





# Gasopslag Bergermeer Microseismische monitoring

## Jaarrapportage

2015

Het jaarverslag microseismisch monitoring van het Bergermeer veld geeft een overzicht van de activiteiten en resultaten over het rapportage jaar 2015 (1-okt-2014 tot en met 30-sep-2015). Maandelijks wordt de microseismiciteit gerapporteerd en geanalyseerd. Tot april 2015 werd de rapportage door het KNMI en Magnitude uitgevoerd, hierna is het voor een korte periode uitgevoerd door Magnitude. In juli 2015 is het nieuwe microseismisch monitoringsysteem in gebruik genomen en wordt de analyse uitgevoerd door ESG. Deze rapportages worden mede als basisgegevens voor dit rapport gebruikt. De resultaten van microseismisch monitoring vormen de basis voor het verkeerslicht veiligheidsmanagement systeem, zoals overeengekomen tussen TAQA en SodM.

Sign.	Datum	Sign.	Datum
	29-3-2016		19-4-2016
T.T. Scherpenhuijsen		W.J. Plug	
Author		Subsurface Manager	
<b>Prepared</b>		<b>Authorized</b>	



## INHOUD

In het jaarverslag worden de metingen en veranderingen van het voorgaande monitoring jaar (1-okt-2014 t/m 30-sep-2015) gerapporteerd. De locaties van de categorie-I trillingen worden op een kaart weergegeven (Figuur 1) en in een grafiek waarin de microseismische magnitudes gemeten gedurende het rapportagejaar tegen de tijd worden uitgezet (Figuur 2).

Er is een referentie rapport opgesteld waarin opstellingen en meetgegevens die over langere tijd constant of vrijwel constant zijn, staan vermeld. Het referentie rapport verstrekt achtergrond informatie die de maandelijkse en jaarlijkse verslaggeving ondersteunt. Lezers die niet bekend zijn met het referentierapport over microseismische monitoring in het Bergermeer veld wordt aangeraden eerst het referentierapport te lezen alvorens dit jaarverslag te raadplegen (Ref. 2).

## CONCLUSIES

- Het microseismisch monitoring systeem heeft gedurende het monitoring jaar (1-okt-2014 t/m 30-sep-2015) goed gewerkt.
- Sinds het begin van de metingen (inclusief de test in februari 2010) zijn 7 categorie-I trillingen gemeten (Tabel-1 en Fig. 1).
- In het monitoringsjaar is er één categorie I beving geregistreerd.
- Alle tot nu toe gemeten trillingen vallen ruim binnen de groene zone van het 'verkeerslicht veiligheids management systeem' (VMS; Ref. 1).
- De microseismische activiteit gedurende het rapportage jaar (25 waargenomen trillingen van 1-okt-2014 t/m 30-sep-2015) is afgenomen in vergelijking met het voorgaande jaar (123 waargenomen trillingen 1-okt-2013 t/m 30-sep-2014). Trillingen van ver buiten het veld worden niet in de rapportage over Bergermeer meegenomen, maar staan wel in de tabel in het referentie rapport.
- Aanpassing van de huidige gasopslag activiteiten is niet noodzakelijk.
- Op 11 januari 2015 is het microseismisch monitoringsysteem na onderhoud terug geplaatst in de put BGM-05. Na stabilisatie hebben de geofoons, vanaf 11 januari, naar behoren gefunctioneerd. Op 19 januari zijn de geofoons met een succesvol checkshot gekalibreerd.
- Op 4 juni 2015 zijn de geofoons uit BGM-5 verwijderd.
- Op 10 juli 2015 zijn nieuwe geofoons geplaatst in BGM-01.
- Vanaf 13 juli 2015 zijn de nieuwe geofoons werkzaam.
- In de week van 13 juli zijn de geofoons met meerdere checkshots gekalibreerd.

## MICROSEISMISCHE OBSERVATIES

Het Bergermeer gasveld wordt continue gemonitord met betrekking tot het voorkomen van microseismische activiteiten. Maandelijks wordt de microseismiciteit gerapporteerd en geanalyseerd. Tot april 2015 werd de rapportage door het KNMI en Magnitude uitgevoerd, hierna is het voor een korte periode overgenomen door Magnitude. In juli 2015 is het nieuwe microseismisch monitoring systeem in gebruik genomen en wordt de analyse uitgevoerd door ESG. De rapportages van KNMI, Magnitude en ESG worden mede als basisgegevens voor dit rapport gebruikt. De resultaten van microseismisch monitoring vormen de basis voor het verkeerslicht veiligheidsmanagement systeem, zoals overeengekomen tussen TAQA en SodM.

Document ECM number	Revisie datum	Pagina
TEN_DM-#176721-v1a	29-3-2016	2 van 7



Sinds september 2014 zijn 25 microseismische trillingen waargenomen, in het voorgaande rapportagejaar waren dit 123 microseismische trillingen. Er zijn sinds het begin van de metingen geen trillingen gemeten met een magnitude die gelijk is aan of groter dan  $M \geq 1.5$ .

6 trillingen werden geregistreerd met een magnitude  $> -1.4$  in de nabijheid van het Bergermeer veld (Categorie II). 3 trillingen werden geregistreerd met een magnitude  $< -1.4$  in het reservoir (Categorie III). 13 trillingen werden geregistreerd met een magnitude  $< -1.4$  boven het reservoir (Categorie III). 2 trillingen werden geregistreerd met een magnitude  $< -1.4$  onder het reservoir (Categorie III).

## GEGEVENS EN INTERPRETATIES

De vermelde gemiddelde reservoirdrukken in deze rapportage ( $P_{\text{average}}$ ) zijn gebaseerd op de drukken van twee putten, een put in block 1 en een put in block 2, die voor korte tijd zijn ingesloten. Uit recente metingen is waargenomen dat het veld zich op korte tijdschaal, de periode waarin deze putten ingesloten zijn, niet stabiliseert. De drukken zoals weergegeven in Tabel 1, Figuur 2 en Figuur 3 zullen ten tijde van injectie een overschatting zijn van de gemiddelde blokdrukken. Het tegenovergestelde geldt voor de productieperiode.

Deze drukken en het drukverschil tussen beide reservoirblokken ten tijde van waargenomen categorie I trillingen staan in Tabel 1. Het recente gebruik van meerdere putten in beide reservoir blokken maakt nauwkeuriger reservoir management mogelijk, wat heeft geresulteerd in het verder afnemen van het drukverschil over de centrale breuk van 4.5 bara in september 2014 naar ongeveer 1 bara in september 2014. Het verloop van de gemiddelde reservoir druk en het drukverschil over de centrale breuk en de microseismische activiteit zijn in Figuur 2 en Figuur 3 weergegeven.

Het tot nu toe gemeten ruisniveau maakt registratie van zeer zwakke microseismische trillingen mogelijk ( $M \geq -3.0$ ) (Referentierapport Fig. 9). De signaal/ruis verhouding varieert uiteraard met de sterkte van het gemeten signaal. Voor alle waargenomen trillingen geldt, dat de plaatsbepaling beperkt is door een betrekkelijk grote onzekerheid, in de orde van vele tientallen tot enige honderden meters horizontaal en tot ongeveer het dubbele hiervan verticaal. Sinds het nieuwe microseismisch monitoring systeem operationeel is, is de positie bepaling van de trillingen sterk verbeterd (zie paragraaf Het Nieuwe Microseismisch Monitoring systeem). De plaatsbepaling zoals die nu toegepast wordt is een combinatie van de meest waarschijnlijke berekende locatie en geologische elementen in de buurt van de berekende locatie. Van een waarneming die in de buurt van de centrale breuk lijkt te liggen wordt aangenomen dat de meest waarschijnlijke situatie is dat de trilling inderdaad met de breuk te maken heeft, ook al is dat op basis van uitsluitend de meetnauwkeurigheid niet met zekerheid vast te stellen.

Er is nog geen statistisch verantwoorde correlatie te leggen tussen microseismische activiteit en gasinjectie. De waarnemingen bevestigen echter een correlatie van verminderde microseismische activiteit in het reservoir met verhoogde reservoir druk en of een lager drukverschil over de centrale breuk.

Trillingen met  $M < 1.5$  worden als microseismische trillingen beschouwd, omdat trillingen pas vanaf  $M = 1.5$  geregistreerd worden door geofoons aan de oppervlakte. Voor kleine magnitudes ( $M < 1.5$ ) is een gefoon in de nabijheid van het reservoir nodig, zoals de geofoons in BGM-5 en BGM-1.

Document ECM number	Revisie datum	Pagina
TEN_DM-#176721-v1a	29-3-2016	3 van 7



Volg nr.	Datum (dd/mm/yyyy)	Tijd (uu:mm:ss)	X(m)	Y(m)	Z(m)	Magn.	Afstand (m)	<sup>1</sup> P <sub>res.lokaal</sub> (bara)	ΔP <sub>breuk</sub> (bara)
<b>Categorie-I trillingen met een magnitude &gt;-1.4 en geassocieerd worden met de centrale breuk</b>									
11	04/09/2010	08:21:31	109504	518104	-1948	-1.11	1125	37	13
19	12/12/2010	15:17:08	109129	518317	-1992	-0.17	799	43	20
72	14/09/2011	14:06:01	109109	518672	-2223	-0.98	445	55	32
145	09/11/2011	05:09:54	109349	518173	-1855	-0.73	1022	59	35
207	29/03/2012	09:22:52	108988	518997	-2190	-0.84	115	69	40
227	06/03/2013	11:25:26	109369	517690	-2000	0.70	1076	69	32
380	25/05/2015	11:08:35	109210	518019	-2589	-1	861	102	1

**Tabel 1 . KNMI en ESG interpretatie van microseismische categorie I trillingen**

### **Categorie-I: Trillingen met een magnitude >-1.4 en geassocieerd worden met de centrale breuk**

Trillingen die sterk genoeg zijn ( $M > -1.4$ ) om langs de gehele lengte van de centrale Bergermeer breuk waargenomen te kunnen worden en zich ook in de buurt van de breuk gemanifesteerd hebben. Alle 360 tot nu toe waargenomen trillingen van alle categorieën, zijn te vinden in Tabel 1 van het referentie rapport (Ref. 2).

### **Categorie-II: Trillingen in de nabijheid van het Bergermeer veld met een magnitude van >-1.4 en niet geassocieerd worden met de centrale breuk**

Trillingen die sterk genoeg zijn ( $M > -1.4$ ) om langs de gehele lengte van de centrale Bergermeer breuk waargenomen te kunnen worden, maar die buiten het Bergermeer veld liggen of duidelijk niet met de centrale breuk geassocieerd zijn.

### **Categorie-III: Uitsluitend dicht bij de observatie put waarneembare trillingen.**

Trillingen die te zwak zijn om langs de gehele lengte van de centrale breuk waargenomen te kunnen worden ( $M \leq -1.4$ ). Deze categorie trillingen vormt voornamelijk een cluster rond de observatieput. De locaties van dergelijke trillingen zijn daarom niet representatief voor de gehele breuk.

## **SPECIALE WAARNEMINGEN EN WERKZAAMHEDEN**

Op 11 januari 2015 is het microseismisch monitoring systeem na onderhoud terug geplaatst in de put BGM-05. Na stabilisatie hebben de gefoons, vanaf 11 januari, naar behoren gefunctioneerd. Op 19 januari zijn de gefoons met een succesvol checkshot gekalibreerd.

Op 4 juni 2015 zijn de gefoons uit BGM-5 verwijderd en op 10 juli 2015 zijn nieuwe gefoons geplaatst in BGM-01, vanaf 13 juli 2015 zijn de nieuwe gefoons werkzaam. in de week van 13 juli zijn de gefoons met meerdere checkshots gekalibreerd.

## **HET NIEUWE MICROSEISMISCH MONITORINGS SYSTEEM**

Een van de voorwaarden om Gas Storage Bergermeer te kunnen realiseren is dat de puttenlocatie zo min mogelijk impact mag hebben op het landschap. Dit houdt in dat er getracht moet worden om zo min mogelijk gebouwen of voorwerpen boven het maaiveld te laten uitsteken. Op het puttenhoofd van BGM-05, waar de gefoons in geplaatst waren, was een lubricator geplaatst. Deze lubricator had als functie om de put op een juiste manier af te sluiten. Nu de booractiviteiten ten einde zijn gekomen, moet deze lubricator plaats maken voor een systeem dat niet boven het maaiveld uitsteekt. Om dit kunnen realiseren heeft TAQA ervoor gekozen om van BGM-01 om te

<sup>1</sup> Deze druk is gebaseerd op lokale drukmetingen in de putten en geldt niet als gemiddelde reservoirdruk

Document ECM number	Revisie datum	Pagina
TEN_DM-#176721-v1a	29-3-2016	4 van 7



bouwen tot een microseismische observatieput. De put werd zo ontworpen dat er geen lubricator nodig is om de put af te sluiten. Ook werd de put zo ontworpen dat de put optimaal geschikt is voor microseismisch monitoren. De nieuwe observatieput heeft twee grote voordelen. Ten eerste kunnen de geofoons over een diepte interval van 500m worden opgehangen. Dit heeft als voordeel dat de microseismische activiteit veel beter geanalyseerd kan worden. Plaats en magnitude van de activiteiten kunnen zo met veel meer zekerheid bepaald worden. Ten tweede heeft de put een gunstigere locatie ten opzichte van de centrale breuk in vergelijking met BGM-05.

Op 10 juli is het nieuwe systeem geïnstalleerd en sinds 13 juli operationeel. In de week van 13 juli is het systeem met meerdere checkshots vanuit een naburige put (BGM-06A) op verschillende dieptes gekalibreerd.

Level	X (m)	Y (m)	Z (m, tvd)	Well incl. (°)	Well Az (N to E°)
1	109868.3	517972.7	2044.13	29.68	150.51
2	109870.7	517968.4	2052.83	29.45	150.58
3	109873.1	517964.1	2061.55	29.21	150.66
4	109875.5	517959.9	2070.30	28.98	150.74
5	109877.9	517955.7	2079.06	28.75	150.82
6	109880.2	517951.5	2087.85	28.52	150.89

**Tabel 2 Coördinaten van de gefoon locaties in BGM-05 (Taqa\_MAG140109 oriëntation report, 28-02-14).**

Level	X (m)	Y (m)	Z (m, tvd)
1	109661.60	518354.39	1278
2	109662.51	518354.47	1370
3	109659.24	518351.03	1460
4	109655.36	518346.69	1576
5	109652.50	518343.50	1667
6	109649.66	518339.80	1764

**Tabel 3 Coördinaten van de gefoon locaties vanaf juli 2015 in BGM-01. BGM-01 is een verticale put, daarom geen inclinatie en azimut gerapporteerd**

## REFERENTIES

Ref.1:

Plan van maatregelen tot voorkoming of beperking van bodembewegingen gebaseerd op microseismische monitoring bij de gasopslag in het Bergermeer veld. (ECM 78519)

Ref. 2:

Referentierapport microseismisch monitoring Bergermeer gasopslag. (TAQA Energy Nederland, juli 2012; ECM 79398).

Ref. 3:

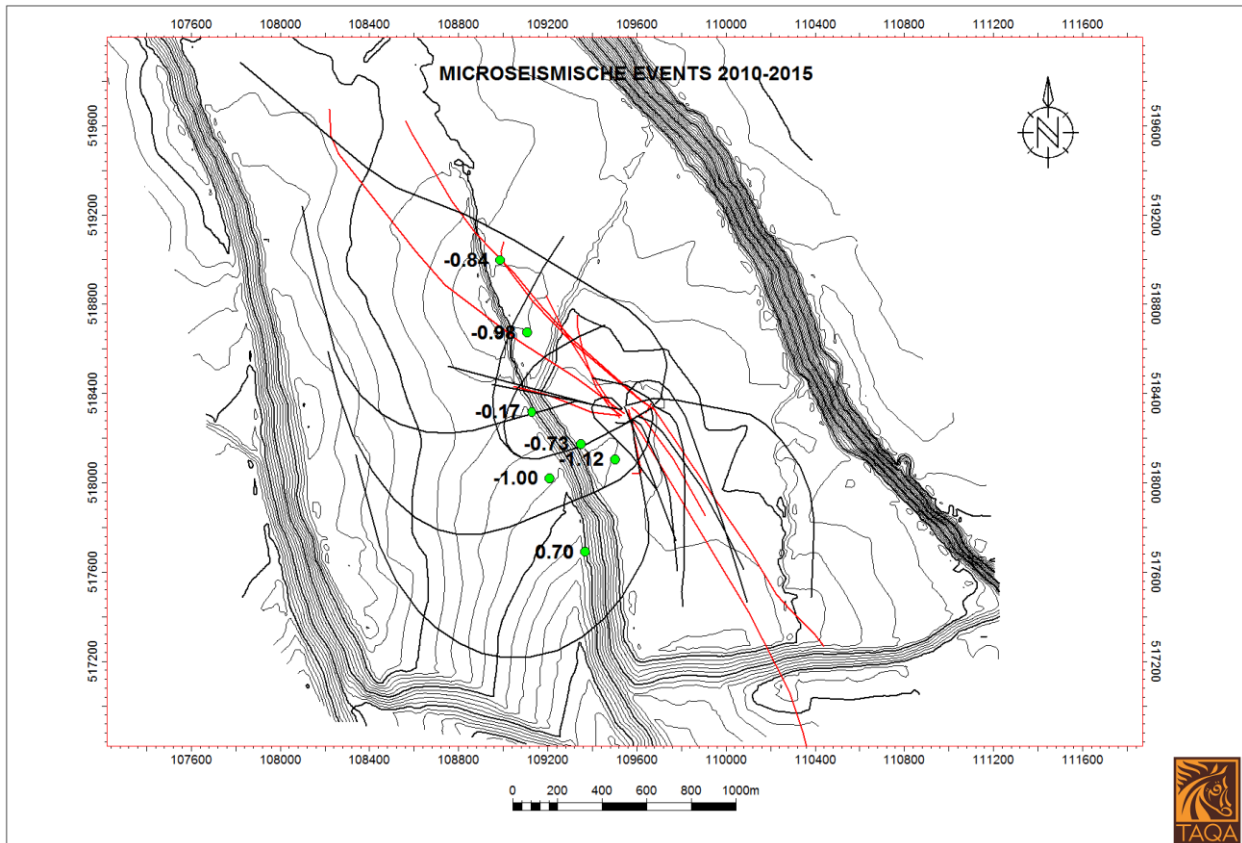
Taqa\_MAG140109 oriëntation report. (Baker Hughes / Magnitude: Microseismic survey phase 9, oriëntation tool from calibration shot on 01-25-2014).

## FIGUREN

Figuur 1. Dieptekaart op Top Rotliegend niveau, met categorie-I trillingen geprojecteerd.

Figuur 2. Microseismische waarnemingen sinds het begin van de monitoring in augustus 2010.

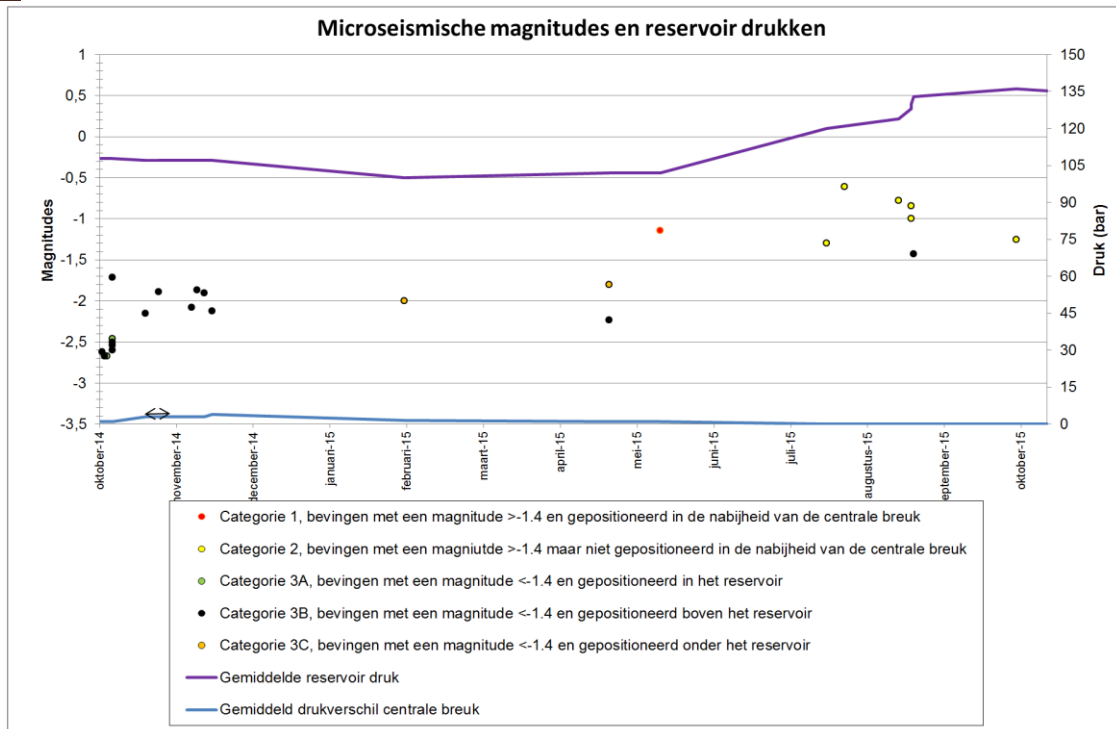
Document ECM number	Revisie datum	Pagina
TEN_DM-#176721-v1a	29-3-2016	5 van 7



**Figuur 1 Dieptekaart op Top Rotliggend niveau, met categorie-I trillingen ( $M > -1,4$ ) geprojecteerd**  
In figuur 1 in zijn de locaties van de categorie 1 events aangegeven met groene rondjes. De magnitudes van de bevingen staan naast iedere locatie vermeld. De trajecten van de oude Bergemeer putten zijn in rood aangegeven en de trajecten van de nieuwe Bergemeer putten in zwart.

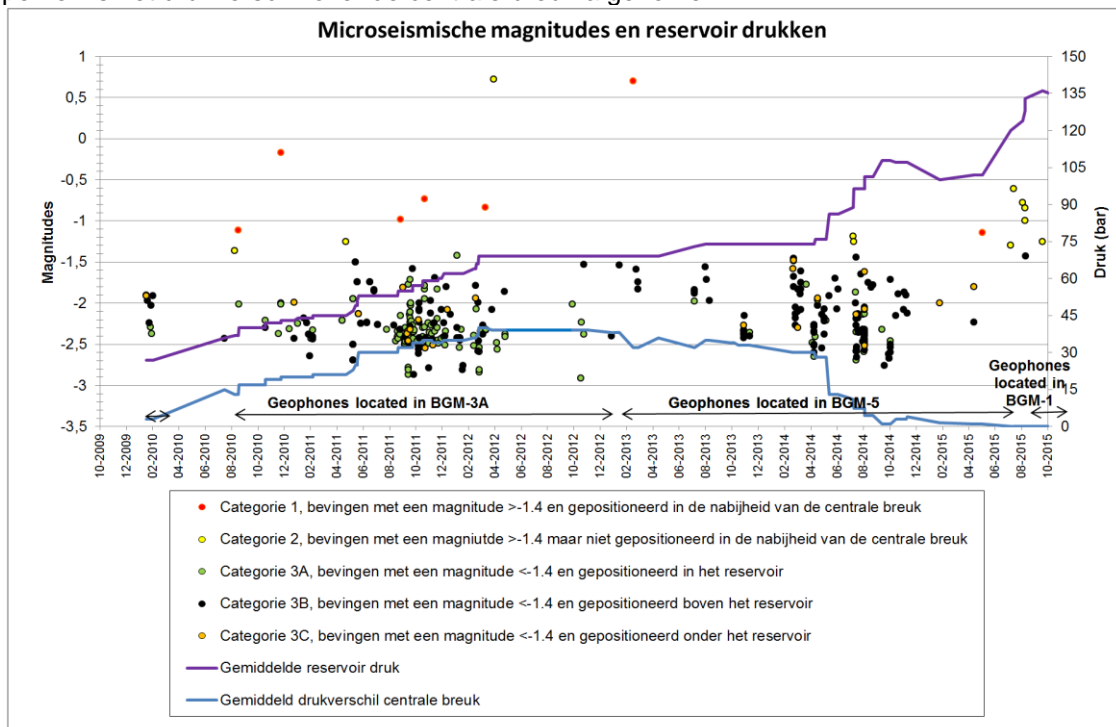
Document ECM number	Revisie datum	Pagina
TEN_DM-#176721-v1a	29-3-2016	6 van 7





**Figuur 2 Microseismische waarnemingen gedurende de rapportage periode van oktober 2014 tot en met september 2015.**

Het figuur geeft op de rechter as de druk van twee kort ingesloten putten aan (lokale drukmetingen), deze drukken overschatten de gemiddelde reservoir druk (zie tekst). Op de linker as staan de magnitudes aangegeven van de microseismische trillingen. Sinds april 2015 is de druk door injectie van gas weer opgelopen en is het drukverschil over de centrale breuk afgenomen.



**Figuur 3 Microseismische waarnemingen sinds het begin van de monitoring in februari 2010**

Het figuur geeft op de rechter as de druk van twee kort ingesloten putten aan (lokale drukmetingen), deze drukken overschatten de gemiddelde reservoir druk (zie tekst). Op de linker as staan de magnitudes aangegeven van de microseismische trillingen. Sinds april 2015 is de druk door injectie van gas weer opgelopen en is het drukverschil over de centrale breuk afgenomen.

Document ECM number	Revisie datum	Pagina
TEN_DM-#176721-v1a	29-3-2016	7 van 7