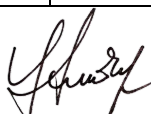





Gasopslag Bergermeer Microseismische Monitoring

Maandrapportage mei 2023

| | |
|---|---------------------|
| Sign. | Datum 13-06-2023 |
|  | |
| J. Amory | |
| Author | |
|  | |
| R. van den Ham | |
| Approver | |

IHOUDSOPGAVE

| | Pagina |
|--|---------------|
| 1 Inhoud | 3 |
| 2 Status | 3 |
| 3 Microseismische Observaties | 4 |
| 3.1 Effecten van de gasinjectie en productie | 4 |
| REFERENTIES | 6 |
| FIGUREN | 7 |

| | | |
|----------------------|---------|----------------|
| TAQA Document Nummer | Datum | Pagina |
| ECM #209592-v05 | 06-2023 | 2 van 8 |

1 INHOUD

Het Bergermeer gasveld wordt continue gemonitord met betrekking tot het voorkomen van microseismische activiteiten. In de maandrapportage worden de metingen van de meest recente maand gerapporteerd. De locaties van de categorie-I-events worden op een kaart weergegeven (Figuur 1) en in een tabel (Tabel 1). Een totaaloverzicht van de geobserveerde microseismische activiteit wordt in een grafiek weergegeven in Figuur 2.

Voor uitleg over het doel van het monitoringsprogramma en de gebruikte technische inrichtingen wordt verwezen naar het referentierapport (Ref. 2).

Maandelijks wordt de microseismiciteit gerapporteerd en geanalyseerd door ESG (het bedrijf dat de metingen technisch verzorgt; Ref. 3). Deze rapportages worden als basisgegevens voor dit rapport gebruikt. De resultaten van microseismisch monitoring vormen de basis voor het verkeerslicht veiligheidsmanagementsysteem, zoals overeengekomen tussen TAQA en SodM.

Seismische magnitudes worden weergegeven volgens een logaritmische schaal.

$M = 3$ betekent $M = {}^{10}\log 10^3 = 3$.

$M = -3$ betekent $M = {}^{10}\log 10^{-3} = -3$ ($M = -3$ is een miljoen (10^6) keer kleiner dan $M = 3$)

Trillingen met M kleiner dan 1,5 worden als microseismische activiteit beschouwd, omdat in het algemeen trillingen zwaarder dan $M = 1.5$ altijd geregistreerd kunnen worden door geofoons aan de oppervlakte. Lokaal kan door gunstige omstandigheden tot iets lagere magnitudes gemeten worden, bijvoorbeeld door een gunstige ligging en lage ruisniveaus.

2 STATUS

- Op 11 januari 2015 is het microseismisch monitoringsysteem na onderhoud teruggeplaatst 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 juli 2015 zijn de geofoons uit BGM-5 verwijderd.
- Op 10 juli 2015 zijn nieuwe geofoons geplaatst in BGM-01.
- De geofoons zijn vanaf 13 juli 2015 werkzaam.
- De geofoons zijn in de week van 13 juli 2015 met meerdere checkshots gekalibreerd.
- Sinds het begin van de metingen in 2010 zijn er zeven categorie-I-trillingen gemeten (Tabel 1 en Figuur 1).
- In de maand mei 2023 is er geen categorie-I microseismische events gemeten (Tabel 1).
- In de maand mei 2023 is er geen categorie-II microseismische event gemeten (Tabel 1).
- In de maand mei 2023 is er geen categorie-III microseismische event gemeten (Tabel 2).
- Alle tot nu toe gemeten microseismische activiteit vallen ruim binnen het groene gebied van het 'verkeerslicht veiligheidsmanagementsysteem' ($M < 1,5$) (VMS; Ref. 1).

| | | |
|----------------------|---------|---------|
| TAQA Document Nummer | Datum | Pagina |
| ECM #209592-v05 | 06-2023 | 3 van 8 |

3 MICROSEISMISCHE OBSERVATIES

3.1 Effecten van de gasinjectie en productie

Figuur 2 laat het drukverloop in het reservoir en het drukverschil over de centrale breuk zien, alsmede de microseismische waarnemingen sinds januari 2010.

Tot augustus 2016 waren de drukken gemeten nabij de bovenkant van het reservoir onderdeel van de gerapporteerde drukken. Deze zogenoemde “bottom hole” drukken waren afkomstig van drukmeters in de gasputten. Waarnemingen bevestigen dat het veld zich op korte tijdschaal, de periode waarin deze putten ingesloten zijn, niet stabiliseert. De bottom hole drukken zullen ten tijde van injectie een overschatting zijn van de gemiddelde blokdrukken. Het tegenovergestelde geldt voor de productieperiode. De gemiddelde blokdrukken worden daarom momenteel geschat met het huidige reservoir model wat representatiever is dan de lokale drukmetingen afkomstig van de putten. Dit reservoir model is gekalibreerd met de waargenomen drukken gemeten in de putten. Vanaf september 2016 zullen daarom de gerapporteerde gemiddelde blokdrukken afkomstig zijn uit het huidige reservoir model.

Het gebruik van meerdere putten in beide reservoir blokken maakt gecontroleerd reservoir management mogelijk hetgeen resulteert in een gering drukverschil over de centrale breuk, van 0 bara tot 5 bara.

De microseismische activiteit wordt toegeschreven aan gasproductie en -injectie. De microseismische activiteit is in lijn met de verwachting dat het reservoir iets elastisch meeveert. Deze geringe vervorming kan een reden voor microseismische activiteit zijn. Lokale microseismische activiteit is daarvan een logisch gevolg.

In december 2016 zijn alle geregistreerde microseismische events door ESG herzien. Dit resulteerde in een verbeterde magnitude bepaling voor de events met volgnummer 376 en 377. Event 376 is in magnitude gedaald van -0.6 naar -1.0 en event 377 is in magnitude gedaald van -0.8 naar -1.1.

| | | |
|----------------------|---------|---------|
| TAQA Document Nummer | Datum | Pagina |
| ECM #209592-v05 | 06-2023 | 4 van 8 |

Tabel 1. KNMI, Magnitude en ESG interpretatie van microseismische categorie-I en –II trillingen ($M > -1.4$)

| Volg nr. | Datum (dd/mm/yyyy) | Tijd (uu:mm:ss) | X(m) | Y(m) | Z(m) | Magn. | Afstand (m) | ¹ P _{res} (bara) | ² ΔP _{breuk} (bara) |
|---|--------------------|-----------------|--------|--------|-------|--------|-------------|--------------------------------------|---|
| Categorie-I trillingen met een magnitude >-1.4 en geassocieerd worden met de centrale breuk | | | | | | | | | |
| 11 | 04/09/2010 | 08:21:31 | 109504 | 518104 | -1948 | -1.11 | 1125 | 38 | 5 |
| 19 | 12/12/2010 | 15:17:08 | 109129 | 518317 | -1992 | -0.17 | 799 | 43 | 11 |
| 66 | 14/09/2011 | 14:06:01 | 109109 | 518672 | -2223 | -0.98 | 445 | 51 | 21 |
| 139 | 09/11/2011 | 05:09:54 | 109349 | 518173 | -1855 | -0.73 | 1022 | 54 | 24 |
| 201 | 29/03/2012 | 09:22:52 | 108988 | 518997 | -2190 | -0.84 | 115 | 58 | 28 |
| 221 | 06/03/2013 | 11:25:26 | 109369 | 517690 | -2000 | 0.70* | 1076 | 68 | 32 |
| 374 | 25/05/2015 | 11:08:35 | 109210 | 518019 | -2589 | -1.10 | 861 | 96 | 3 |
| Categorie-II trillingen in de nabijheid van het Bergermeer veld met een magnitude van >-1.4 en niet geassocieerd worden met de centrale breuk | | | | | | | | | |
| 10 | 26/08/2010 | 11:57:45 | 109806 | 519403 | -1881 | -1.37 | 896 | 38 | 5 |
| 34 | 11/05/2011 | 08:42:29 | 108963 | 516814 | -2116 | -1.25 | 2280 | 44 | 12 |
| 205 | 18/04/2012 | 22:24:49 | 106056 | 522968 | -1713 | 0.72 | 4884 | 59 | 29 |
| 303 | 29/07/2014 | 15:49:56 | 110044 | 517631 | -1157 | -1.18 | 3244 | 86 | 14 |
| 304 | 31/07/2014 | 16:55:56 | 108889 | 517809 | -1871 | -1.25 | 1016 | 86 | 14 |
| 375 | 29/07/2015 | 18:43:40 | 110272 | 518689 | -2015 | -1.34 | 893 | 109 | 1 |
| 376 | 05/08/2015 | 16:30:54 | 111118 | 517882 | -1906 | -1.00 | 1612 | 111 | 1 |
| 377 | 26/08/2015 | 15:20:14 | 110025 | 519400 | -1951 | -1.10 | 1238 | 116 | 1 |
| 378 | 31/08/2015 | 18:44:01 | 110803 | 518363 | -2317 | -0.84 | 1463 | 117 | 1 |
| 379 | 31/08/2015 | 21:05:09 | 110676 | 518208 | -2292 | -1.00 | 1356 | 117 | 1 |
| 381 | 11/10/2015 | 18:44:04 | 109702 | 519522 | -1950 | -1.25 | 1292 | 125 | 1 |
| 382 | 24/01/2016 | 18:10:17 | 110213 | 518798 | -2056 | -1.22 | 964 | 119 | 3 |
| 383 | 04/02/2016 | 10:12:17 | 109928 | 519388 | -2020 | -0.87 | 1235 | 118 | 2 |
| 385 | 02/09/2016 | 09:12:53 | 109981 | 519367 | -1862 | -1.02 | 1159 | 125 | 0 |
| 386 | 20/09/2016 | 18:19:24 | 110574 | 518426 | -2307 | -1.06 | 1286 | 126 | 1 |
| 387 | 17/10/2016 | 20:57:53 | 108214 | 521662 | -2210 | -0.09 | 3701 | 126 | 0 |
| 388** | 03/03/2019 | 1:32:35 | 112119 | 518114 | -1929 | -1.272 | 2526 | 109 | 1 |

*Tijdens een her-evaluatie van de microseismische data concludeert Q-con dat de magnitude van het sterkste microseismische event 0.9 is (volg nr. 221). Het verschil resulteert uit een grotere source-receiver afstand na her-lokalisering van het microseismische event. Voor meer informatie zie referentie 4.

**Vanaf maart 2021 is dit microseismische event opgenomen in de catalogus en ook weergegeven in Figuur 2.

¹ P_{res} is de gemiddelde reservoir druk afkomstig uit het huidige reservoir model.

² ΔP_{breuk} is het gemiddelde drukverschil over de centrale breuk afkomstig uit het huidige reservoir model.

Tabel 2. Recente microseismische bevingen binnen, boven en onder het veld (categorie-III).
In de periode mei 2023 zijn er geen categorie-III trillingen gemeten.

| Volg nr. | Datum (dd/mm/yyyy) | Tijd (uu:mm:ss) | X(m) | Y(m) | Z(m) | Magn. | Afstand (m) | $^1P_{res}$ (bara) | $^2\Delta P_{breuk}$ (bara) |
|--|--------------------|-----------------|------|------|------|-------|-------------|--------------------|-----------------------------|
| Categorie-III trillingen binnen, boven en onder het veld met een magnitude van ≤ -1.4 | | | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

Tabel 3. Coördinaten van de locaties van de zes geofoons in BGM-01 sinds 10 juli 2015

| Level | X(m) | Y(m) | Z(m) |
|-------|-----------|-----------|------|
| 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 |

REFERENTIES

Ref.1:

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

Ref. 2:

Referentierapport microseismisch monitoring Bergermeer gasopslag. (TAQA Energy Nederland, April 2016, ECM 79398).

Ref. 3:

TAQA Bergermeer – May 2023 Monthly Report (ESG)

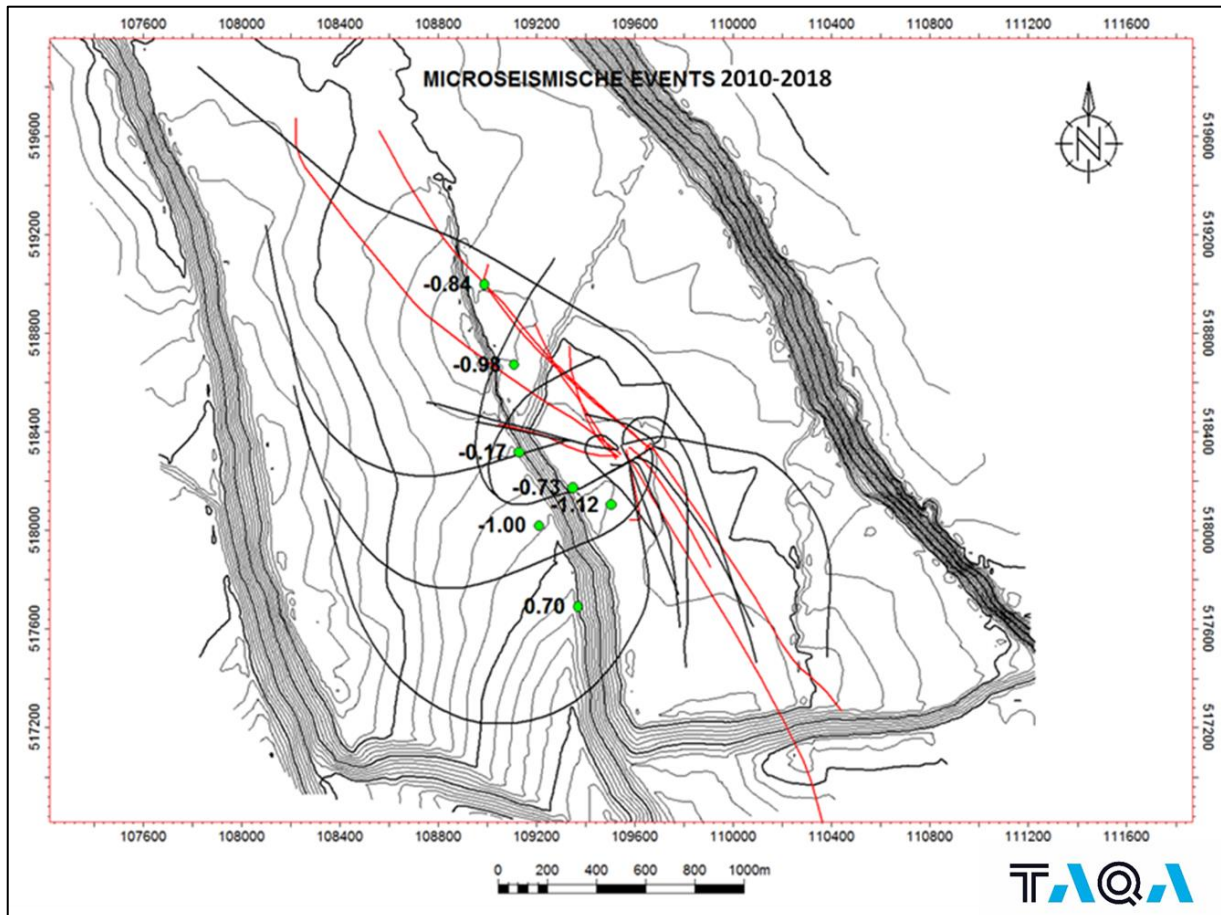
Ref 4:

Induced Seismicity in the Bergermeer Field: Hypocenter Relocation and Interpretation, Q-Con, 2016 (<https://nl.taqa.com/wp-content/uploads/sites/23/2021/04/PDF-27-Induced-seismicity-in-the-Bergermeer-field-hypocenter-relocation-and-interpretation.pdf>)

FIGUREN

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

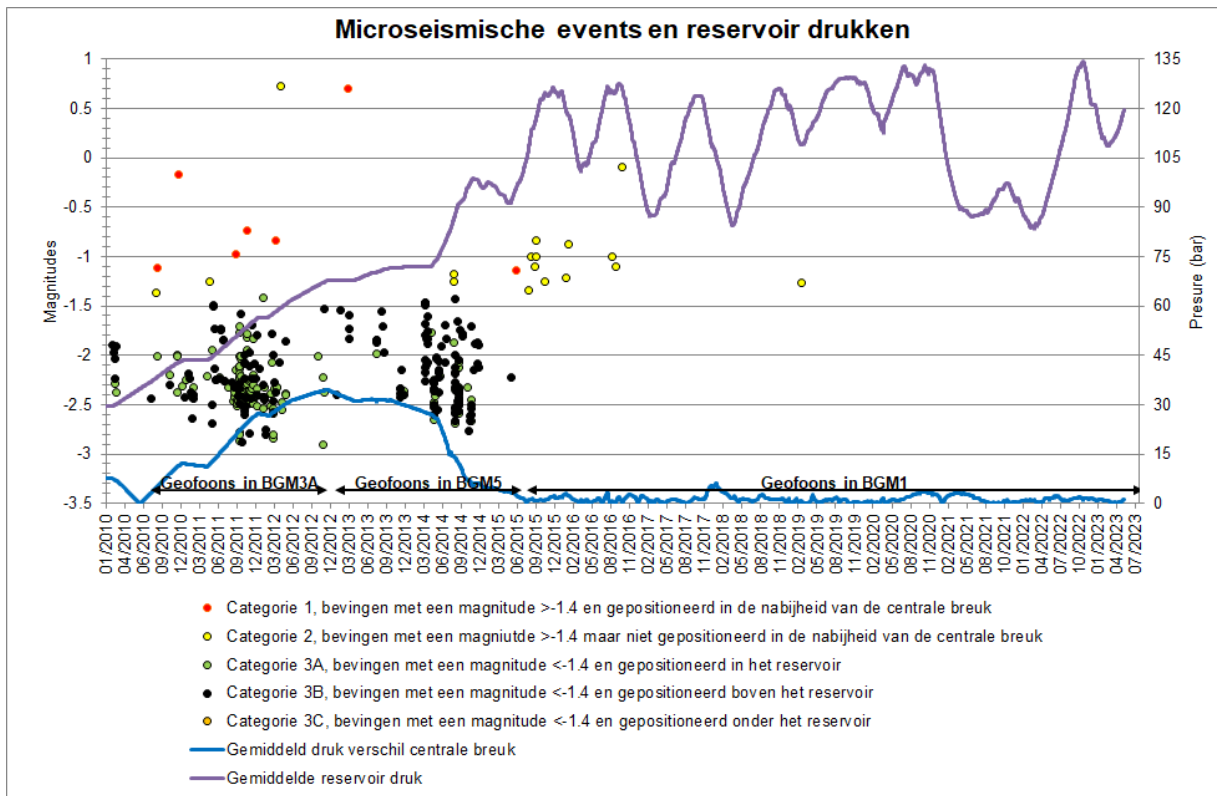
Figuur 2. Microseismische waarnemingen sinds het begin van de monitoring in februari 2010.



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 microseismische bevingen 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.

| | | |
|----------------------|---------|---------|
| TAQA Document Nummer | Datum | Pagina |
| ECM #209592-v05 | 06-2023 | 7 van 8 |



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

Het figuur geeft op de rechter as de gemiddelde reservoir druk en het gemiddeld drukverschil over de centrale breuk weer. De paarse lijn geeft de gemiddelde reservoir druk aan en de blauwe lijn het gemiddelde drukverschil over de centrale breuk, beide zijn afkomstig uit het huidige reservoir model. Op de linker as worden de magnitudes van de microseismische trillingen weergegeven. In de maandrapportages voorafgaand aan mei 2018 was de herinterpretatie van de twee events met volgnummer 376 en 377 niet juist weergegeven in bovenstaande figuur. Vanaf mei 2018 is dit gecorrigeerd.