



RAPPORTAGE SEISMICITEIT  
GRONINGEN – 1 NOVEMBER 2018



[Deze pagina is opzettelijk leeg gelaten]

## Inhoudsopgave

1	Samenvatting .....	1
2	Inleiding en leeswijzer.....	3
2.1	Inleiding.....	3
2.2	Leeswijzer.....	3
3	Status MRP oktober 2018 .....	4
3.1	Meetnetwerk en meetnauwkeurigheid.....	5
3.2	Aantal aardbevingen.....	6
3.3	12-Maandsgetal .....	7
4	Earthquake density – aardbevingsdichtheid.....	10
5	“Peak-ground-acceleration” – maximale grondversnelling.....	11
5.1	Definitie en herkomst PGA-data .....	11
5.2	PGA de afgelopen 12 maanden en historie .....	11
6	Peak ground-velocity .....	13
6.1	Definitie en herkomst PGV-data .....	13
6.2	PGV de afgelopen 12 maanden en historie .....	13
7	Damage-state: schade-ontwikkeling.....	15
8	Andere patronen.....	16
8.1	Ontwikkeling per regio.....	16
8.2	Verband productie en seismiciteit per regio .....	17
8.3	Ontwikkeling aardbevingsdichtheid over tijd .....	20
8.4	Seismiciteit rond Appingedam .....	21
8.5	Verhouding grote en kleine bevingen.....	22
9	Maatregelen.....	24
10	Referenties.....	25

[Deze pagina is opzettelijk leeg gelaten]

## 1 Samenvatting

De ontwikkeling van seismiciteit in het Groningen-veld is geanalyseerd aan de hand van de structuur van het 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 parameter die de aardbevingsdichtheid weergeeft het signaleringsniveau heeft overschreden en dat de parameters die het gemeten aantal aardbevingen en de gemeten grondsnelheid weergeven zich boven de waakzaamheidgrens bevinden. Sinds de vorige rapportage van juni 2018 zijn er geen redenen geweest om naar aanleiding van seismische ontwikkelingen of overschrijdingen van reguliere protocol parameters speciale rapportage uit te geven.

### Ontwikkeling seismiciteit

De parameters die de mate van seismiciteit boven het Groningenveld beschrijven zoals het aantal bevingen en de aardbevingsdichtheid laten vanaf 2015 een dalende trend zien. In 2017 leek de mate van seismiciteit weer toe te nemen, zichtbaar in de toename van de parameters. Deze stijgende trend heeft zich niet doorgezet. Vanaf 2018 laten de parameters een dalende trend zien. In hoeverre de variaties een gevolg zijn van de wijze van opereren, van de lagere geproduceerde volumes of van de natuurlijke variabiliteit in seismiciteit is niet vast te stellen.

### Signaalwaarden

De parameters vallen binnen de volgende niveau's van het MRP

Signaalparameter	Niveau volgens MRP
Activity rate	Waakzaamheid
Aardbevingsdichtheid	Signalering
Grondversnelling (PGA)	Monitoring
Grondsnelheid (PGV)	Waakzaamheid

### Activity rate

De activity rate of het aantal geregistreerde aardbevingen met een magnitude groter of gelijk aan  $M_L=1.5$  aardbevingsdichtheid in de voorgaande twaalf maanden is gedaald van 20 naar 19 en is daarmee relatief constant gebleven.

### Aardbevingsdichtheid

De in de voorgaande twaalf maanden geregistreerde aardbevingen met een magnitude van  $M_L =1.0$  en hoger worden gebruikt om de aardbevingsdichtheid te bepalen. In deze periode is een kortstondige toename van aardbevingsactiviteit in de omgeving Appingedam geregistreerd, deze verhoogde activiteit wordt inmiddels niet meer waargenomen.

### PGA en PGV

Sinds de meest recente MRP-rapportage zijn geen aardbevingen geregistreerd met een magnitude boven  $M_L=2.0$  waardoor er geen nieuwe waarden zijn voor rapportage van piekgrondversnelling (PGA) en piekgrondsnelheid (PGV).

### Damage State

Omdat NAM niet betrokken is bij rapportage en afhandeling schade wordt hieromtrent niet meer gerapporteerd door NAM.

[Deze pagina is opzettelijk leeg gelaten]

## 2 Inleiding en leeswijzer

### 2.1 Inleiding

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

Dit rapport bevat de halfjaarlijkse rapportage van de seismiciteit in het Groningenveld die vanuit de NAM uitgaat. 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 MRP.

De basisgedachte onder het MRP was dat maatregelen getroffen zouden kunnen worden, zoals het verleggen of naar beneden bijstellen van de productie uit het Groningen gasveld, wanneer de seismische activiteit bepaalde vooraf gedefinieerde waarden zou overschrijden. Echter in de kamerbrief van 29 maart 2018 heeft de Minister kenbaar gemaakt dat er gestreeft moet worden naar minimale productie uit het Groningen gasveld en dat de productie zo snel mogelijk afgebouwd zal gaan worden naar 0 Nm<sup>3</sup>/jaar in 2030. NAM is daarbij gevraagd om binnen de kaders van leveringszekerheid en de voorlopige voorziening van de Afdeling Bestuursrechtspraak van de Raad van State maximaal gebruik te maken van de ruimte tot een lagere winning. Verder heeft de Minister NAM verzocht een operationele strategie voor te stellen op basis van criteria beschreven in een verwachtingenbrief. NAM heeft een bouwstenen document opgesteld waarin NAM aan de Minister keuzes heeft voorgelegd, deze keuzes leiden tot een door NAM te volgen operationele strategie.

Hiermee is het 'Regelen' voor NAM vervallen in het MRP. De informatie van het 'Meten' wordt door NAM dus niet meer gebruikt om te 'Regelen'. Dit rapport dient als periodieke informatievoorziening inzake de ontwikkeling van seismiciteit in het Groninger gasveld.

Seismische gegevens en gasproductie in dit rapport zijn bijgewerkt tot en met 1 oktober 2018. 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

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<sup>1</sup> groter of gelijk aan  $M_L = 1.0$
- Paars: Bevingen met een magnitude groter of gelijk aan  $M_L = 1.2$
- Blauw: Bevingen met een magnitude groter of gelijk aan  $M_L = 1.5$
- Rood: Bevingen met een magnitude groter of gelijk aan  $M_L = 2.0$

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 3.1).

---

<sup>1</sup> De sterkte van de aardbevingen worden in deze rapport aangeduid in Local Magnitude Scale of  $M_L$

### 3 Status MRP oktober 2018

De status van de signaalwaarden van het MRP staat weergegeven in Tabel 1. In de eerste kolom staan de zes grootheden die gemonitord worden voor het MRP. De bovenste vier grootheden staan ook vermeld als dashboard op de NAM-website en deze worden regelmatig bijgewerkt [1]. In de tweede kolom staan de actuele waarden, in de derde de waarden bij de vorige rapportage. De laatste drie kolommen geven de laagste grenswaarden die gehanteerd worden in het MRP voor “waakzaamheid”, “signalering” en “interventie”. Deze grenswaarden waren op hun beurt gerelateerd aan “maatregelen” die bij overschrijding overwogen worden [2]. Door de minimalisatie van productievolume uit Groningen vervallen de mogelijk te nemen maatregelen. De informatie verzameld volgens richtlijnen van het MRP kan wel door de Minister gebruikt worden om maatregelen te nemen als dat wenselijk geacht wordt. Deze maatregelen kunnen betrekking hebben op het niveau van gasproductie uit Groningen of de wijze waarop het veld geopereerd wordt.

De omschrijvingen van de grootheden zijn:

Activity Rate: Het aantal bevingen met een magnitude groter dan of gelijk aan  $M_L = 1.5$  geregistreerd in de voorgaande twaalf maanden.

EQ density: Aardbevingsdichtheid van de afgelopen twaalf maanden, voor aardbevingen met een magnitude groter dan of gelijk aan  $M_L = 1.0$ . De dichtheid wordt berekend volgens de Quartic Kernel Function zoals voorgeschreven door het SodM.

Grondversnelling of Peak Ground Acceleration (PGA): Maximaal gemeten horizontale grondversnelling aan het aardoppervlak. De versnelling is bepaald aan de hand van data van de versnellingsmeters van het KNMI. Weergegeven is de maximale PGA van de meest recente beving met een magnitude groter dan of gelijk aan  $M_L = 2.0$ .

Grondsnelheid of Peak Ground Velocity (PGV): Maximaal gemeten horizontale grondsnelheid aan het aardoppervlak. De snelheid is bepaald aan de hand van data van de versnellingsmeters van het KNMI. Weergegeven is de maximale PGV van de meest recente beving met een magnitude groter dan of gelijk aan  $M_L = 2.0$ .

Damage state: Deze parameter houdt verband met de schade aan gebouwen. Omdat de NAM niet meer betrokken is bij het proces van schadeafhandeling beschikt NAM niet meer over deze gegevens en rapporteert NAM niet meer over deze parameter.

Other patterns: Mochten er patronen opvallen of trends zichtbaar worden anders dan verwacht dan wordt hier apart over gerapporteerd.



Tabel 1: MRP-status op 1 oktober 2017. (\*waargenomen op 13-4-2018 nabij Garsthuizen,  $M_L=2.81$ )

MRP status					
	1 okt 2018	1 juni 2018	Grenswaarden		
			Waakzaamheid	Signalering	Interventie
Activity Rate	19	20	15	20	25
EQ density	0.31	0.38	0.17	0.25	0.40
PGA [g]	0.04*	0.04*	0.05	0.08	0.10
PGV [mm/s]	7.6*	7.6*	5	50	80
Damage State	Geen data	Geen data	Niet door NAM bepaald		
Other patterns	Loppersum trend	Loppersum trend	Expert Judgement		

De activity rate en de EQ density zijn gedaald ten opzichte van de voorgaande rapportage. De activity rate is gedaald tot niveau 'Waakzaamheid' en de dichtheid is in het gebied 'Signalering'. PGA en PGV zijn ongewijzigd omdat de beving bij Garsthuizen in april nog steeds de meest recente beving met een magnitude boven de  $M_L = 2.0$  is. Opgemerkt moet worden dat de beving bij Zeerijp (4 januari 2018, PGA 0.11 g, PGV 28.1 mm/s) [ref 5] ook in de periode voorafgaand aan het rapport van juni 2018 valt en de maximale PGA en PGV in deze periode hoger was dan de PGA en PGV van de beving bij Garsthuizen.

### 3.1 Meetnetwerk en meetnauwkeurigheid

De gevoeligheid van het seismische meetnetwerk boven het Groningenveld is na de uitbreiding met 70 nieuwe seismische meetstations toegenomen waardoor vanaf 2014 alle aardbevingen met een magnitude groter dan  $M_L = 1.0$  op de schaal van Richter boven het Groningenveld worden geregistreerd. Voor plaatsing van deze meetstations zijn in ieder geval alle bevingen met een magnitude groter dan  $M_L = 1.5$  op de schaal van Richter geregistreerd. Bevingen met een magnitude boven de  $M_L = 1.2$  zijn ook geregistreerd, maar door de lagere gevoeligheid is niet zeker dat de gemeten bevingen met een magnitude tussen de  $M_L = 1.2$  en de  $M_L = 1.5$  alle bevingen betroffen in de periode tot 2014. Voor deze bevingen kan het aantal dus onderschat zijn.

Het seismische meetnetwerk is eigendom van en wordt geopereerd en onderhouden door KNMI. Elk seismisch meetstation bestaat uit een bovengronds geplaatste accelerometer voor het meten van groundbeweging en vier ondergronds geplaatste geofoons voor nauwkeurige plaatsbepaling en aardbevingssterkte. Daarnaast zijn ook een tiental stations geplaatst die alleen grondversnelling meten. Alle in dit hoofdstuk gerapporteerde meetdata is ontleend aan het KNMI.

## 4 Aantal aardbevingen

### 4.1 Aantal aardbevingen per magnitude klasse

Er zijn 34 aardbevingen gemeten<sup>2</sup> met een magnitude groter of gelijk aan  $M_L \geq 1.0$  in de periode tussen september 2017 en oktober 2018, zie Tabel 2. In de vorige rapportage waren dit 49 aardbevingen. Met name het aantal aardbevingen kleiner dan  $M_L = 1.5$  is afgenomen van 29 in vorige naar 15 in deze rapportage. Het aantal aardbevingen groter of gelijk aan  $M_L \geq 1.5$  is met 19 één lager vergeleken met de vorige rapportage.

In de periode tussen september 2017 en oktober 2018 zijn drie aardbevingen gemeten met een magnitude tussen de  $M_L = 2.0$  en  $M_L = 2.5$  en twee aardbevingen met een magnitude groter dan  $M_L = 2.5$  (bij Zeerijp en Garsthuizen) zie hiervoor ook de speciale rapportage [3].

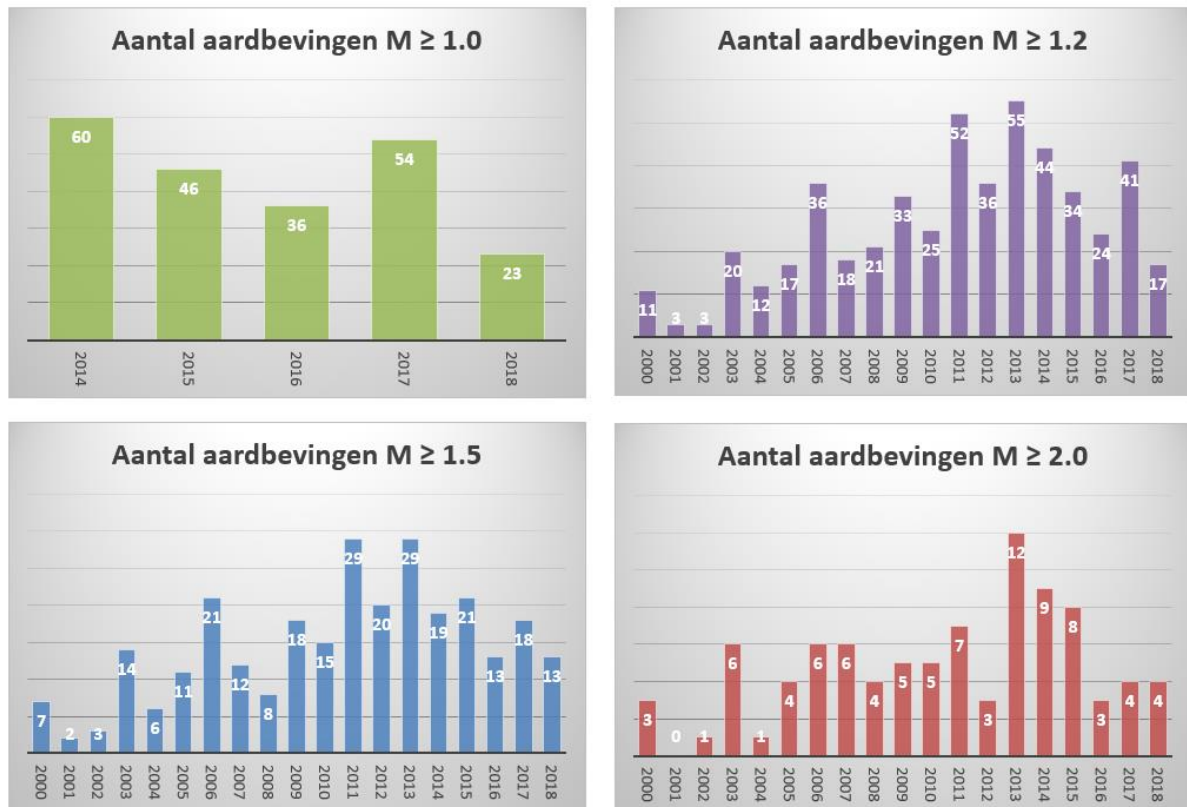
Tabel 2: Aantal waargenomen aardbevingen in het afgelopen jaar.

Maand	$1.0 \leq M_L < 1.5$	$1.5 \leq M_L < 2.0$	$2.0 \leq M_L < 2.5$	$M_L \geq 2.5$	Totaal
Oct-17	2	0	0	0	2
Nov-17	1	1	0	0	2
Dec-17	4	4	1	0	9
Jan-18	0	1	0	1	2
Feb-18	1	1	2	0	4
Mar-18	4	2	0	0	6
Apr-18	0	0	0	1	1
May-18	0	2	0	0	2
Jun-18	0	1	0	0	1
Jul-18	2	0	0	0	2
Aug-18	0	2	0	0	2
Sep-18	1	0	0	0	1
<b>Totaal</b>	<b>15</b>	<b>14</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>34</b>

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  $M_L \geq 1$  (waarbij opgemerkt moet worden dat 2018 over de periode tot oktober weergegeven is en dat er vanwege incompleteit van de data voor 2014, er geen data van voor 2014 getoond is voor  $M_L \leq 1.2$ ). Er zijn enige statistische aanwijzingen dat de dataset boven de  $M_L = 1.2$  wel compleet zou kunnen zijn (voor de periode voor 2014). Dit is de reden dat deze geplot is vanaf het jaar 2000 (panel rechtsboven, paarse kleuren). Dit panel laat zien dat het aantal aardbevingen met een magnitude  $M_L \geq 1.2$  voor dit jaar fors lager is dan afgelopen jaar. Als het aantal aardbevingen per maand gelijk blijft zal het aantal aardbevingen in 2018 lager zijn dan recente jaren, op 2016 na. Het linker panel beneden (blauwe kleuren) laat bevingen zien met een magnitude van  $M_L = 1.5$  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 panel rechts beneden tenslotte (in de rode kleuren), laat de

<sup>2</sup> Voorheen leverde KNMI de data afgerond op één decimaal; maar tegenwoordig op meerdere decimalen. Om goed vergelijk met het verleden mogelijk te maken is ervoor gekozen om bevingen met bijvoorbeeld magnitude tussen  $M_L = 1.45$  en  $M_L = 1.50$  in de statistieken weer te geven in de groep met magnitude  $M_L \geq 1.5$ . Sterkte van magnitudes is voor verwerking in de statistieken afgerond op één decimaal.

bevingen van  $M_L = 2.0$  en hoger zien. Hier is wel een verlaging ten opzichte van de periode 2013-2015 te zien in het aantal aardbevingen. Het aantal bevingen met een magnitude  $M_L \geq 1.5$  of  $M_L \geq 2.0$  is natuurlijk lager dan het aantal aardbevingen met een magnitude  $M_L \geq 1.0$  wat het moeilijker maakt een betrouwbare trend waar te nemen in de stochastische afwijkingen.

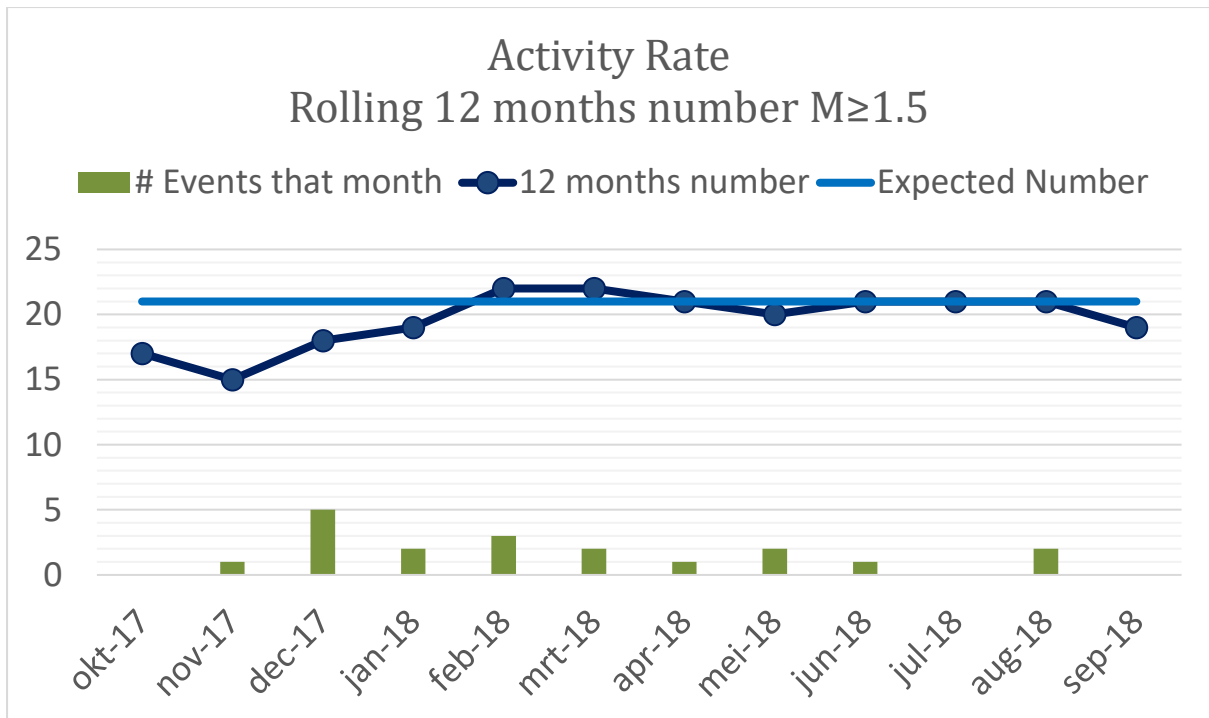


Figuur 1: Aantal aardbevingen per jaar voor vier verschillende magnitude-classes

## 4.2 12-Maandsgetal

Het 12-maandsgetal is de voortschrijdende som van alle bevingen met een magnitude van groter dan of gelijk aan een vooraf bepaalde magnitude in het jaar voorafgaand aan het meetmoment. Het 12-maandsgetal van 1 oktober 2018 is dus de som van het aantal aardbevingen van een bepaalde magnitude in de periode van 1 oktober 2017 tot 1 oktober 2018.

In Figuur 2 zijn de 12-maandsgetallen van afgelopen jaar weergegeven voor bevingen van een magnitude van  $M_L = 1.5$  en groter. De lijn laat na een lichte daling een kleine stijging zien en is redelijk constant over afgelopen half jaar. Ook weergegeven in Figuur 2 is het ‘Expected Number’, deze waarde is de verwachtingswaarde van het aantal seismische events met een magnitude  $M_L \geq 1.5$  volgens het statistische model als beschreven in het HRA [3]. Er moet worden benadrukt dat de onzekerheidsmarges rond dit getal groot zijn en dat het getal gebaseerd is op simulaties met een productieprofiel dat afwijkt van het huidige profiel (het “Basispad Kabinet”).

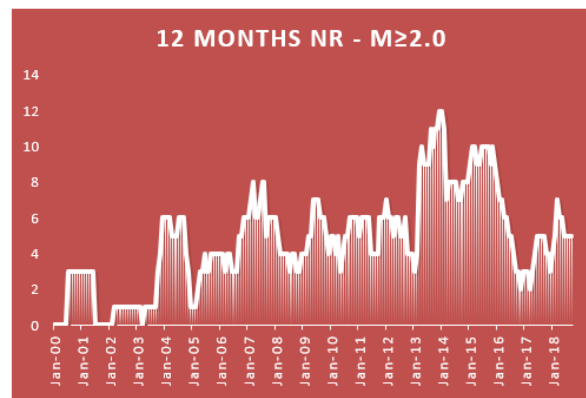
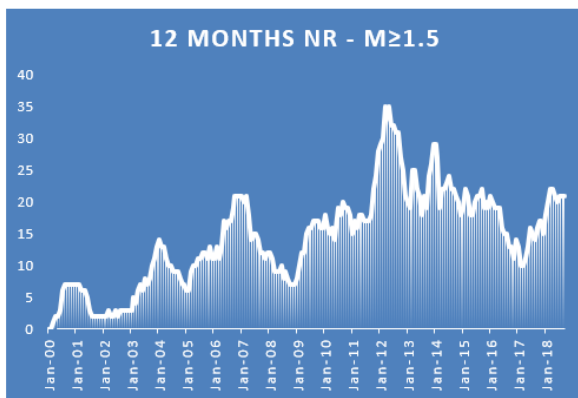
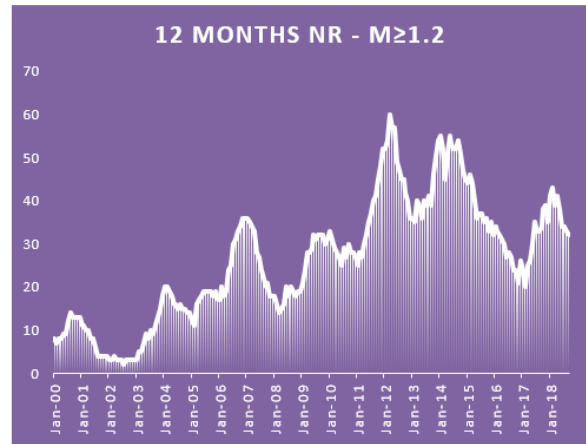
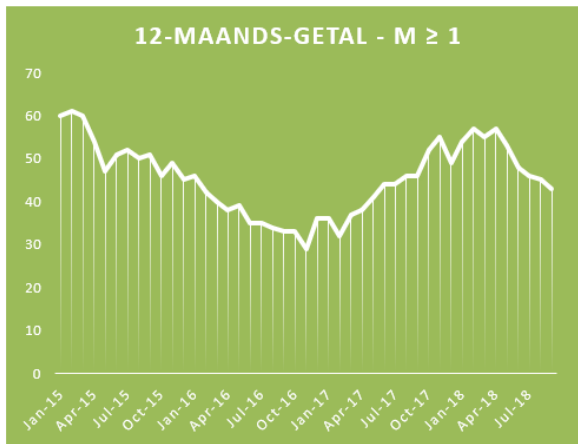


*Figuur 2: 12-Maandsgetallen van het afgelopen jaar. Het 12-maandsgetal is weergegeven voor het einde van de maand. Het 12-maandsgetal van maart 2018 heeft dus betrekking op de periode van 1 april 2017 tot en met 31 maart 2018.*

Figuur 3 laat de 12 maands-getallen zien over een langere periode voor vier magnitude-classes. Hierbij geldt dat de data van bevingen met een magnitude onder de  $M_L = 1.5$  in de periode voor 2014 mogelijk incompleet is vanwege beperkingen in het meetsysteem in die periode. Deze laat dezelfde trend zien als in Figuur 1 maar laat ook het verband zien met de ontwikkeling van seismiciteit in de jaren ervoor. In de periode vanaf januari 2017 tot april 2018 was een duidelijke stijging zichtbaar in het aantal aardbevingen met een magnitude  $M_L \geq 1.2$ . Deze trend heeft zich niet doorgezet en over de afgelopen maanden is een daling zichtbaar in het aantal aardbevingen.

Het lage aantal events maakt het lastig conclusies te trekken. De neergaande trend in het aantal aardbevingen zou het gevolg kunnen zijn van de manier van opereren en de verlaagde productievolumes maar kan ook gevolg zijn van de natuurlijke variabiliteit. De geobserveerde trend in aantal aardbevingen is geen reden voor het opstellen van een additionele tussentijdse rapportage.

Meer informatie over het verband tussen de seismiciteit en de productievolumes en manier van opereren kan gevonden worden in de Hazard and Risk Analysis [3] en [4].

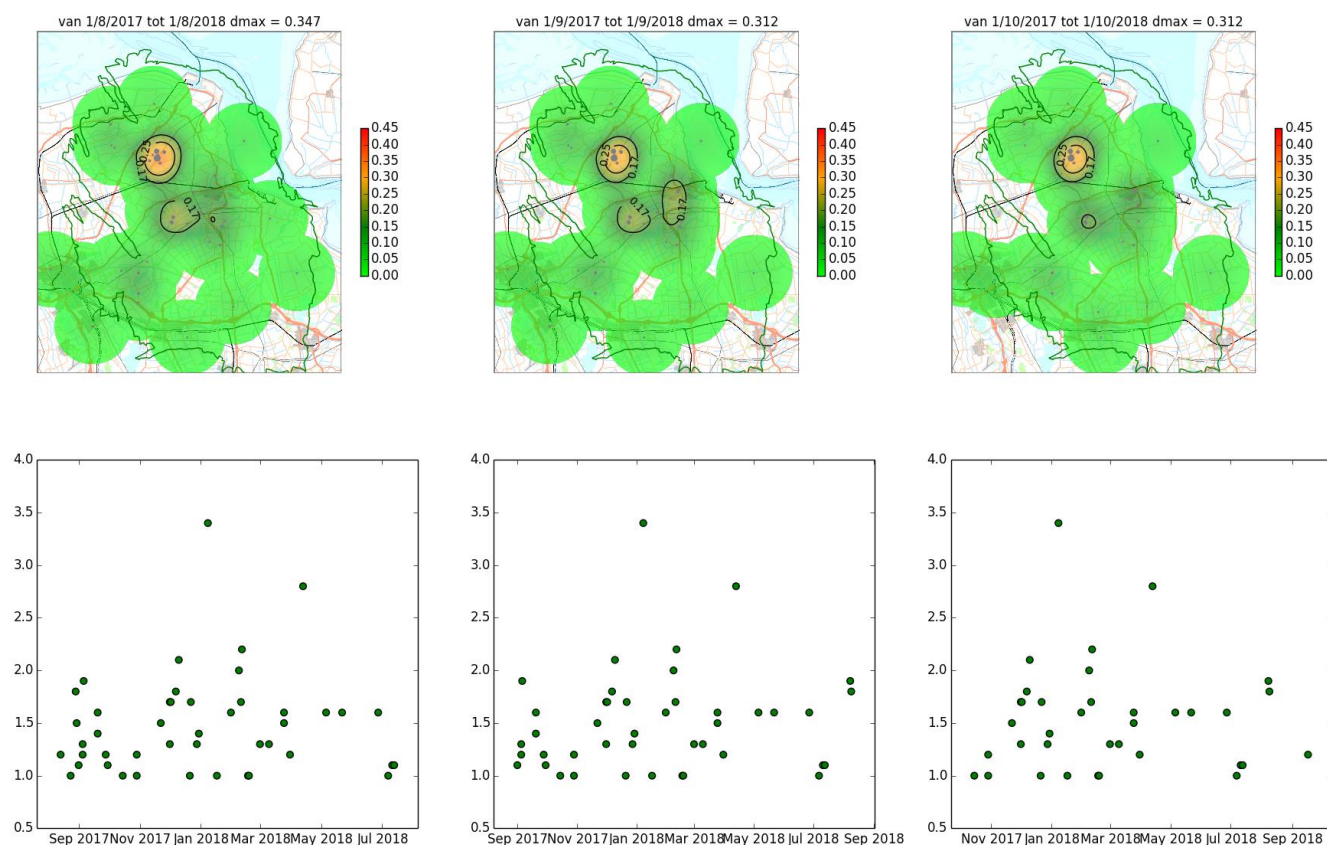


Figuur 3: 12-maandsgetallen voor vier magnitude-klassen; waarnemingen voor  $M \geq 1.0$  weergegeven vanaf 2015, de overige waarnemingen sinds 2000

## 5 Earthquake density – aardbevingsdichtheid

In Figuur 4 is een kaart opgenomen met daarop de aardbevingsdichtheid en de epicentra van de in de periode augustus 2017 tot oktober 2018 geregistreeerde aardbevingen. Op de aardbevingsdichtheidskaart wordt het aantal bevingen per vierkante kilometer getoond. Voor het berekenen van de aardbevings-dichtheid is de Quartic Kernel functie gebruikt zoals ook beschreven in het MRP. Alle geregistreeerde aardbevingen met een magnitude van  $M_L=1.0$  en hoger over de periode 1 oktober 2017 tot 1 oktober 2018 zijn opgenomen en de berekende aardbevingsdichtheid wordt getoond door middel van een kleurschaal. Te zien is een korte toename van aardbevingsdichtheid in de omgeving Appingedam. Momenteel ligt de aardbevingsdichtheid in het gehele veld onder de interventiewaarden en op de meeste plaatsen ook onder de signaleringswaarde. De verhoogde activiteit rond Appingedam lijkt opgehouden te zijn. In het noorden van Loppersum blijft de seismische activiteit hoger dan in de rest van het veld. De maximaal waargenomen aardbevingsdicht over de twaalf maanden voorafgaand aan 1 oktober ligt op 0.312 bevingen/km<sup>2</sup>/jaar en ligt daarmee op het niveau 'signalering'. Er zijn geen gebieden waarin over afgelopen jaar de gemeten waarden binnen het 'interventie'-niveau vielen. De geobserveerde aardbevingsdichtheid is geen reden geweest voor het opstellen van een additionele tussentijdse rapportage.

Aardbevings dichtheid in bevingen/km<sup>2</sup>/jaar ( $M \geq 1.0$ )



*Figuur 4: Aardbevingsdichtheid-kaarten voor bevingen met een magnitude  $M_L \geq 1.0$ . Weergegeven op de bovenste rij van links naar rechts: aardbevingsdichtheid waargenomen in de twaalf maanden voorafgaand aan 1 augustus, 1 september en 1 oktober 2018 respectievelijk. Onderste rij: Plots van waargenomen aardbevingen met magnitude over diezelfde perioden.*

## 6 “Peak-ground-acceleration” – maximale grondversnelling

### 6.1 Definitie en herkomst PGA-data

De signaalparameter voor de door aardbevingen veroorzaakte grondbeweging is de grondversnelling (PGA of Peak Ground Acceleration). De PGA wordt uitgedrukt als fractie van de valversnelling, en wordt gemeten in drie richtingen, twee horizontale en één verticale richting. De hoogste door KNMI gemeten waarde in één van de horizontale richtingen wordt gebruikt als signaalparameter, KNMI rapporteert PGA in  $\text{cm/s}^2$ . Het MRP hanteert “g” als eenheid. Een waarde van 1 g komt overeen met grofweg  $981 \text{ cm/s}^2$ .

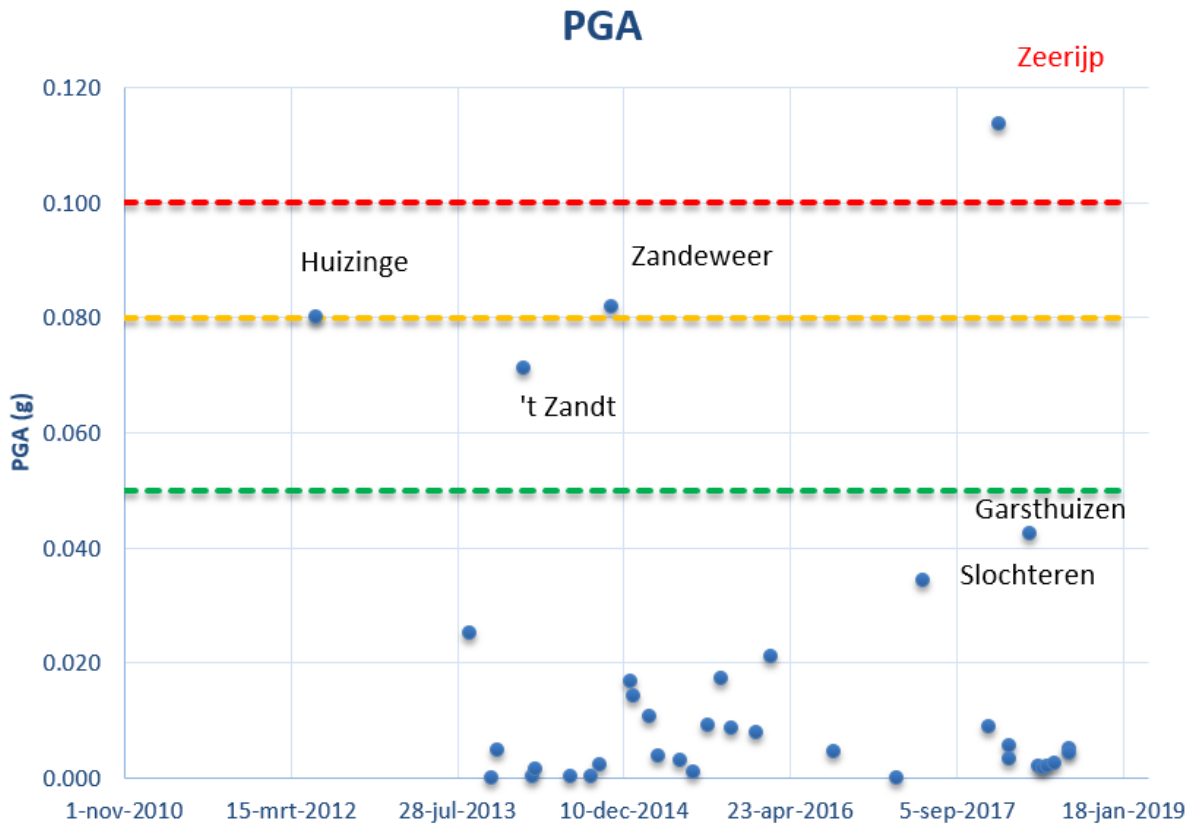
### 6.2 PGA de afgelopen 12 maanden en historie

In Tabel 3 is een overzicht opgenomen van de gemeten grondversnelling van de alle aardbevingen met een magnitude van  $M_L \geq 2.0$  of meer gemeten in de periode oktober 2017 tot oktober 2018. De hoogst door het KNMI-metnetwerk gemeten grondversnelling in deze periode was 0.11 g, gemeten bij de aardbeving bij Zeerijp door een KNMI-metstation op 8 januari 2018. Het meetstation bevindt zich op 2.5 kilometer van het epicentrum.

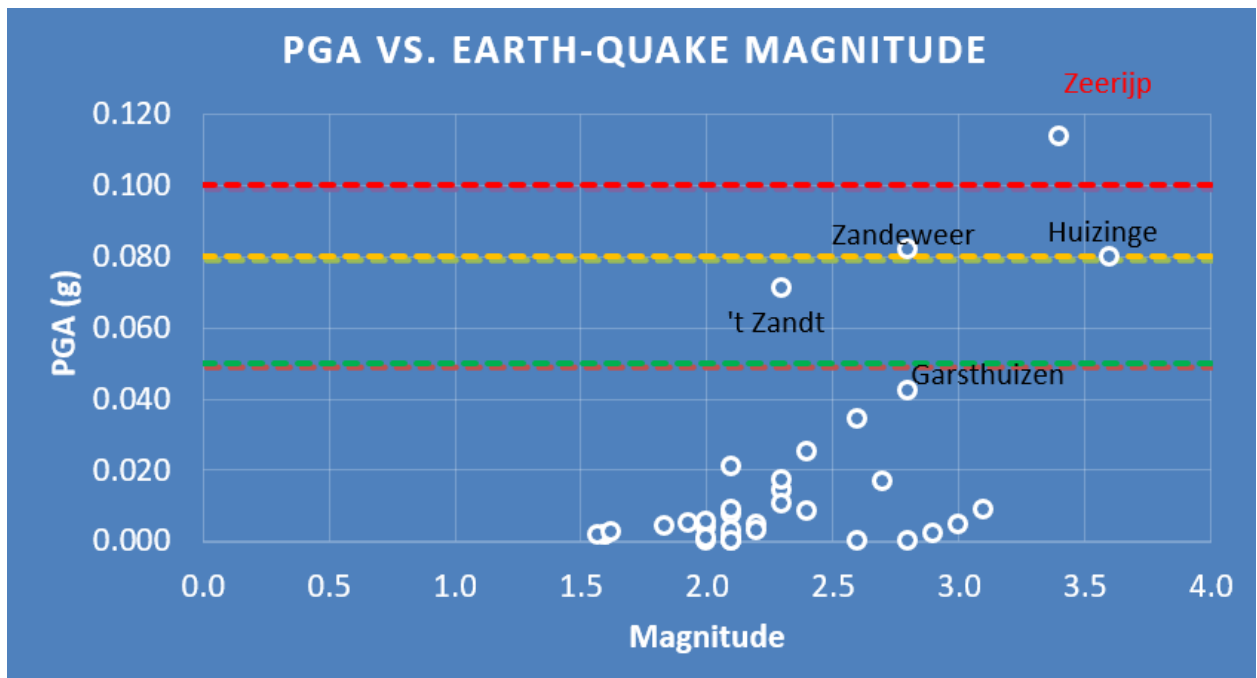
Tabel 3: Grondversnelling horend bij de bevingen van het afgelopen jaar ( $M \geq 2$ )

Location	Date	Magnitude ( $M_L$ )	Peak Ground Acceleration / PGA (g)	Epicentral Distance (km)
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

Figuur 5 toont de piek-grondversnelling (“PGA”) zoals gemeten sinds 2012. De bevingen zijn in het afgelopen half jaar beneden het “waakzaamheids-niveau” van PGA gebleven. Figuur 6 laat de relatie zien tussen gemeten PGA en aardbevings-magnitude. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de PGA ten opzichte van de magnitude geen abnormaal patroon laten zien, daarmee geen reden voor het opstellen van een additionele tussentijdse rapportage.



Figuur 5: Gemeten maximum PGA over tijd voor bevingen met een magnitude  $M_L \geq 1.5$



Figuur 6: Gemeten maximum PGA uitgezet tegen magnitude



## 7 Peak ground-velocity

### 7.1 Definitie en herkomst PGV-data

De PGV-metgrootheid is opgenomen in het MRP 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 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 sensoren meten maximumsnelheid ( $V_{top}$ ) in millimeter per seconde (mm/s).

### 7.2 PGV de afgelopen 12 maanden en historie

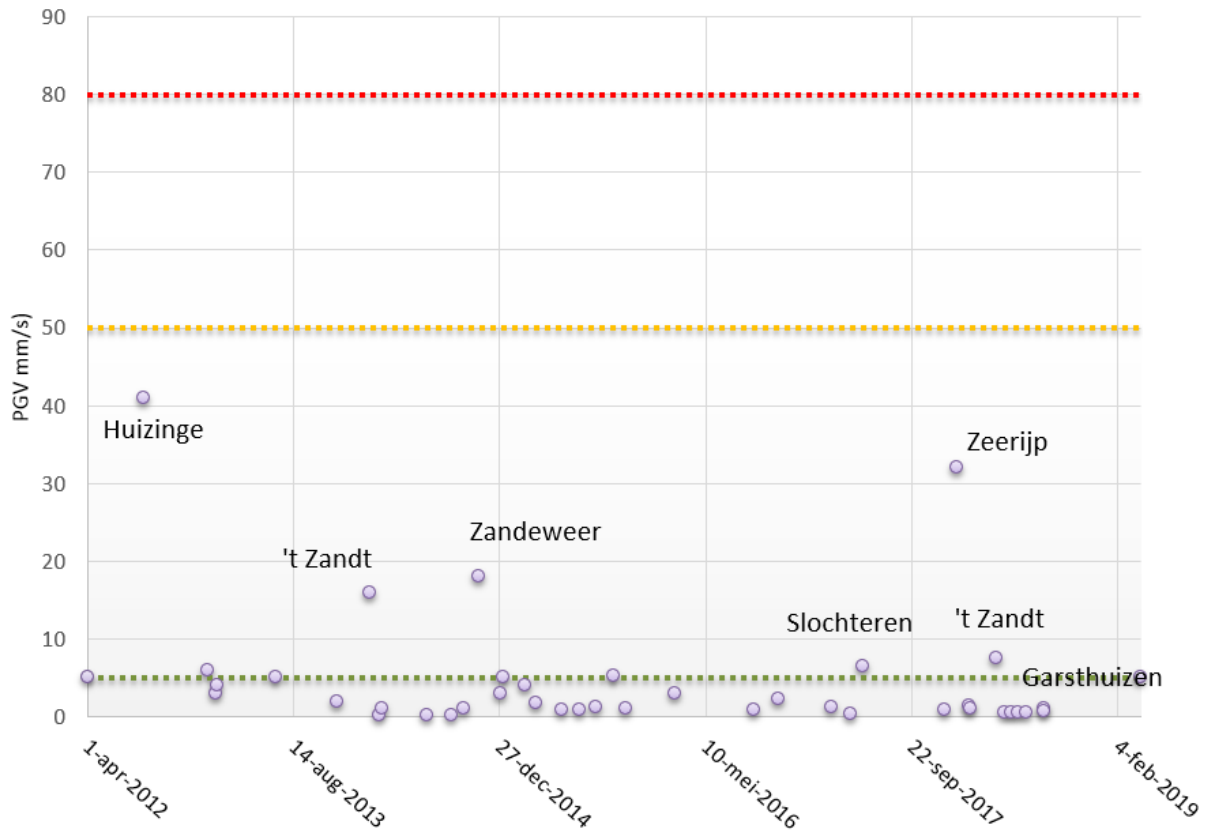
De maximale gemeten gebouwsensoruitslag lag op 32.0 mm/s, geassocieerd met de beving ( $M_L=3.4$ ) van 8 januari bij Zeerijp. Dit was ruim de hoogst gemeten PGV het afgelopen jaar (zie Tabel 4).

*Tabel 4: Maximale piekgrondsnelheid horend bij de aardbevingen met een magnitude  $\geq 2.0$  van het afgelopen jaar.*

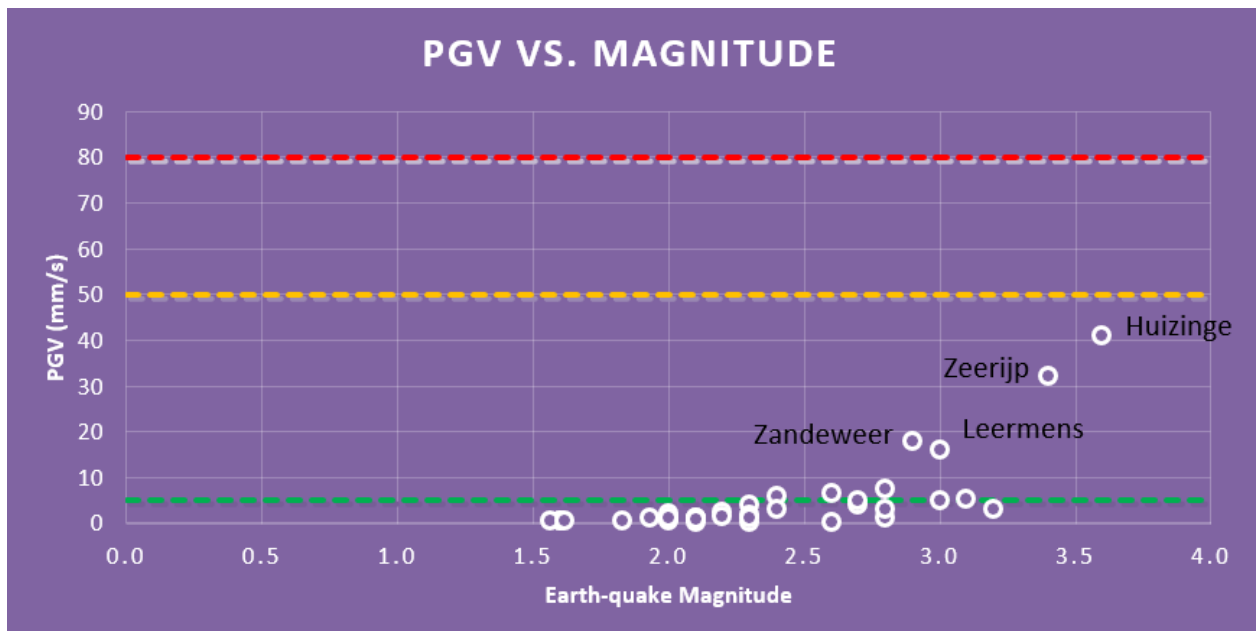
Location	Date	Magnitude $M_L$	Peak Ground Velocity / PGV (mm/s)
t Zandt	10-dec-2017	2.1	0.9
Zeerijp	8-jan-2018	3.4	32.0
Loppersum	8-feb-2018	2.0	1.4
Garrelsweer	11-feb-2018	2.2	1.0
Garsthuizen	13-apr-2018	2.8	7.6

Figuur 7 en Figuur 8 tonen de piek-grondsnelheid (“PGV”) zoals berekend uit data sinds 2012. De beving in Zeerijp gaf de hoogste PGV afgelopen jaar. De gemeten waarden van PGV hebben nog nooit de drempelwaarde van niveau ‘Signalering’ overschreden en afgelopen halfjaar is ook de drempelwaarde horend bij niveau ‘Waakzaamheid’ niet overschreden. De geobserveerde grondsnelheden zijn geen reden geweest voor het opstellen van een additionele rapportage.

### PGV (voor bevingen $M \geq 2.0$ )



Figuur 7: Maximale PGV voor bevingen met een magnitude  $M_L \geq 2.0$  over tijd



Figuur 8: Maximale PGV uitgezet tegen magnitude van de beving

## 8 Damage-state: schade-ontwikkeling

De schade-ontwikkeling is voorheen gemonitord aan de hand van de monitorings-parameter "Damage-state". Door te bepalen wat daadwerkelijk opgetreden "Damage-states" zijn is gemonitord of zich geen schadebeelden voor deden die ernstiger zijn dan wat wordt verwacht bij aardbevingen met een bepaalde magnitude (en PGV). Om over Damage-states te kunnen rapporteren is accurate en actuele informatie benodigd met betrekking tot gemelde (nieuwe) schades. Vanaf 19 maart 2017 wordt schade afgehandeld door de Tijdelijke Commissie Mijnbouwschade. Nu NAM niet langer betrokken is in de schadeafhandeling, wordt over deze parameter niet langer gerapporteerd in dit rapport.

## 9 Andere patronen

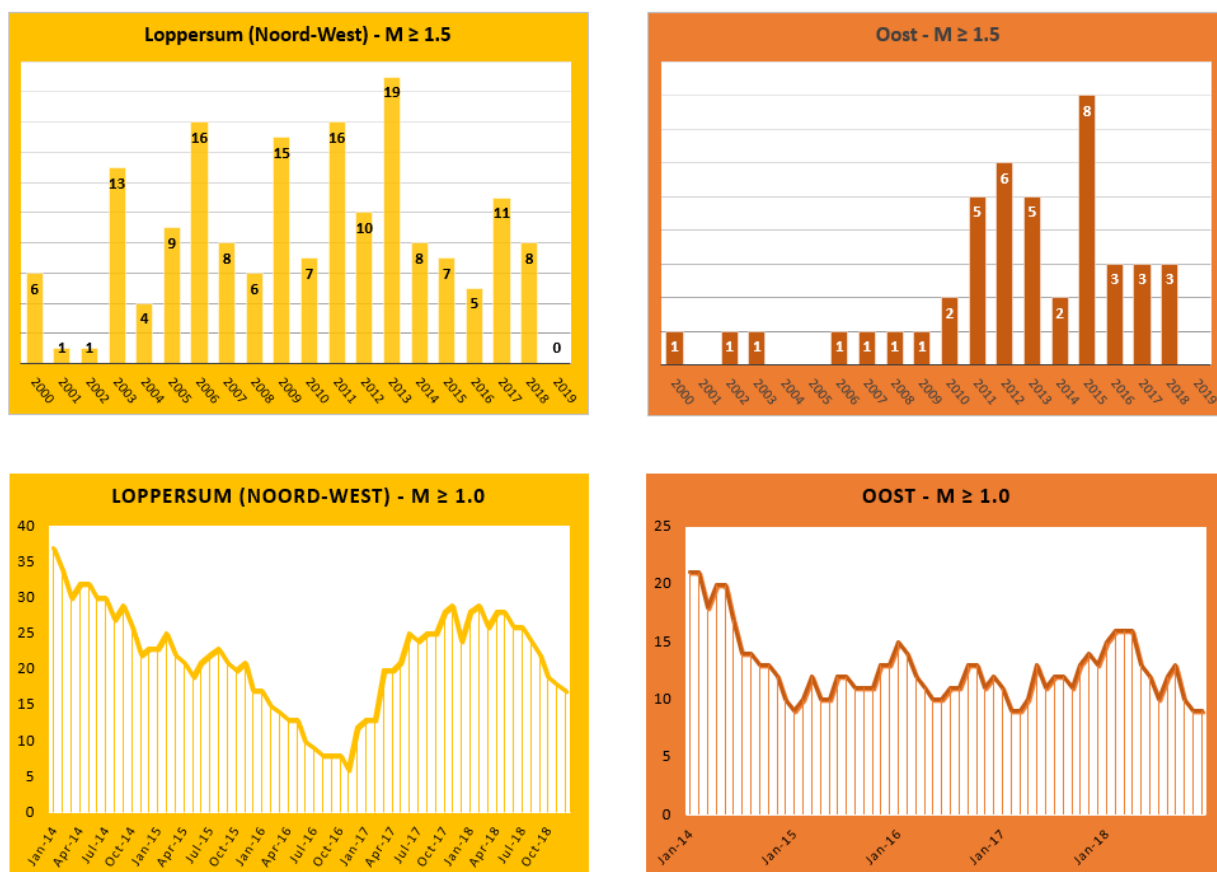
Een ander element van het MRP is het volgen van trends en patronen in de volgende typen data, de beschouwde patronen betreffen:

1. Regionale verschillen
2. Veranderingen in verhoudingen kleine/grote bevingen (b-factor Gutenberg-Richter)
3. Hypo-centra (sterke oplijning 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. Geconcludeerd is dat er geen anomale PGV of PGA is waargenomen. De andere drie worden hieronder besproken.

### 9.1 Ontwikkeling per regio

Figuur 9 laat de seismische ontwikkeling zien van twee regio's in het Groningen veld. De beschouwde gebieden zijn "Oost" en "Noordwest" (gebied rond Loppersum). In de 12-maandsgetallen is een duidelijk neergaande trend zichtbaar gedurende 2018.



Figuur 9: Vergelijking seismische ontwikkeling "Noordwest" (Loppersum) en "Oost". Weergegeven zijn het aantal aardbevingen per jaar (bovenste panelen) en het 12-maandsgetal (onderste panelen)

## 9.2 Verband productie en seismiciteit per regio

In welke mate de over een korte periode waargenomen variaties in de seismische monitorings parameters een gevolg zijn van de wijze van opereren, van de lagere geproduceerde volumes of van de natuurlijke variabiliteit in seismiciteit is niet direct vast te stellen. Er zijn modellen opgesteld waarmee seismische dreiging en risico kunnen worden geanalyseerd, meer informatie hierover kan gevonden worden in verschillende rapporten die van de NAM-site te downloaden zijn [4].

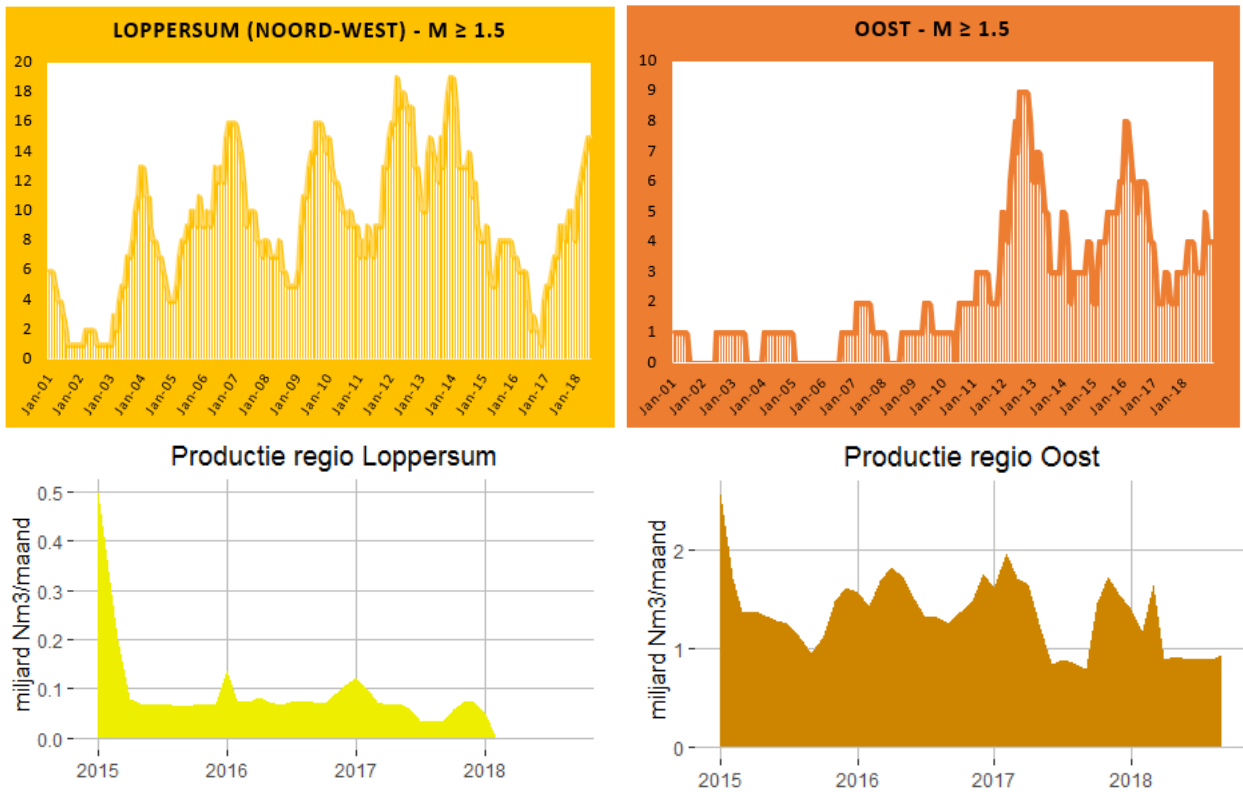
Het Groningenveld is onderverdeeld in een aantal regio's, in elke regio vallen een of meer productielocaties of clusters, de clusterverdeling per regio is gegeven in Tabel 5. Hierna wordt verder ingegaan op de productiedata en de waargenomen seismiciteit per regio.

Tabel 5: Regioverdeling clusters

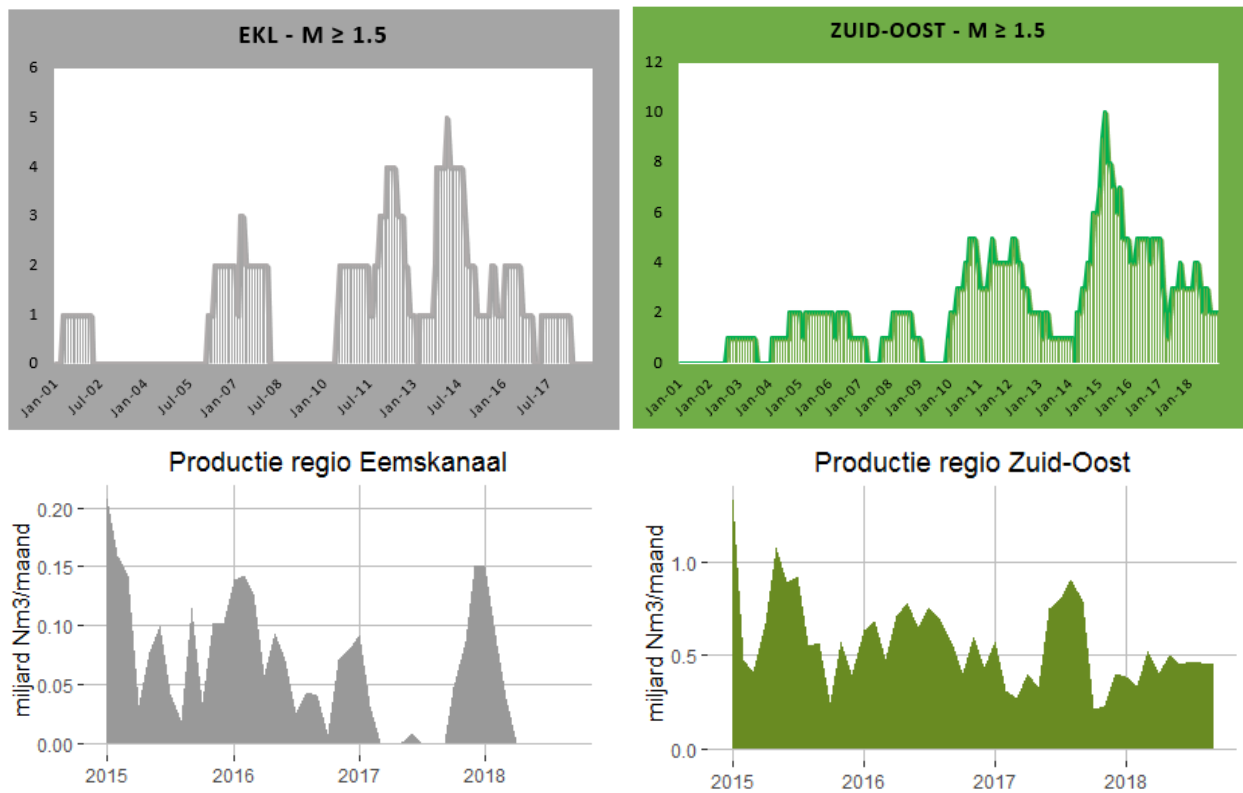
Regio	Cluster / Satelliet	Regio	Cluster / Satelliet
Eemskanaal	Eemskanaal	Oost	Amsweer
Noord-West	Leermens		Bierum
(rond Loppersum)	Overschild		De Eeker
	De Paauwen		Oudeweg
	Ten Post		Schaapbulten
	't Zandt		Scheemderzwaag
Zuid-Oost	Froombosch		Siddeburen
	Kooipolder		Tjuchem
	Sappemeer		Zuiderpolder
	Slochteren		
	Spitsbergen		
	Tusschenklappen		
	Zuiderveen		

De productiegetallen en 12-maandsgetallen voor de regio's Noord-West en Oost zijn weergegeven in Figuur 10. Hoewel de productie vanuit Loppersum al enige tijd stil ligt is de seismiciteit toegenomen. Dit is een gevolg van daling van reservoirdruk in de regio Loppersum, door herverdeling van de reservoirdruk als gevolg van productie uit andere delen van het reservoir. In Figuur 12 is weergegeven dat de druk in de regio rond Loppersum daalt, ook bij verminderde en zelfs stilliggende productie vanuit deze regio. De 12-maandsgetallen vanuit regio Oost lijken relatief stabiel rond de 3 te liggen het afgelopen jaar. De productie blijft redelijk stabiel met waarden rond de 1 BCM per maand in de zomer en waarden rond 1.5 BCM in de winter.

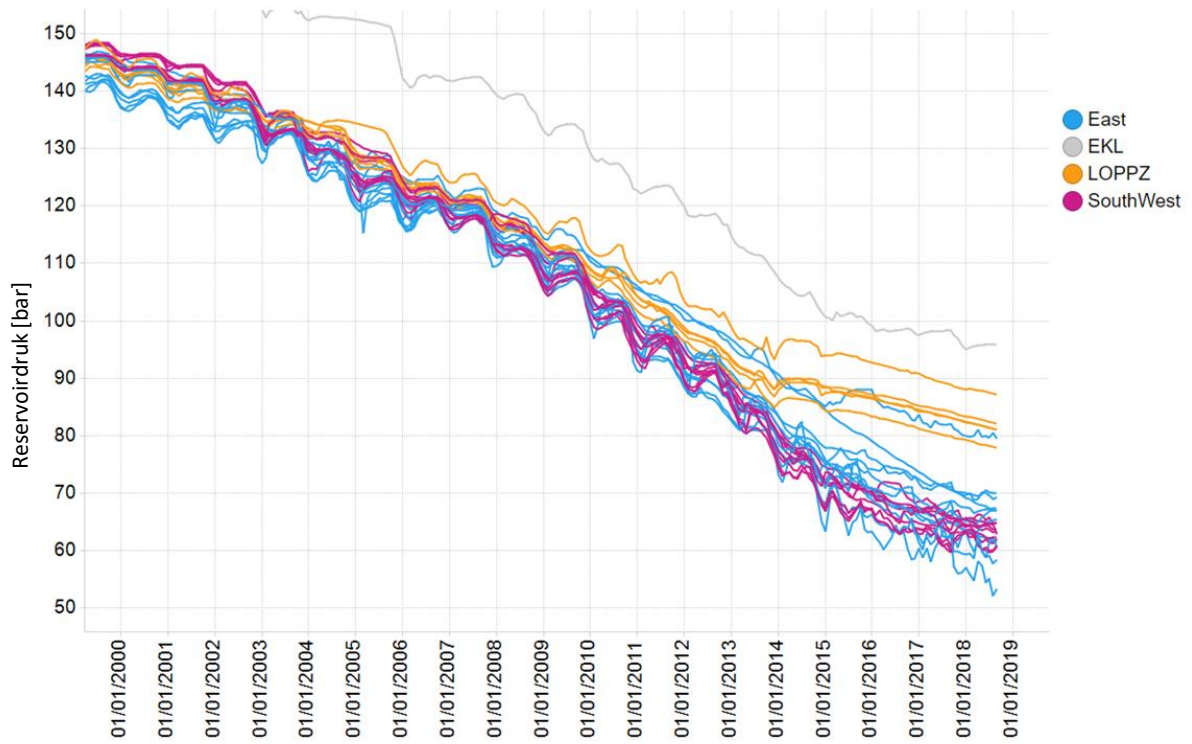
De productiegetallen en 12-maandsgetallen voor de regio's Eemskanaal en Zuid-Oost zijn weergegeven in Figuur 11. In de regio Eemskanaal is de seismiciteit afgenomen en heeft sinds maart 2017 geen beving meer plaatsgevonden met een magnitude boven de  $M_L = 1.5$ . In de regio Zuid-Oost lijkt de seismiciteit afgelopen jaar stabiel rond een twaalfmaandsgetal van 3 te blijven en fluctueert de productie weinig.



Figuur 10: Vier grafieken van het 12-maandsgetal voor bevingen met een magnitude  $M_L \geq 1.5$  en productiecijfers in miljarden  $Nm^3$  per maand voor de regio's Loppersum (Noord-West) en Oost



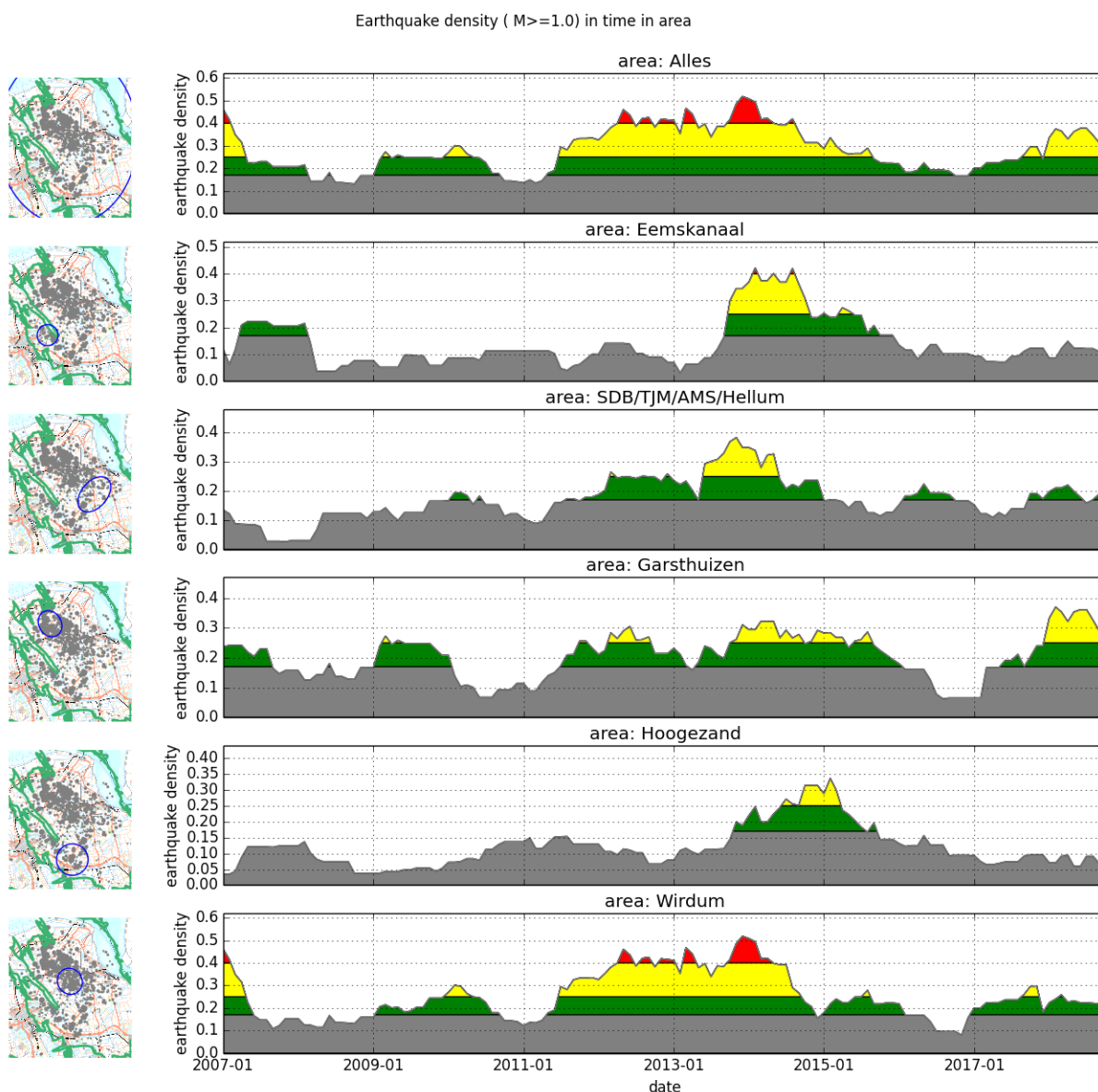
Figuur 11: Vier grafieken van het 12-maandsgetal voor bevingen met een magnitude  $M_L \geq 1.5$  en productiecijfers in miljarden  $Nm^3$  per maand voor de regio's Eemskanaal en Zuid-Oost



Figuur 12: Reservoir druksdaling in Groninger gasveld op basis van het gekalibreerde Groningen reservoirmodel. Merk op dat de druk in de regio Loppersum (LOPPZ) ook bij verminderde en stilgelegde productie daalt.

### 9.3 Ontwikkeling aardbevingsdichtheid over tijd

De aardbevingsdichtheid uitgezet tegen de tijd is gegeven in Figuur 13. Wat aardbevingsdichtheid betreft is de situatie rustiger geworden sinds de periode van grofweg 2012 tot 2014. Iets om in de gaten te houden is wel dat de aardbevingsdichtheid in het gebied rond Garsthuizen, het noorden van Loppersum, de laatste tijd is toegenomen. Het insluiten van de clusters rond Loppersum zou mogelijk een positief effect te hebben, maar een direct verband is moeilijk te leggen. Sinds het insluiten van de Loppersumclusters is een neergaande trend zichtbaar rond Garsthuizen, al ligt de aardbevingsdichtheid nog wel boven het niveau van begin 2017. Op veldschaal ligt het niveau op 'Signalering', en ook in Garsthuizen wordt de interventiewaarde niet overschreden. In de overige beschouwde gebieden ligt de aardbevingsdichtheid rond of onder de ondergrens van het niveau waakzaamheid'.



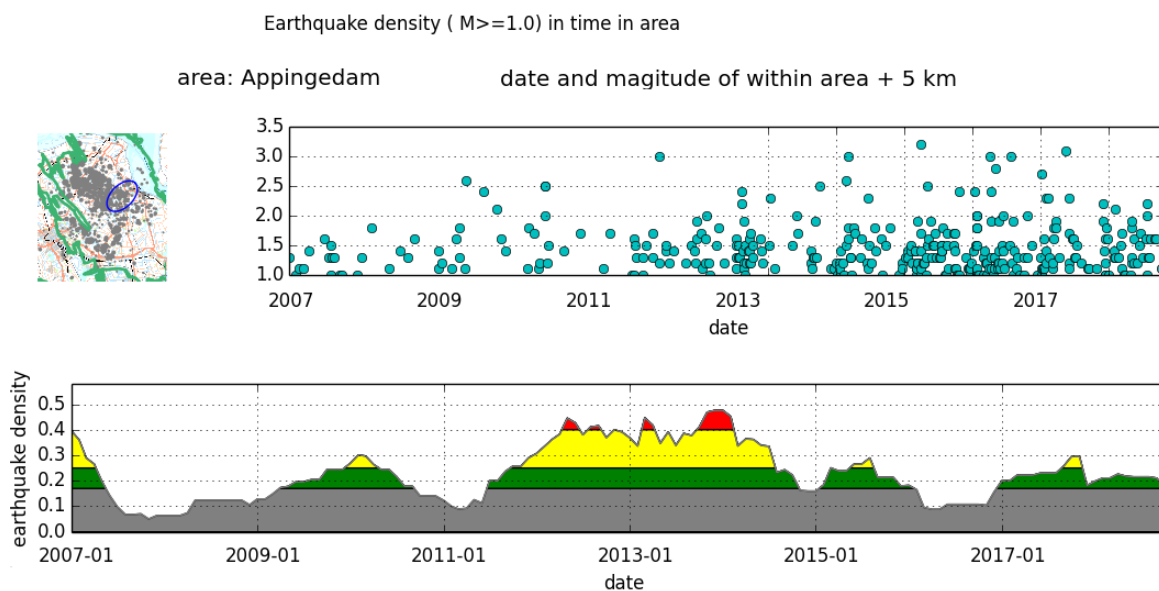
Figuur 13: De ontwikkeling van aardbevingsdichtheid over de jaren in het gehele Groninger veld en kleinere gebieden binnen het Groninger veld



## 9.4 Seismiciteit rond Appingedam

In augustus 2018 vonden twee seismische events plaats nabij Appingedam, de eerste met magnitude  $M_L=1.9$  (op 8 augustus) en een tweede met magnitude  $M_L=1.8$  (9 augustus). Dit is opvallend omdat dit de twee bevingen zijn met de hoogste magnitude geregistreerd in de afgelopen zes maanden, en dat deze bevingen binnen een dag van elkaar in hetzelfde gebied plaats vonden.

Wanneer de aardbevingsdichtheid, weergegeven in Figuur 14, van het gebied rond Appingedam geplot wordt valt op dat deze aardbevingen niet buiten de eerdere bandbreedte vallen en het aardbevingsdichtheidsniveau in deze regio bijna tot onder niveau 'waakzaamheid' valt. Mogelijk vallen de twee bevingen in Appingedam extra op omdat (1) het in de rest van het veld relatief rustig is qua seismische events en (2) er sinds de beving bij Garsthuizen ( $M_L=2.8$ ) in april 2018 acht bevingen met een magnitude  $M_L \geq 1.0$  geweest. Ter vergelijking, in dezelfde tijdsspanne voor de beving bij Garsthuizen waren er 23 bevingen met een magnitude  $M_L \geq 1.0$ .



Figuur 14: Aardbevingsdichtheid over tijd en aantal aardbevingen in Appingedam

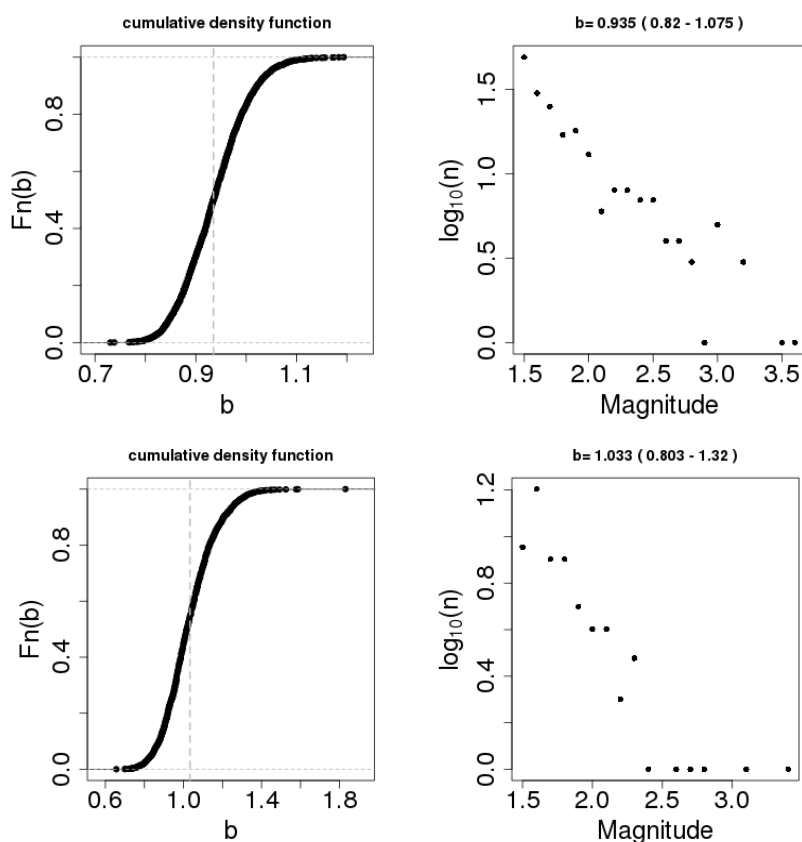
## 9.5 Verhouding grote en kleine bevingen

De verhouding tussen grote en kleine bevingen wordt beschreven door Gutenberg-Richter) [5]. Figuur 15 geeft twee zogenaamde Gutenberg-Richter plots voor het veld weer. De b-waarden zijn gegeven in Tabel 6. Zichtbaar is dat over het hele veld de b-waarde over de periode vanaf 2015 licht lijkt te zijn toegenomen ten opzichte van de periode ervoor. Dit betekent dat de distributie van de magnitude van de aardbevingen veranderd zou zijn. Dit betekent dat de hoeveelheid bevingen met hogere magnitude in deze periode lager is geweest ten opzichte van het aantal bevingen met lagere magnitude. Door het lage aantal aardbevingen is onduidelijk of dit een daadwerkelijke trend is of dat dit slechts een statistische variatie zonder onderliggende fysieke grondslag betreft.

Tabel 6: Betrouwbaarheidsintervallen van verschillende b-waarden waargenomen over het hele Groninger veld

Totale gebied Groningen		
Percentiel van betrouwbaarheidsinterval	2000-2014	2015-2018*
P <sub>2.5%</sub>	0.82	0.80
P <sub>50%</sub>	0.94	1.03
P <sub>97.5%</sub>	1.08	1.32

\*2018 tot oktober



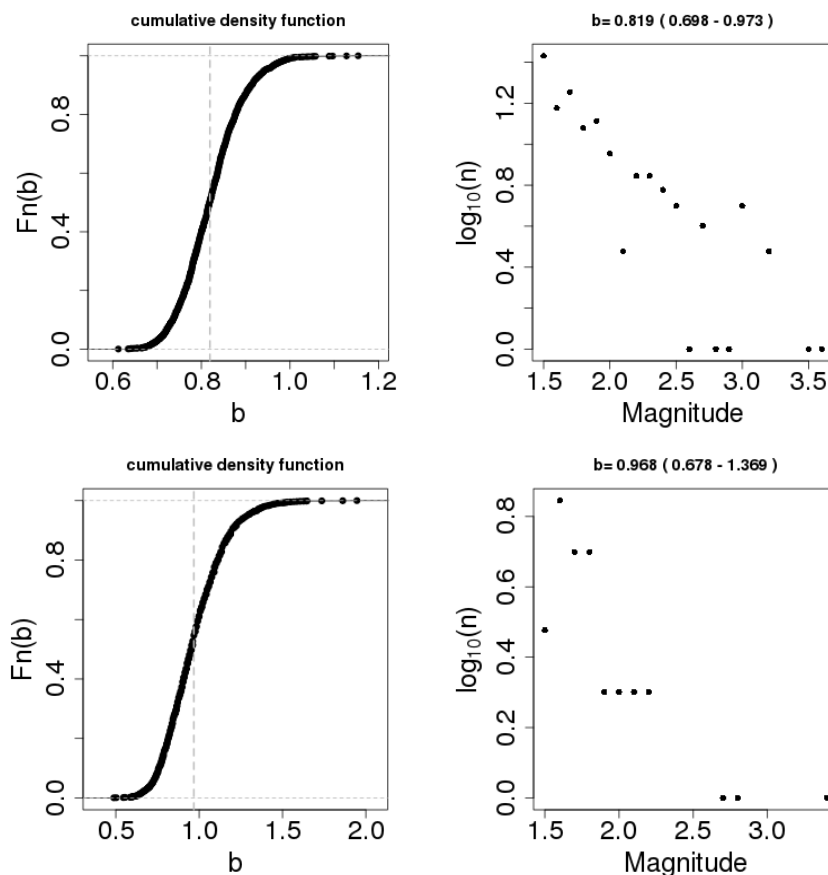
Figuur 15: Gutenberg Richter plots voor het hele Groningen veld. Bovenste panelen: Periode januari 2000-december 2014. Onderste panelen: periode januari 2015 tot oktober 2018

Figuur 19 geeft twee zogenaamde Gutenberg-Richter plots voor de omgeving van Loppersum weer. Het bovenste paneel laat de verhouding kleine en grote bevingen zien voor de periode tot 2015. Het onderste paneel voor de periode vanaf januari 2015 tot nu. In Tabel 7 zijn de b-waarden met hun betrouwbaarheidsintervallen weergegeven. Over allebei de beschouwde periodes zijn de b-waardes lager in Loppersum dan over het gemiddelde in het Groningen veld. In Loppersum is het aantal aardbevingen met grotere magnitude dus relatief groter ten opzichte van het aantal aardbevingen met lagere magnitude. De b-waarde lijkt toegenomen te zijn in de recente periode; de betrouwbaarheidsintervallen zijn dusdanig groot dat niet met zekerheid te zeggen is of dit ook werkelijk het geval is.

*Tabel 7: Betrouwbaarheidsintervallen van verschillende b-waarden waargenomen over het Loppersum gebied*

Gebied Loppersum		
Percentiel van betrouwbaarheidsinterval	2000-2014	2015-2018*
P <sub>2.5%</sub>	0.70	0.68
P <sub>50%</sub>	0.82	0.97
P <sub>97.5%</sub>	0.97	1.37

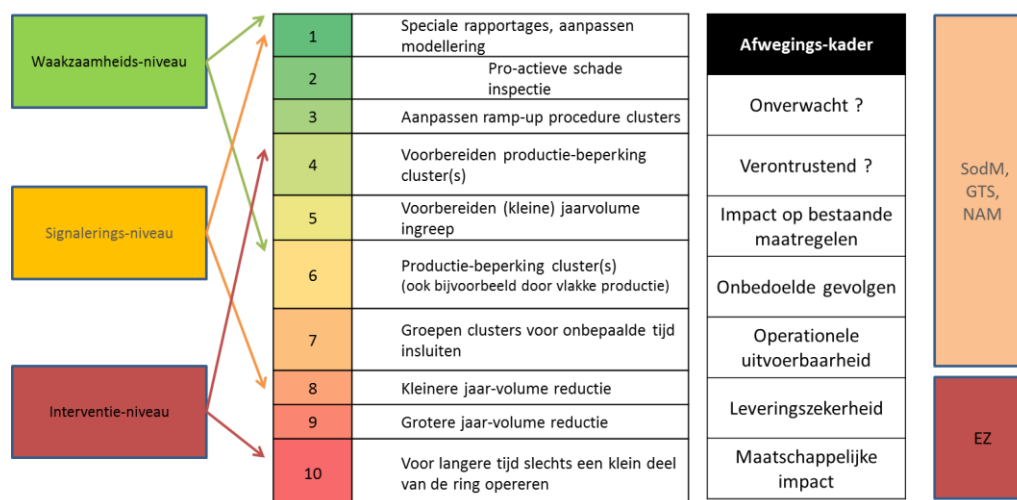
\*2018 tot Oktober



*Figuur 16: Gutenberg Richter plots voor de regio Noordwest (Loppersum gebied). Bovenste panelen: Periode januari 2000-december 2014. Onderste panelen: periode januari 2015 tot oktober 2018*

## 10 Maatregelen

De koppeling van maatregelen aan overschrijdingen van signaal-parameters is vastgelegd in het MRP (als weergegeven in Figuur 17) (NAM, 2017). Zoals eerder gesteld gaat NAM niet meer over de “regel” component van het MRP maar de Minister.



*Figuur 17: Diagram dat illustreert hoe overschrijdingen van de verschillende MRP niveaus gekoppeld worden aan te nemen maatregelen [2].*

In de afgelopen zes maanden heeft geen van de signaalparameters het interventieniveau bereikt. De EQ-density parameter staat op basis van het afgelopen half jaar op niveau ‘Signalering’ en PGV en Activity Rate staan op niveau ‘Waakzaamheid’. De waargenomen seismiciteit, maar ook de analyse van de trends van de signaalparameters geven geen reden om verdere maatregelen te overwegen. De effecten van de door de Minister ingezette productiedaling op waargenomen seismiciteit zullen nauwgezet gevolgd blijven worden.

## 11 Referenties

- [1] NAM, „aardbevingen,” 01 10 2018. [Online]. Available: <https://www.nam.nl/feiten-en-cijfers/aardbevingen>.
- [2] NAM, „Groningen Meet- en Regelprotocol,” 2017.
- [3] Jan van Elk, Assaf Mar-Or, Leendert Geurtsen, Per Valvatne, Eddy Kuperus, Dirk Doornhof „Seismic Risk Assessment for a selection of Gas Production Scenarios for the Groningen field,” 2018.
- [4] Jan van Elk, Dirk Doornhof, „Induced Seismicity in Groningen - Assessment of Hazard, Building Damage and Risk,” 2017.
- [5] Taco den Bezemer, Jan van Elk, „Special Report on the Zeerijp Earthquake – 8th January 2018,” 2018.
- [6] B. Gutenberg, C. F. Richter, „Magnitude and Energy of Earthquakes,” *Annali di Geofisica*, 1956.