het verleden zijn waarin de seismiciteit voor bevingen voor $M \geq 1.5$ omhoog ging terwijl de $M \geq 2.0$ vrijwel constant bleef (e.g. 2009-2012). Het beperkte aantal (aardbevingen $M \geq 2$), maakt interpretatie hiervan heel moeilijk. Mogelijk kan de stijging in bevingen van $M \geq 1.2$ een voorbode zijn geweest voor het stijgende aantal aardbevingen $M \geq 2$.

5 “Earthquake density” – aardbevingsdichtheid

In figuur 4 is een kaart opgenomen met daarop de aardbevingsdichtheid en de epicentra van de in de periode juni 2017 tot juni 2018 geregistreerde aardbevingen. Op de aardbevingsdichtheidskaart wordt het aantal bevingen per vierkante kilometer getoond. Voor het berekenen van de aardbevingsdichtheid is de Quartic Kernel functie gebruikt (referentie 2) zoals ook afgesproken in het MRP.

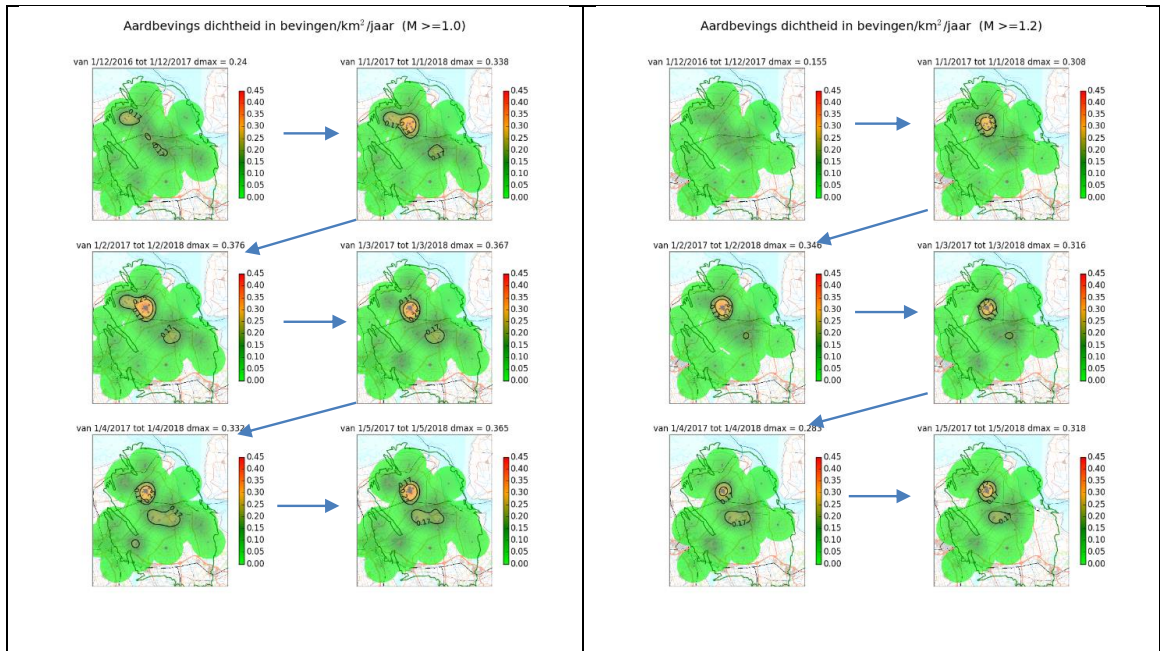


Figuur 4. Aardbevingsdichtheid-kaarten voor 2 magnitude-klassen

Alle geregistreerde aardbevingen met een magnitude van 1.0 en hoger over de periode 1 juni 2017 tot 1 juni 2018 zijn opgenomen (de stippen) en de berekende aardbevingsdichtheid wordt getoond door middel van een kleurschaal (rood voor de hogere aardbevingsdichtheden). De aardbevingsdichtheid is met een waarde van ongeveer 0.38 aardbevingen per vierkante kilometer per jaar het hoogst in het gebied rondom Wirdum (zie hiervoor ook de speciale rapportage “Appingedam en Scharmer”, referentie 3 en de speciale activity rate overschrijdingen rapportage (referentie 4).

De ontwikkeling van het aardbevingsdichtheid-plaatje over de afgelopen 6 maanden staat weergegeven in figuur 5. Voor beide magnitude-klassen is het patroon vrijwel gelijk en consistent met een monotoon stijgend patroon voor Loppersum en enigszins fluctuerend maar ook stijgend patroon voor het gebied ten noordwesten ervan.

Hierbij moet worden opgemerkt dat één enkele beving ($M \geq 1$) in het gebied rond Wirdum zal leiden tot een overschrijding van de deze MRP parameter.



Figuur 5. Ontwikkeling aardbevingsdichtheid over de tijd voor 2 magnitude-klassen

6 “Peak-ground-acceleration” – maximale grondversnelling

6.1 Definitie en herkomst PGA-data

De signaalparameter voor de door aardbevingen veroorzaakte groundbeweging is de grondversnelling (PGA of Peak Ground Acceleration). De PGA wordt uitgedrukt als fractie van de valversnelling (g), en wordt gemeten in drie richtingen, twee horizontale en een verticale richting. De hoogste door KNMI gemeten waarde in één van de horizontale richtingen wordt gebruikt als signaalparameter, KNMI rapporteert PGA in cm/s^2 . Het MRP hanteert “g” als eenheid (referentie 1).

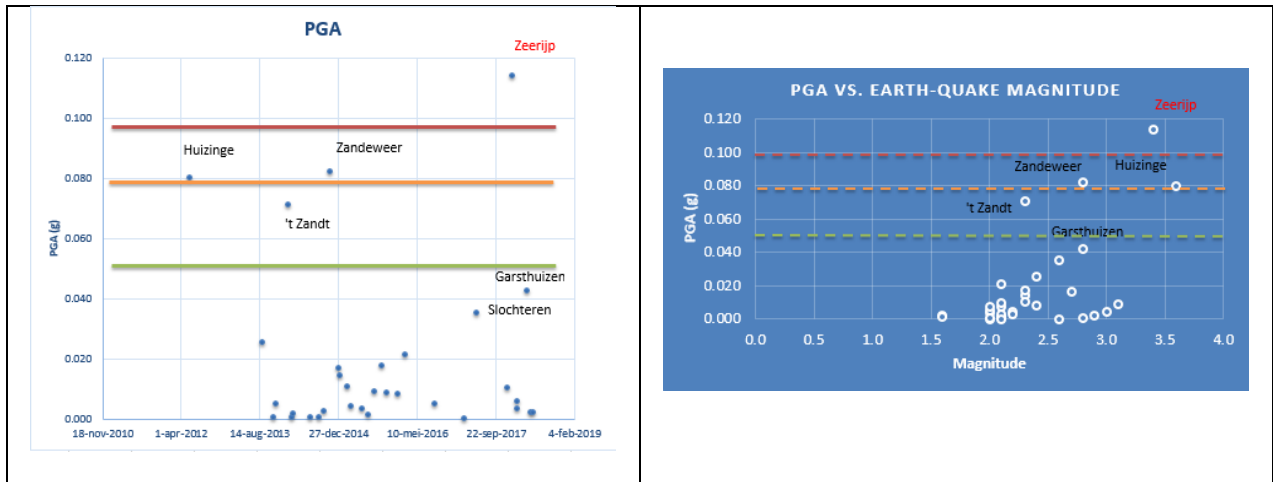
6.2 PGA de afgelopen 12 maanden en historie

In Tabel 4 is een overzicht opgenomen van de gemeten grondversnelling van de alle aardbevingen met een magnitude van 2.0 of meer gemeten in de periode juni 2017 tot juni 2018. De hoogst door het KNMI-meetnetwerk gemeten grondversnelling in deze periode was 0.11 g, gemeten bij de aardbeving bij Zeerijp door een KNMI-meetstation op 8 januari 2018. Het meetstation bevond zich op 2.5 kilometer van het epi-centrum. Deze beving is ook verder geanalyseerd in een speciaal rapport (referentie 5).

Location	Date	Magnitude	Peak Ground Acceleration / PGA (g)	Epicentral Distance (km)
Slochteren	27-mei-2017	2.6	0.034	1.8
t Zandt	10-dec-2017	2.1	0.009	1.33
Zeerijp	8-jan-2018	3.4	0.114	2.54
Loppersum	8-feb-2018	2.0	0.006	2.71
Garrelsweer	11-feb-2018	2.2	0.003	0.35
Garsthuizen	13-apr-2018	2.8	0.042	2.44

Tabel 4. Grondversnelling horend bij de bevingen van het afgelopen jaar ($M \geq 2$)

Figuur 6 toont de piek-grondversnelling (“PGA”) zoals gemeten sinds 2012 in het linker-paneel. De recente bevingen zijn beneden het “waakzaamheids-niveau” gebleven. Het rechter-paneel laat de relatie zien tussen gemeten PGA en aardbevings-magnitude. Uit dit plaatje kan worden geconcludeerd dat de PGA van de laatste 4 bevingen “geen abnormaal” patroon laten zien.



Figuur 6. Linker panel: Piekgrondversnellingen zoals gemeten sinds 2012. Rechter panel: Relatie gemeten PGA vs. aardbevingsmagnitude.

7 “Peak-ground-velocity”

7.1 Definitie en herkomst PGV-data

De PGV-metgrootheid is nieuw in het MRP en is daarin opgenomen omdat deze goed toepasbaar lijkt in de context van schade aan gebouwen. PGV staat voor “peak ground velocity”, maximale grondsnelheid, en wordt in het MRP en dit rapport uitgedrukt in mm/s.

Er is in afgelopen jaren tevens een gebouwensensoren netwerk aangelegd bestaande uit meer dan 300 meetpunten; dit meetnetwerk wordt door TNO beheerd. Op deze meetpunten zijn accelerometers geplaatst die de trillingen registreren in of nabij de fundaties van huizen. De meetgegevens worden gepubliceerd op www.nam.nl. Er wordt onderscheid gemaakt tussen meetgegevens van publieke gebouwen en huizen in verband met privacy. De sensoren meten maximumsnelheid (V_{top}) in millimeter per seconde (mm/s).

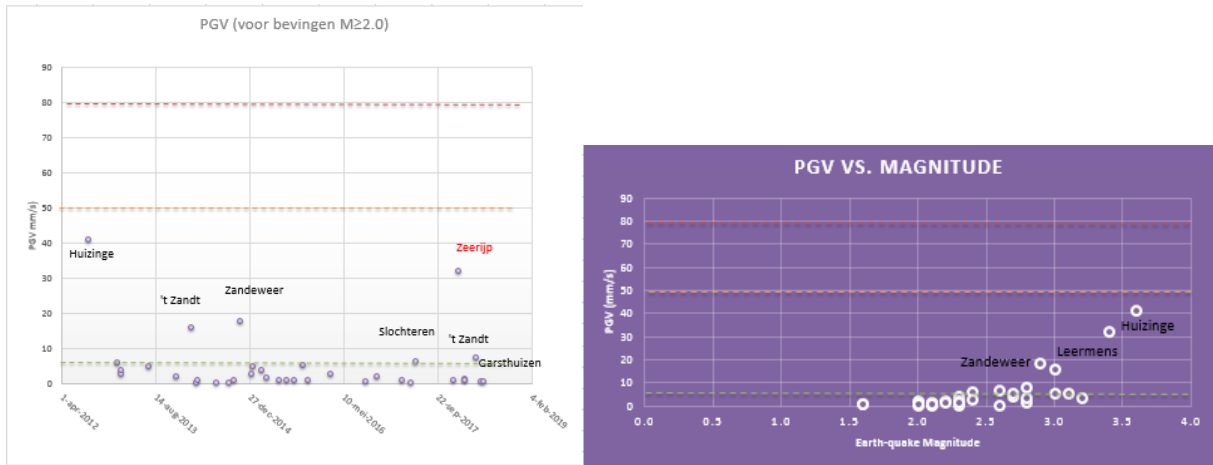
7.2 PGV de afgelopen 12 maanden en historie

De maximale gemeten gebouwsensoruitslag lag op 6.4 mm/s, geassocieerd met de beving (M2.6) van 27 mei bij Slochteren. Dit was ruim de hoogst gemeten PGV het afgelopen jaar (zie tabel 5). Deze PGV is uitvoerig bediscussieerd in referentie 5.

Location	Date	Magnitude	Peak Ground Velocity / PGV (mm/s)
Slochteren	27-mei-2017	2.6	6.4
t Zandt	10-dec-2017	2.1	0.9
Zeerijp	8-jan-2018	3.4	32.0
Loppersum	8-feb-2018	2.0	1.4
Garrelsweer	11-feb-2018	2.2	1.0
Garsthuizen	13-apr-2018	2.8	7.6

Tabel 5. Maximale grondsnelheid horend bij de aardbevingen van het afgelopen jaar.

Figuur 7 toont de piek-grondsnelheid (“PGV”) zoals berekend uit data sinds 2012 in het linker-paneel. De recente beving in Slochteren (mei 2017) is net boven het “waakzaamheids-niveau” uitgekomen. Het rechter-paneel laat de relatie zien tussen gemeten PGV en aardbevings-magnitude. Uit dit plaatje kan worden geconcludeerd dat de PGV van de laatste 4 bevingen geen abnormaal patroon laten zien.



Figuur 7. Linker panel: Piekgrondsnelheid vanaf 2012. Rechter panel: PGV vs. aardbevings-magnitude.

8 “Damage-State”/ gebouwbeweging/ schade-ontwikkeling

Om de monitorings-parameter “Damage-State”, waarbij de gedachte is dat deze parameter gemonitord wordt om te bekijken of er zich geen schade-ontwikkelingen voor doen die ernstiger zijn dan wat er verwacht wordt bij aardbevingen met een bepaalde magnitude (PGV), te rapporteren is accurate en actuele informatie benodigd met betrekking tot gemelde schade. Omdat NAM niet (meer) betrokken is in het schadeproces, wordt deze parameter niet gerapporteerd in dit rapport.

9 Andere patronen

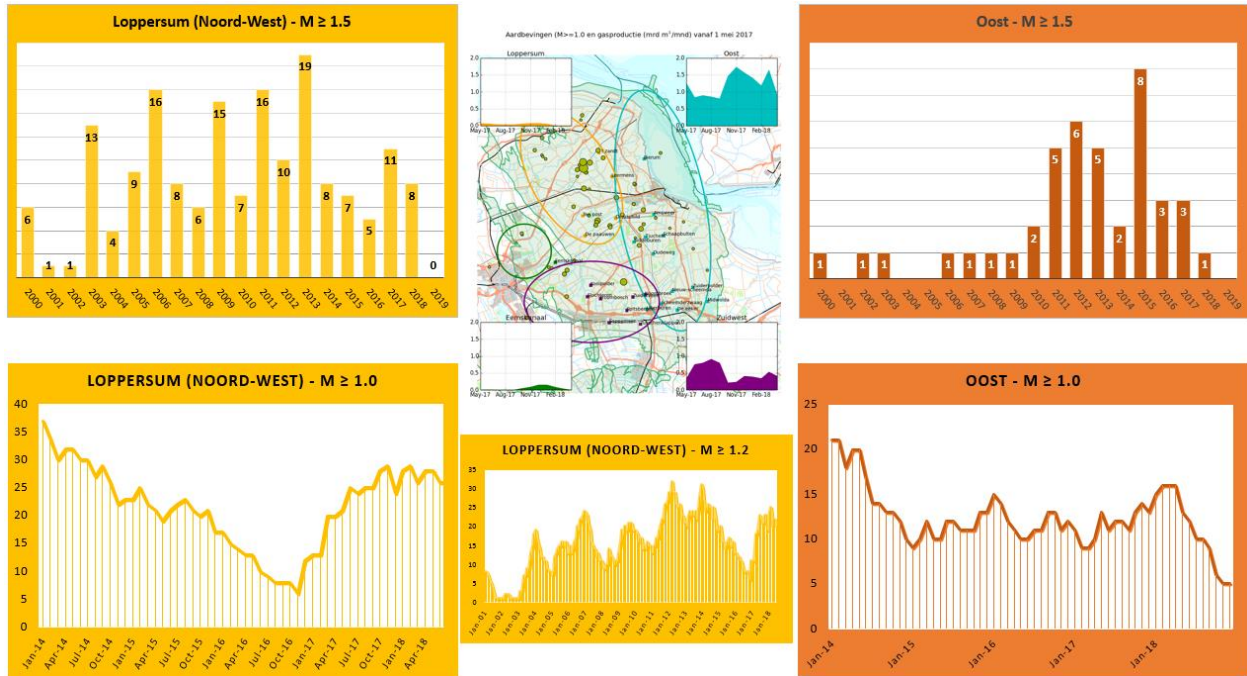
Een belangrijk ander element van het nieuwe MRP is het volgen van trends en patronen in de volgende type data:

1. Regionale verschillen
2. Veranderingen in verhoudingen kleine/grote bevingen (b-factor Gutenberg-Richter)
3. Hypo-centra (sterke op lijning van hypo-centra met breuken of breukzones)
4. Anomale PGA/PGV bij een bepaalde aardbevings-magnitude

De laatste (PGA en PGV) zijn reeds besproken in secties 6 en 7 (figuren 6 en 7) daar is geconcludeerd dat er geen anomale PGV of PGA is waargenomen. De andere drie worden hieronder besproken.

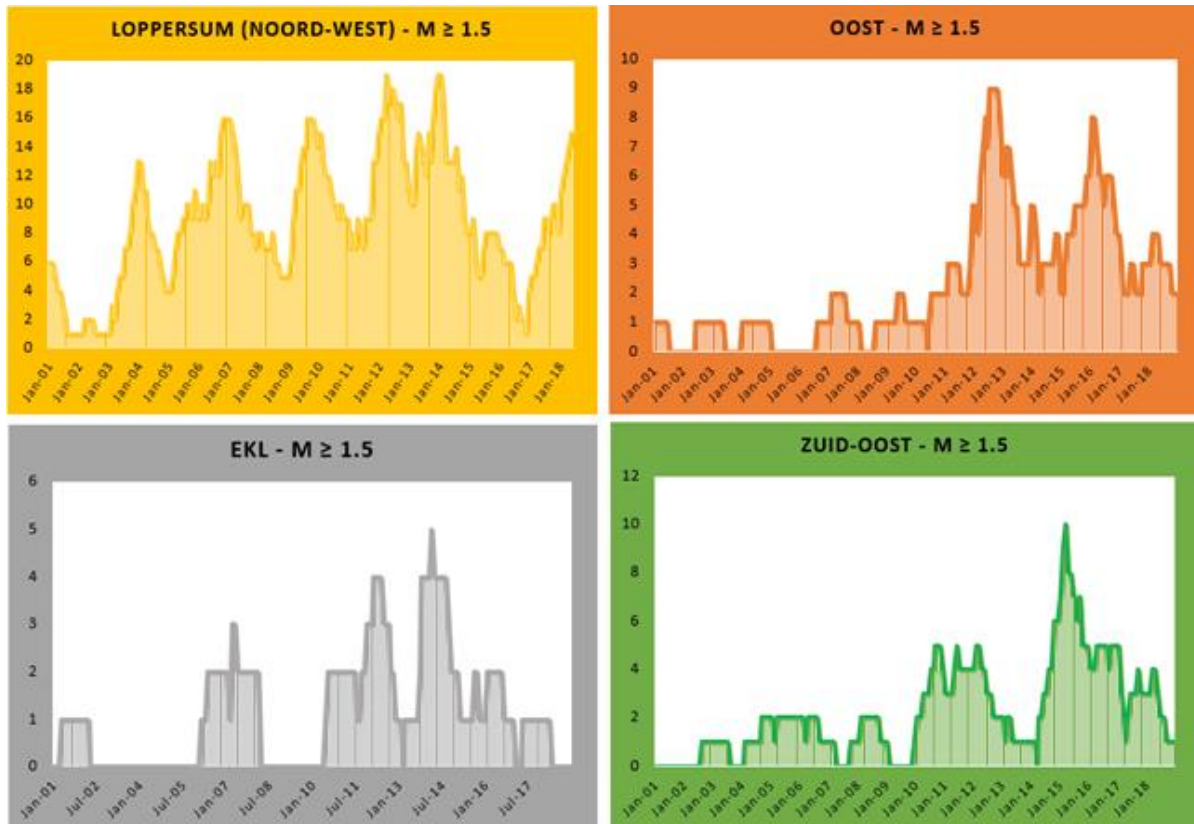
9.1 Ontwikkeling per regio

Figuur 8 laat de seismische ontwikkeling zien van twee regio's in het Groningen veld. De beschouwde gebieden zijn "Oost" en "Noord-West" (gebied rond Loppersum). Gebieds-begrenzungen staan in het centrale figuurtje aangeduid maar ook vergroot in figuur 13. De bovenste panelen laten de ontwikkeling zien van aardbevingen met een magnitude $M \geq 1.5$ in het gebied rond Loppersum (links, geel) en "Oost" (rechts, oranje). In de eerste 6 maanden van dit jaar hebben zich in de regio "Noord-West" 8 aardbevingen met een magnitude $M \geq 1.5$ voorgedaan, evenveel als in het hele kalenderjaar 2014. Gezien de hoge volatiliteit in het historische aantal aardbevingen per jaar, is het nog niet duidelijk of de toename zich zal doorzetten in de komende maanden in 2018. Anders wordt dit wanneer bevingen met $M \geq 1$ beschouwd worden, uitgedrukt in een 12-maandsgetal. Onderste panelen: Het gebied rond Loppersum (gele kleuren) laat sinds 2017 een nagenoeg stabiel aantal aardbevingen met $M \geq 1$ (maand-getallen) zien. Het aantal aardbevingen in het gebied "Oost" (rechterpaneel, oranje kleur) laat sinds 2016 een relatief stabiel beeld zien voor het aantal aardbevingen met een magnitude $M \geq 1.5$ en een dalende trend voor het aantal aardbevingen met een magnitude $M \geq 1$ sinds het begin van 2018.



Figuur 8. Vergelijking seismische ontwikkeling "Noord-West" en "Oost".

Figuur 9 laat de voortschrijdende maand-getallen zien voor bevingen groter of gelijk aan 1.5 voor de 4 regio's waarin het veld opgedeeld is. Regio "Noord-West" (gebied rond Loppersum) laat een praktisch monotoon stijgende lijn zien sinds oktober 2016. Voor de andere drie regio's geldt dat de seismiciteit op een lager niveau ligt ten opzichte van een aantal jaar geleden. In termen van maandgetallen zit regio "Noord-West" zo ongeveer op het gemiddelde seismisch niveau van de laatste 15 jaar.



Figuur 9. Maandgetallen voor 4 de regio's, $M \geq 1.5$.

9.2 Verhouding grote en kleine bevingen

Ook de verhouding grote en kleine bevingen is beschouwd (voor $M \geq 1.5$). Hiervoor wordt de b-factor gebruikt, een hogere b-factor betekent dat er minder grote aardbevingen per hoeveelheid kleine bevingen voorkomen. Tabellen 6a en 6b laten de b-waarden (verhouding kleine-grote aardbevingen) zien voor het hele veld en "Noord-West" (het gebied rond Loppersum). De b-waarden voor het hele veld liggen wat lager voor de periode 2014 – 2018 dan in de periode ervoor. De b-waarden voor Loppersum liggen wat hoger voor de periode 2014 -2018 dan de periode ervoor. Hierbij wordt opgemerkt dat de schatting van de b-waarde voor Loppersum berust op een beperkt aantal aardbevingen.

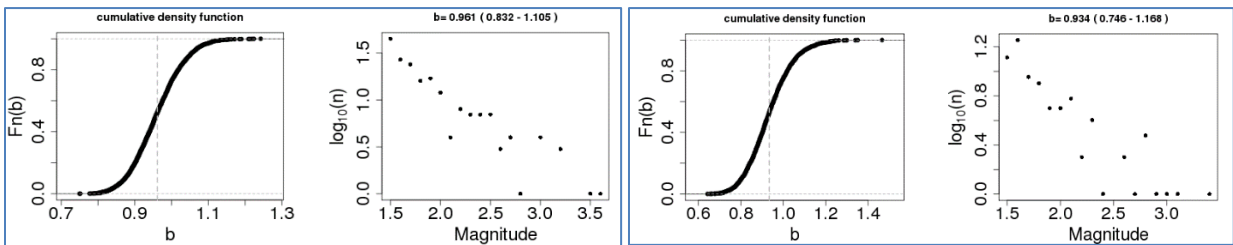
Percentiel van betrouwbaarheidsinterval Groningenveld	2000 – 2013	2014 - 2018
P _{2,5%}	0,87	0,83
P _{50%}	0,99	0,96
P _{97,5%}	1,13	1,11

Percentiel van betrouwbaarheidsinterval Loppersum regio	2000 – 2013	2014 - 2018
P _{2,5%}	0,73	0,75
P _{50%}	0,86	0,93
P _{97,5%}	1,00	1,17

Tabellen 6a en 6b B-waarden voor hele veld (bovenste tabel) en “Noord-West”/“Loppersum regio” (onderste tabel).

Voor beide gebieden is er onvoldoende statistisch bewijs om aan te nemen dat de b-factor significant lager is in de periode na 2013. Met andere woorden, er kan niet geconcludeerd worden dat het “gebrek” aan grote bevingen de laatste tijd in het gebied rond Loppersum, terwijl er wel vrij veel kleinere bevingen waren, er significant op wijst dat er ook structureel minder grote bevingen verwacht worden.

De volgende twee figuren laten voor respectievelijk het hele veld en voor het gebied rond Loppersum de verhouding kleine en grote bevingen in een grafiekje zien.

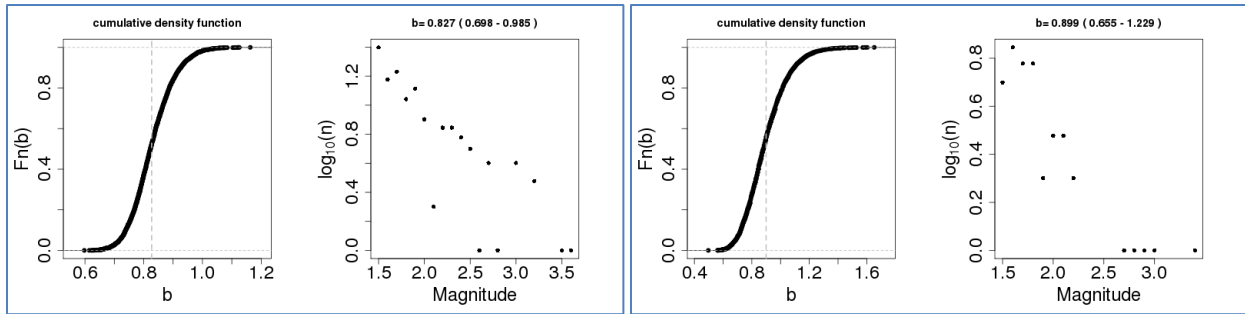


Figuur 10. Gutenberg Richter plots voor het hele Groningen veld. Linker panel : Periode januari 2000-december 2013. Rechter panel: periode januari 2014 tot en met mei 2018

Figuur 10 geeft twee zogenaamde Gutenberg-Richter plots voor het veld weer. Het linker paneel laat de verhouding kleine en grote bevingen zien voor de periode tot eind 2013. Het rechterpaneel voor de periode van januari 2014 tot en met mei 2018.

Figuur 11 geeft twee zogenaamde Gutenberg-Richter plots voor de regio “Noord-West” weer. Het linker paneel laat de verhouding kleine en grote bevingen zien voor de periode tot eind 2013. Het rechterpaneel voor de periode van januari 2014 tot en met mei 2018. De recente periode na december 2013 laat een hogere b-waarde (minder grote bevingen per hoeveelheid kleine bevingen) zien dan de periode na 2013.

Maar de onzekerheids-band rond deze b-waarde na 2013 is groot door het relatief geringe aantal bevingen.



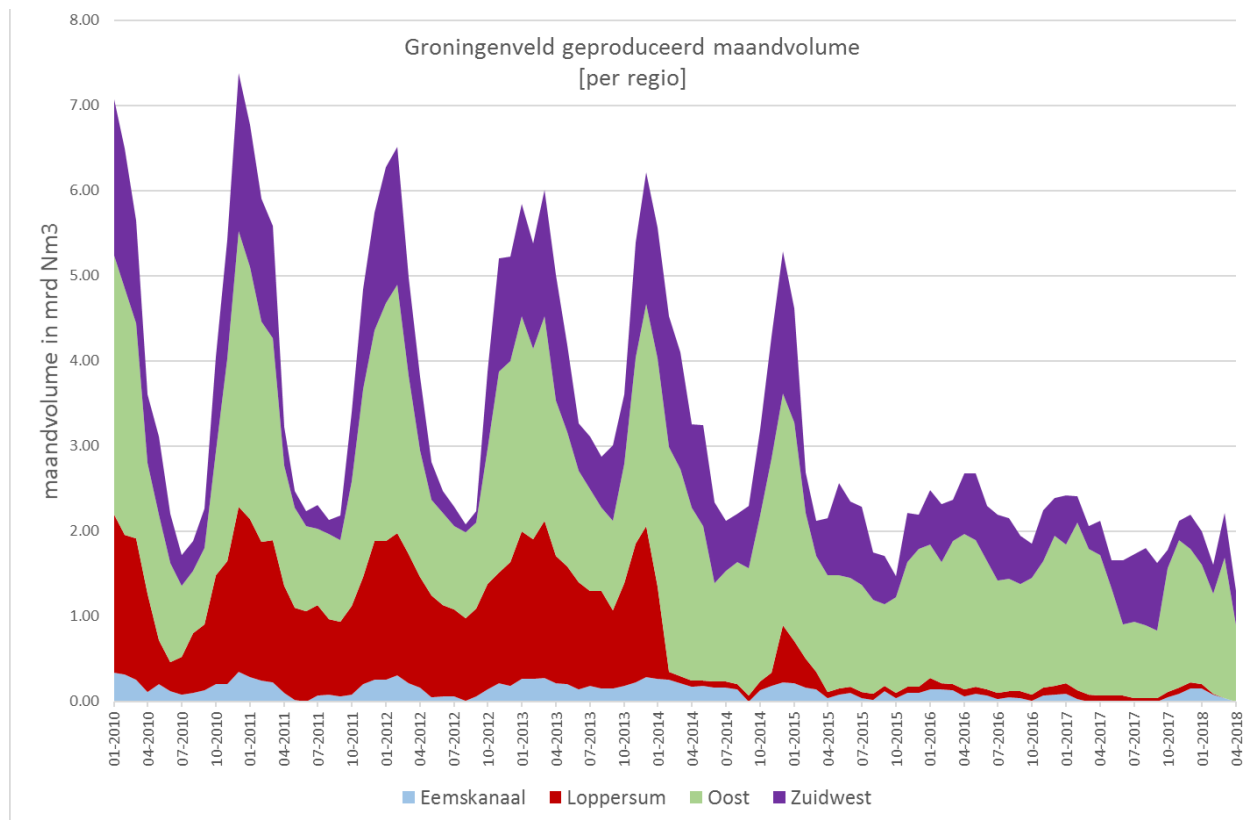
Figuur 11. Gutenberg Richter plots voor de regio "Noord-West" (Loppersum gebied). Linker panel: periode januari 2000-december 2013. Rechter panel: periode januari 2014 tot en met mei 2018

10 Productie en reservoir-druk ontwikkeling

10.1 Productie

Figuur 12 toont de productie per regio (zoals gedefinieerd in het Winningsplan, referentie 7). De totale hoeveelheid gewonnen gas is sterk afgenomen na 2013, de hoeveelheid productie gewonnen uit het gebied rond Loppersum is sterk verminderd en per februari 2018 geheel stopgezet. Duidelijk zichtbaar is de neerwaartse trend van Groningenveld jaarproductie, waarbij het productielocaties in de regio's Oost en Zuidwest het merendeel bijdragen.

Ook de seizoensfluctuaties in de Groningenveld productie zijn sterk afgenomen. Deze seizoens-fluctuaties komt voort uit de rol van het Groningen veld als energieleverancier aan huishoudens op momenten van hoge marktvraag in de winter. Deze seizoensfluctuaties zijn beperkt omdat een vermoeden bestaat dat deze fluctuaties een (extra) bron kunnen zijn van seismiciteit (referentie 8).

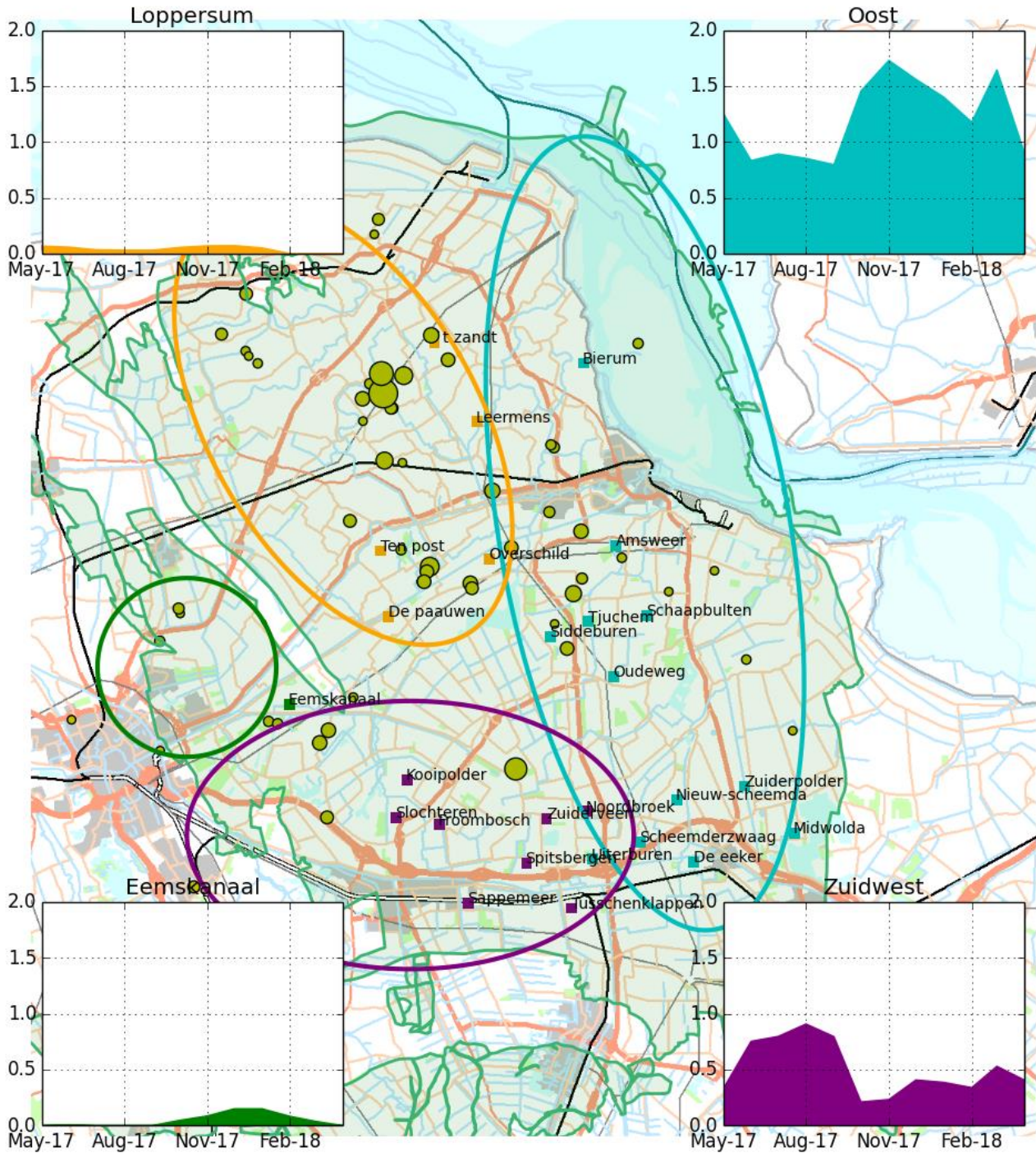


Figuur 12. Productie per regio.

Figuur 13 laat het regionale beeld zien van productie en locatie van aardbevingen. Productie uit Loppersum en Eemskanaal is zeer gering ten opzichte van productie uit "Oost" en "Zuid-West" maar het

aantal aardbevingen in het Loppersum gebied is zelfs wat hoger dan in die beide regio's. In sectie 11 wordt de Loppersum aardbevings-trend nader bekeken.

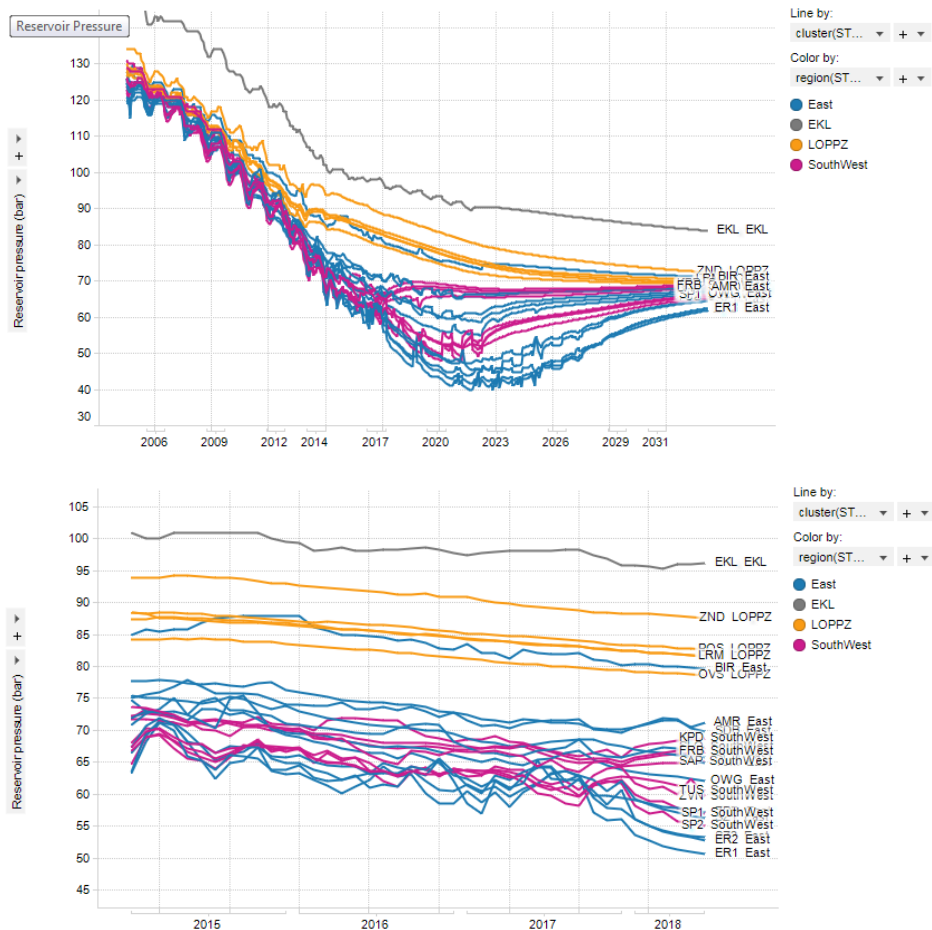
Aardbevingen ($M \geq 1.0$ en gasproductie (mrd m^3 /mnd) vanaf 1 mei 2017



Figuur 13. Productie per regio en locatie van aardbevingen.

10.2 Ontwikkeling van de reservoir-druk

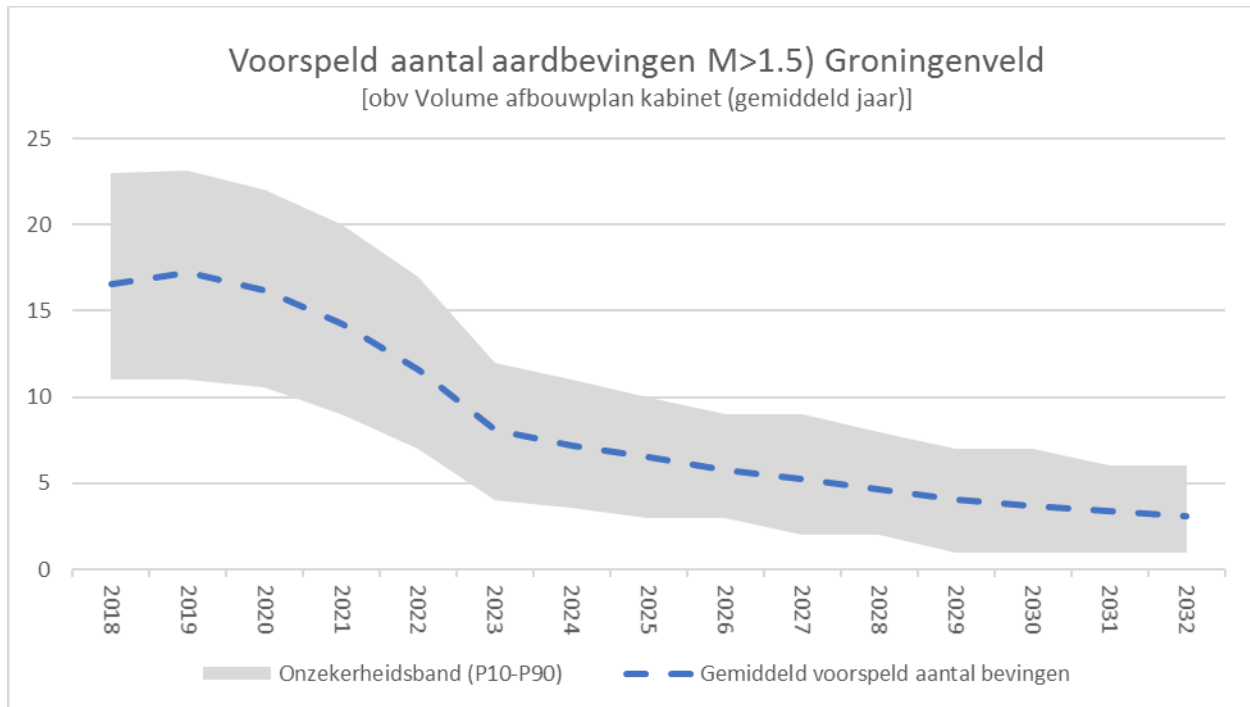
De figuur 14 laat de gemodelleerde reservoir-druk zien voor de clusters in het Groningen systeem. Hiervoor wordt een gekalibreerd reservoirmodel gebruikt. Het bovenste paneel in figuur 14 laat het drukverloop van het reservoir zien voor alle Groningen clusters van 2005 tot 2031 (voorspelde drukken). De reservoir druk neemt gemiddeld minder af per jaar sinds 2014 (minder productie) maar laat sterkere regionale verschillen zien als gevolg van de gevoerde “production-policy” waarbij het zwaartepunt van productie op de regio’s “Oost” en “Zuid”. Als gevolg daarvan zijn de reservoir-drukken in het zuidelijk (clusters als TUS en ZVN) en oostelijk deel (AMS) van het veld ongeveer 25 bar lager dan in het Loppersum gebied (LOPPZ). Dit drukverschil zal onder continuering van de huidige “production-policy” ongeveer hetzelfde blijven. Deze gemodelleerde druk-ontwikkeling is ook een input voor de aardbevingsvoorspellingen in de volgende sectie van dit rapport.



Figuur 14. Reservoir druk voor alle Groningen clusters, de onderste grafiek is een ingezoomde weergave van de bovenste grafiek.

11 Voorspellingen seismische ontwikkelingen

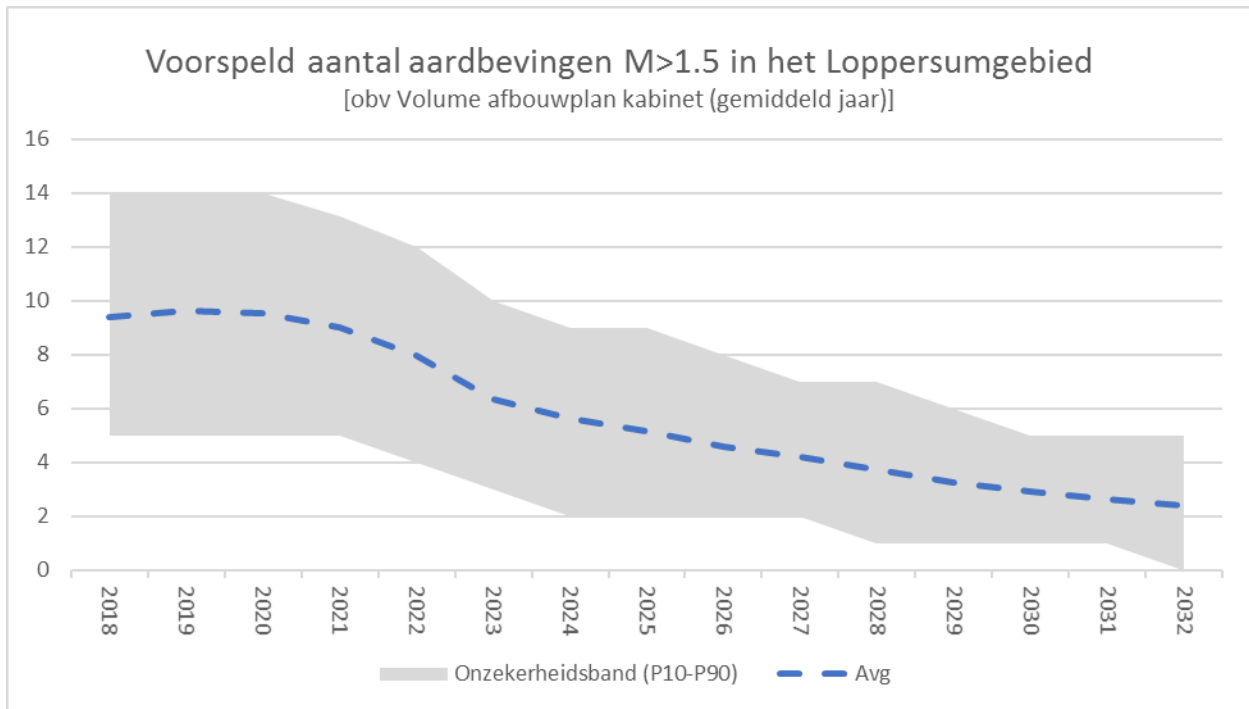
Figuur 15 geeft het voorspeld aantal aardbevingen voor het Groningen veld voor het afbouwplan basispad kabinet (gemiddeld jaar) volume scenario, voorspeld met het verbeterde hybride geomechanisch/statistisch model. Het verwacht aantal aardbevingen op veldbasis blijft het komend jaar vrijwel constant (behoudens statistische variaties) en neemt daarna sterk af 8 bevingen per jaar in 2023 ($M \geq 1.5$).



Figuur 15. Voorspeld aantal bevingen voor het Groningen veld. Voorspelling met behulp van een hybride geomechanisch/statistisch model.

11.1 Voorspellingen voor regio “Noord-West” (Loppersum gebied)

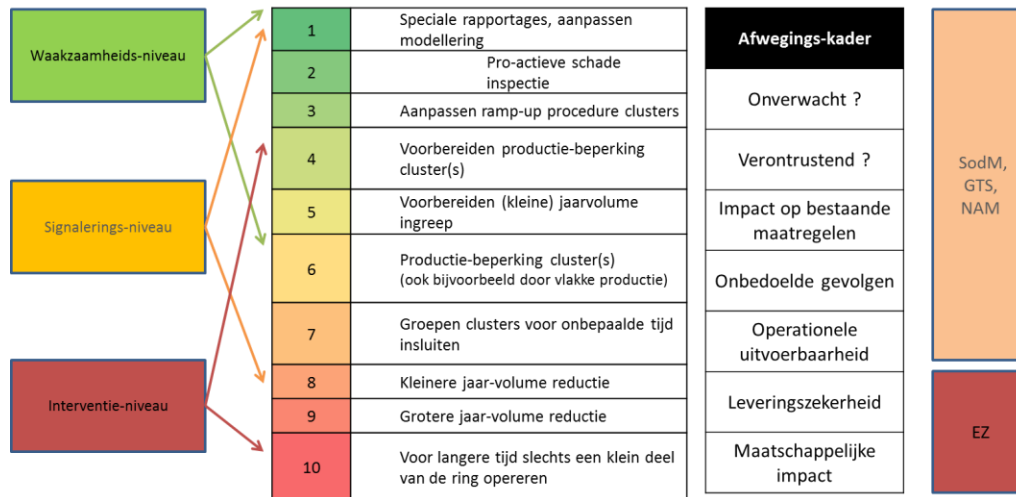
Met hetzelfde model is ook een voorspellingen gemaakt voor de regio “Noord-West” (Loppersum gebied). Figuur 16 toont het voorspeld aantal aardbevingen voor het afbouwplan basispad kabinet (gemiddeld jaar) volume scenario. Het verwacht aantal aardbevingen voor het gebied rond Loppersum blijft tot 2020 vrijwel constant (behoudens statistische variaties) en daalt daarna scherp naar ongeveer 5 bevingen ($M \geq 1.5$) in 2022.



Figuur 16. Voorspeld aantal aardbevingen voor het Loppersum met behulp met behulp van een hybride geomechanisch/statistisch model.

12 Maatregelen

De koppeling van maatregelen aan signaal-parameter overschrijdingen is vastgelegd in het MRP (zie figuur 17).



Figuur 17. Diagram dat illustreert hoe overschrijdingen van de verschillende MRP niveaus gekoppeld worden aan te nemen maatregelen. Gereproduceerd uit referentie 1.

De aardbeving bij Zeerijp (M=3.4) op 8 januari 2018 heeft geleid tot het besluit van de minister om de productie uit de regio Loppersum stop te zetten. Op 29 maart heeft de minister zijn brief aan de kamer kenbaar gemaakt dat gestreefd moet worden naar de minimale productie uit het Groningenveld (tot het niveau benodigd voor leveringszekerheid) en dat de productie zo snel mogelijk afgebouwd zal gaan worden naar 0 Nm³/jaar in 2030. Hiervoor zullen ook de benodigde wetsartikelen worden aangepast. Daarnaast heeft de minister de NAM verzocht een operationele strategie op te stellen op basis van criteria beschreven in een verwachtingenbrief.

Naast het insluiten van de 5 productie clusters in de regio Loppersum en het minimaliseren van de productie uit het Groningenveld tot een niveau benodigd voor leveringszekerheid, worden in dit rapport geen verdere maatregelen voorgesteld.

13 Referenties

- Referentie 1. Meet- en Regelprotocol Groningen veld, NAM, June 2017
- Referentie 2. Silverman, 1986. Density estimation for Statistics and Data Analysis
- Referentie 3. Special Report on the earthquake density and activity rate following the earthquakes in Appingedam (ML=1.8) and Scharmer (ML=1.5) in August 2017
- Referentie 4. Short special report Exceedance Activity Rate, February 2018
- Referentie 5. Special Report on the earthquake Zeerijp in January 2018, NAM
- Referentie 6: Full-wave inversion KNMI data 2015-2017, in prep.
- Referentie 7: Winningsplan Groningen 2016, Nederlandse Aardolie Maatschappij BV, 1st April 2016.
- Referentie 8. TNO 2015 R11367 - Response of induced seismicity to production changes in the Groningen field
- Referentie 9: - Wood S.N. (2017) Generalized Additive Models: An Introduction with R (2nd edition). Chapman and Hall/CRC Press.

