

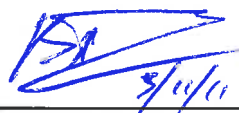


Bergermeer Gasopslag Microseismisch monitoring

Maandrapportage

September 2011

Het maandelijkse rapport geeft verslag van de microseismische monitoring van het Bergermeer veld, inclusief de resultaten zoals die gerapporteerd zijn door het KNMI. Het KNMI maakt gebruik van de data die dagelijks rechtstreeks via een ADSL verbinding worden doorgestuurd van het microseismisch monitoring systeem dat is geïnstalleerd in het Bergermeer veld in de put BGM-3A. De wekelijkse rapportages door Magnitude (het bedrijf dat de metingen technisch verzorgd) worden als basis gegevens voor dit rapport gebruikt. De resultaten van microseismisch monitoring vormen de basis voor het verkeerslicht veiligheids systeem, zoals ingediend door TAQA bij SodM en geaccepteerd door SodM.

Sign.	Date	Sign.	Date	Sign.	Date
	03-11-'11		03-11-'11		3/11/11
D. Nieuwland		S. Vroemen		B. Teuben	
Author		Process Owner		Head of Department	
Prepared		Approved		Authorized by	





CONCLUSIES

- Het microseismisch monitoring systeem werkt goed en detecteert bijzonder kleine trillingen tot een magnitude $M \geq -3.5$ (minus 3.5).
- Gedurende de maand september 2011 is één categorie-I trillingen waargenomen ($M = -1.0$, ofwel minus 1.0).
- Gedurende de maand september 2011 is er één categorie-II microseismische trilling (buiten het veld) en achttien categorie-III trilling gemeten.
- In september 2011 vonden 18 zwakke trillingen in de buurt van de geofoons plaats: categorie-III trillingen. Een aantal van deze trillingen definieert mogelijk een kleine breuk die een grote hoek maakt met de centrale breuk afschuiving langs een dergelijk georiënteerde breuk heeft een beperkt stabiliserend effect op de centrale breuk en op het Bergermeer veld als geheel.
- Sinds het begin van de metingen (januari 2010) zijn 4 categorie-I trillingen gemeten.
- Alle tot nu toe gemeten trillingen vallen ruim binnen de groene zone van het 'verkeerslicht veiligheids management systeem' (VMS; Ref. 1).
- Aanpassing van de huidige activiteiten is niet noodzakelijk.

MICROSEISMISCHE OBSERVATIES

Op basis van de tot nu toe waargenomen microseismische trillingen worden drie categorieën herkend:

Categorie-I: Trillingen die sterk genoeg zijn 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.

Categorie-II: Trillingen die sterk genoeg zijn 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: 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 een cluster rond de observatie put. De locaties van dergelijke trillingen zijn daarom niet representatief voor de gehele breuk.

De detectiegrens van de geofoons is aangegeven in Figuur 2. De detectiegrens wordt mede bepaald door de snelheidseigenschappen van de gesteentes die zich tussen een trilling (hypocentrum) en de observatieput bevinden. Hierdoor kunnen in enkele gevallen relatief lichte bevingen toch op grotere afstand gemeten worden. Deze worden weergegeven als ze bij of op de centrale breuk liggen. Bij dergelijke waarnemingen kan de plaatsbepaling een probleem vormen vanwege het relatief zwakke signaal. De afstand kan vaak wel uitgerekend worden. Dergelijke trillingen worden voor de volledigheid wel maandelijks vermeld onderaan Tabel 1 (en tevens in Tabel 2), maar zijn niet opgenomen in de grafische weergaven.

- Categorie-I trillingen sinds januari 2010 zijn weergegeven in Figuur 1. In september is er één categorie-I trilling waargenomen ($M = -1.0$) (Tabel 1).
- In september 2011 is één trilling met magnitude $M = 0.0$ waargenomen, die bijna 17 km buiten het Bergermeer veld is gelokaliseerd (Tabel 1). Deze trilling valt in categorie-II.
- In september 2011 vonden 18 zwakke trillingen in de buurt van de gefoon plaats: categorie-III trillingen (Tabel 2). De microseismische trillingen definiëren mogelijk een kleine breuk met een geheel andere oriëntatie dan de centrale Bergermeer breuk. Ze hebben een

Document ECM number	Revision	Revision date	Page
TEN_DM-#57026	1	26-oktober-2011	2 of 9



bepert stabiliserend effect op de stabiliteit van de centrale breuk en op het Bergermeer veld als geheel.

- Tabel 2 geeft een overzicht van alle waarnemingen en de drukontwikkeling sinds januari 2010.

OVERZICHT INTERPRETATIES KNMI

Het verschil in aankomst tijd tussen de 'P' golf en de 'S' golf wordt gebruikt om de afstand tot het hypocentrum te berekenen (Tabel 1 en 2). De sterkte van het signaal wordt in combinatie met de afstand gebruikt om de magnitude te bepalen. Omdat het signaal in drie richtingen gemeten wordt door zes geofoons waarvan de absolute en relatieve posities precies bekend zijn, kunnen ook posities in 3D berekend worden. De diepte is lastiger te bepalen; voor een goede plaatsbepaling is een duidelijk signaal nodig.

De gemiddelde druk in het reservoir (berekend met behulp van reservoir modellen en drukmetingen) en het drukverschil tussen beide reservoir blokken ten tijde van de waargenomen trillingen, staan in Tabel 1 en 2. Op basis van deze gegevens is (nog) geen trend vast te stellen die een verband legt tussen microseismische trillingen, variaties in het optreden ervan, drukniveau, drukverschil over de centrale breuk en injectie- of productiesnelheid.

Het ruisniveau is sinds de gefoon servicebeurt in augustus zeer laag (Figuur 3). Dit maakt registratie van zeer zwakke microseismische trillingen mogelijk ($M \geq -3.5$). De signaal/ruis verhouding is erg goed, meestal beter dan 10/1.

Seismische magnitudes worden weergegeven volgens de logaritmische schaal van Richter.
 $M = 3$ betekent $M = {}^{10}\log 10^3 = 3$.
 $M = -3$ (minus 3) betekent $M = {}^{10}\log 10^{-3} = -3$, dit is dus een miljoen (10^6) keer kleiner dan $M = 3$.

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 het reservoir nodig, zoals de geofoons in BGM-3A.

Tabel 1. KNMI interpretatie van microseismische trillingen.

Volg nr.	Datum yyyy-mm-dd	tijd	x	y	Z	Magn.	afstand (m)	P_{Res}	ΔP_{breuk}
Categorie-I: trillingen die over de gehele breuk waarneembaar zijn (vanaf januari 2010)									
10	2010-09-04	08:21:31	109504	518104	1948	-1.1	1110	37	13
17	2010-12-12	15:17:08	109130	518317	1992	-0.2	788	42	19
33	2011-05-11	08:42:29	108963	516814	2116	-1.2	2281	45	21
57	2011-09-14	14:06:01	109109	518672	2223	-1.0	446	53	30
Categorie-II: Trillingen die buiten het Bergermeer veld liggen (september 2011)									
53	2011-09-10	19:30:19	100465	506021	8847	0.0	16997	53	30

Categorie-III: uitsluitend dicht bij de observatie put waarneembare trillingen (september 2011)

Waarnemingen 49 t/m 66 in Tabel 2 en in Fig. 5.

Document ECM number	Revision	Revision date	Page
TEN_DM-#57026	1	26-oktober-2011	3 of 9



De vermelde reservoir druk (P_{Res}) is de gemiddelde druk over het gehele reservoir voor de betreffende kalendermaand. Het drukverschil over de breuk (ΔP_{breuk}) is het verschil tussen de gemiddelde reservoir drukken voor blok-1 en blok-2 over de kalendermaand.

SPECIALE WAARNEMINGEN

De microseismische activiteit in september was hoger dan in voorgaande maanden. De gemiddelde magnitude is echter laag gebleven ($M = -2.3$), ruim binnen de grenzen van het veilige werkgebied (Fig. 5). De verhoogde activiteit wordt gezien als een gevolg van de toenemende decompactie, waardoor er lokaal een geringe mate van rek kan optreden in gekromde delen van het reservoir oppervlak. Deze lokale rek kan aanleiding geven tot microseismische activiteit en wordt gezien als een normaal en te verwachten element in het decompactie- en zettingproces van het zich stabiliserende reservoir.

Het is de verwachting dat zich tijdens de decompactie fase meer microseismische trillingen zullen gaan voordoen. Zonder microseismische waarnemingen zou dit proces als non-seismische kruip benoemd worden, uiteraard zonder de mogelijkheid om het actief waar te nemen. De microseismische locaties kunnen mogelijk wijzen op de aanwezigheid van een kleine breuk die een grote hoek met de centrale breuk maakt. Een afschuiving langs een breuk met een dergelijke oriëntatie zou een licht stabiliserend effect op de centrale breuk hebben.

Opmerkelijk is ook de waarneming van een trilling met magnitude $M = 0.0$ op een afstand van bijna 17 km van het Bergermeer veld.

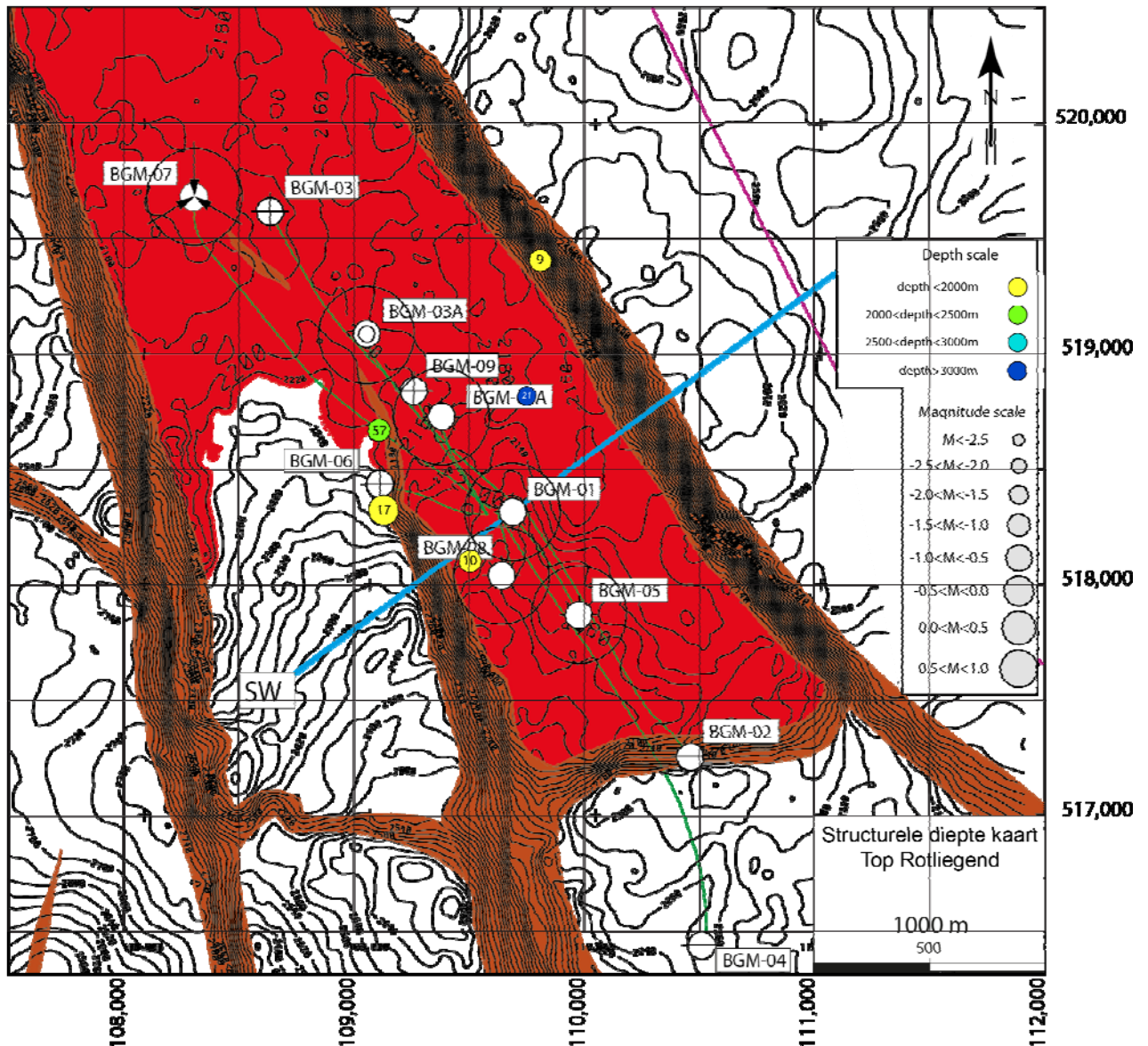
Document ECM number	Revision	Revision date	Page
TEN_DM-#57026	1	26-oktober-2011	4 of 9

REFERENTIES

Ref.1:

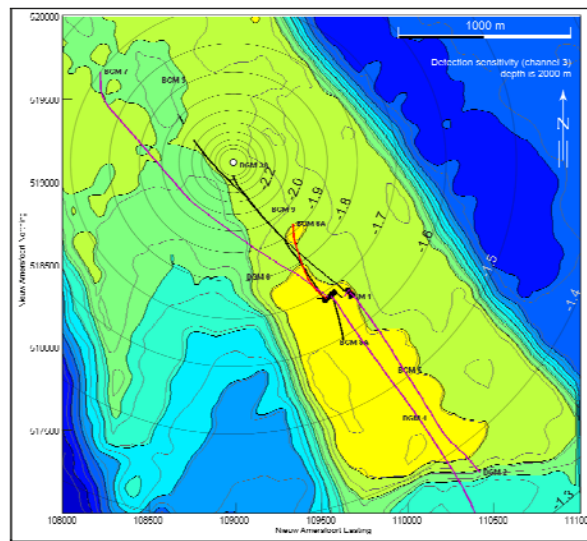
Plan van maatregelen tot voorkoming of beperking van bodembewegingen gebaseerd op microseismische monitoring bij de gasopslag in het Bergermeer veld”, 31 maart 2011.

FIGUREN

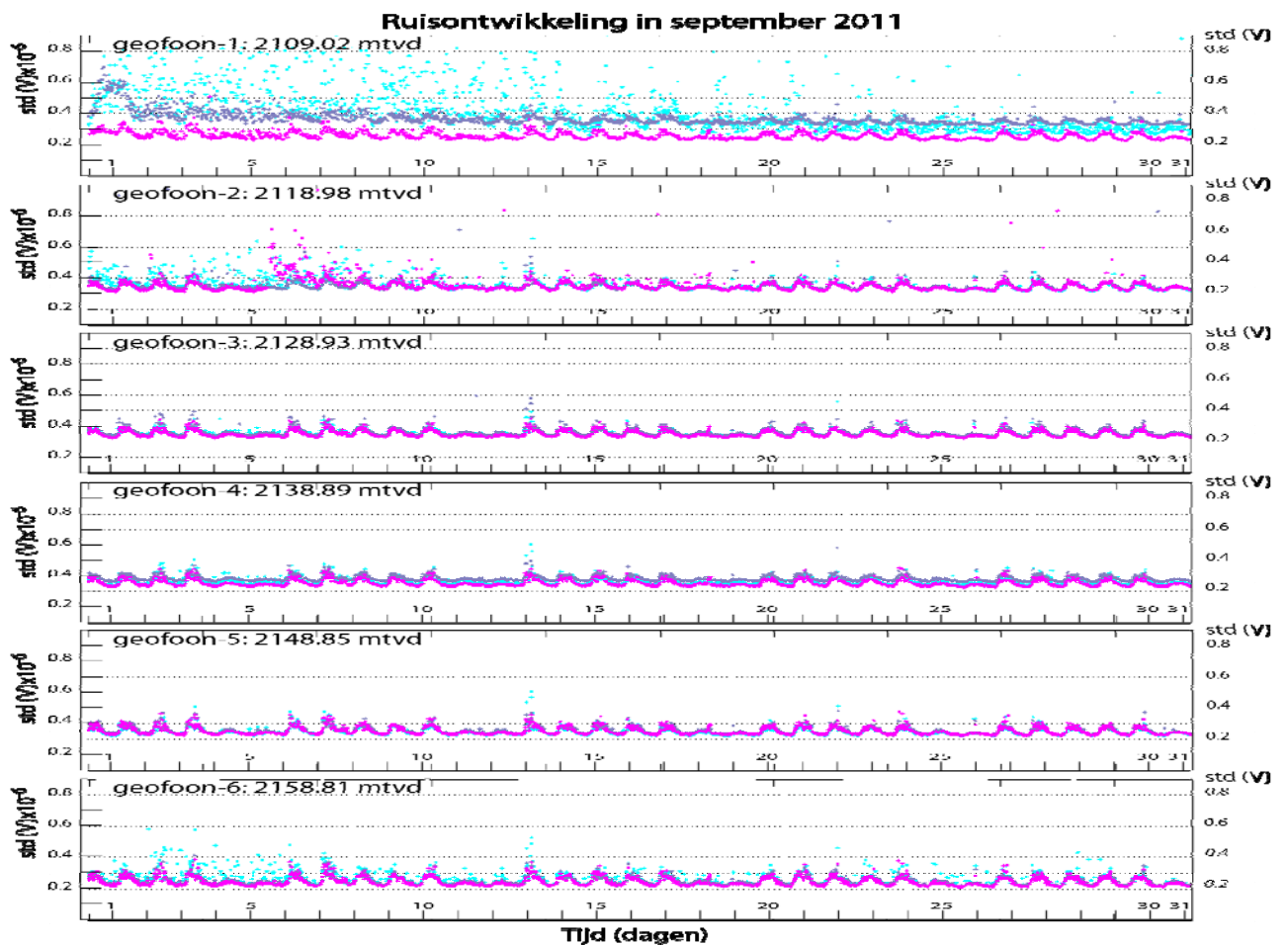


Figuur 1. Dieptekaart op Top Rotliegend niveau, met categorie-I trillingen. De trillingen vinden plaats op verschillende dieptes en zijn daarom met een kleur codering weergegeven. De magnitudes van de bevingen zijn proportioneel met de cirkel grootte weergegeven.

Document ECM number	Revision	Revision date	Page
TEN_DM-#57026	1	26-oktober-2011	5 of 9

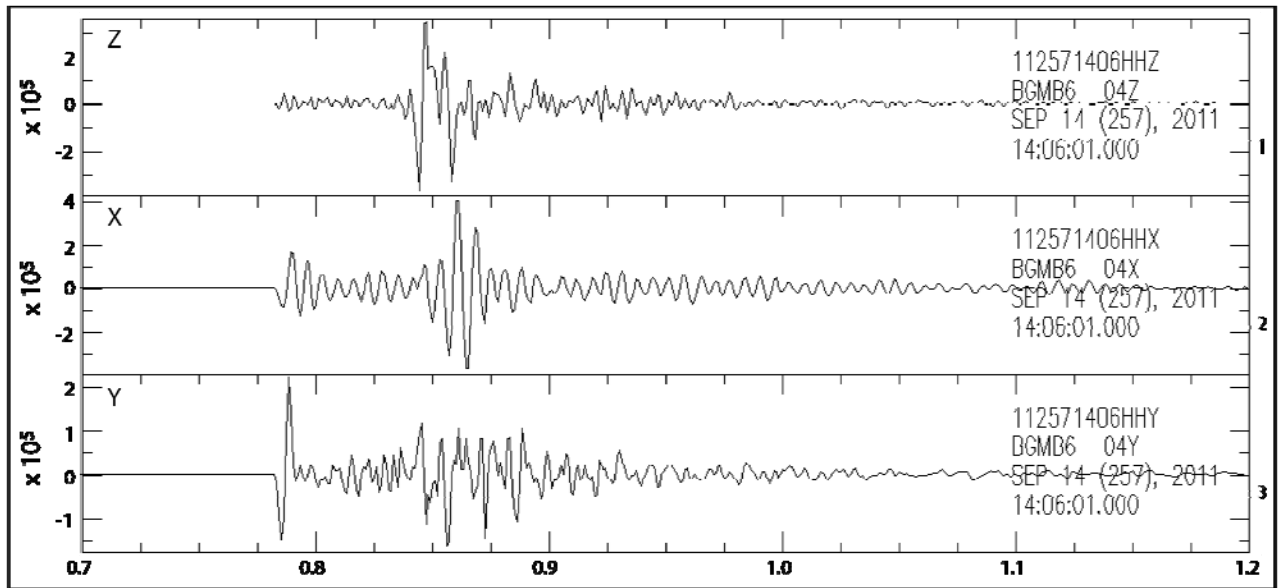


Figuur 2. Detectiegevoeligheid voor microseismische trillingen op Top Rotligend niveau. Trillingen met $M \leq -1.4$ aan de zuidrand van het veld worden niet waargenomen. Recente waarnemingen wijzen uit dat in sommige gevallen, trillingen met $M < -1.4$ ook op grotere afstanden gemeten kunnen worden, dan de gevoeligheidskaart aangeeft (Tabel 2, nrs 47, 48 en 59).



Figuur 3. Ruisontwikkeling in september 2011. De 6 grafieken representeren de 6 geofoons.

Document ECM number	Revision	Revision date	Page
TEN_DM-#57026	1	26-oktober-2011	6 of 9



Figuur 4. Aankomst signaal van de trilling met M = -1.0 van 14-september, 14:06:01.

Tabel 2. Alle gemeten microseismische trillingen sinds aanvang van de metingen.

Volg nr.	datum	tijd	x	y	z	magnitude	afstand	AvP _{Res}	ΔP _{breuk}
1	2-Feb-2010	14:15:29	108813.9	518787.8	2565.65	-2.0	561	27	3
2	2-Feb-2010	14:30:58	108710.3	518841.2	2399.71	-2.0	468	27	3
3	6-Feb-2010	16:23:53	108875.4	518688.5	2229.34	-2.2	435	27	3
4	9-Feb-2010	21:03:48	109009.2	518328.9	2153.26	-2.4	765	27	3
5	13-Feb-2010	18:29:10	109441.1	518360.4	2200.32	-2.3	858	27	3
6	14-Feb-2010	00:57:39	108732.7	519023.9	2251.94	-2.1	301	27	3
7	15-Feb-2010	03:39:37	109048.2	518749.5	2348.15	-2.5	408	27	3
8	18-Feb-2010	05:30:30	108892.4	518877.3	2103.88	-2.0	244	27	3
9	26-Aug-2010	11:57:45	109805.7	519402.7	1880.69	-1.4	897	36	15
10	4-Sep-2010	08:21:31	109503.5	518104.2	1947.60	-1.1	1,125	37	13
11	5-Sep-2010	07:16:05	108919.4	519101.2	2209.52	-2.0	111	37	13
12	5-Nov-2010	22:12:49	109235.6	518704.6	2152.85	-2.2	455	40	17
13	27-Nov-2010	20:44:13	116965.6	522762.7	2550.60	0.5	8,778	40	17
14	6-Dec-2010	19:28:45	108927.2	519090.9	2185.73	-2.4	90	42	19
15	11-Dec-2010	13:49:01	109127.8	518686.1	2197.94	-2.0	432	42	19
16	11-Dec-2010	13:56:42	109177.1	518707.1	2202.05	-2.0	430	42	19
17	12-Dec-2010	15:17:08	109129.5	518316.9	1992.32	-0.2	800	42	19
18	31-Dec-2010	23:42:43	109127.8	518828.4	2297.76	-2.3	337	42	19
19	11-Jan-2011	04:46:40	108856.2	518950.6	2215.01	-2.2	219	43	20
20	11-Jan-2011	04:46:40	108957.4	518898.1	2173.37	-2.4	205	43	20
21	11-Jan-2011	04:46:44	109746.6	518818.3	3013.19	-2.0	1,185	43	20
22	20-Jan-2011	06:22:05	109125.6	518862.3	2364.46	-2.3	349	43	20
23	02-Feb-2011	22:27:38	109835.2	519233.7	1887.42	-2.2	880	44	20
24	9-Feb-2011	02:27:58	109844.0	519115.0	1916.97	-2.2	870	44	20
25	14-Feb-2011	02:28:32	108848.9	518946.4	2133.54	-2.4	212	44	20
26	16-Feb-2011	22:38:10	108863.7	518981.7	2239.27	-2.6	206.	44	20
27	19-Feb-2011	13:44:31	109023.6	518767.2	2283.47	-2.4	360	44	20
28	21-Feb-2011	01:53:40	109163.8	518791.1	2278.89	-2.4	373	44	20
29	24-Feb-2011	07:59:47	109252.7	518799.9	2211.70	-2.3	394	44	20
30	24-Feb-2011	16:47:52	109284.8	518821.1	2146.84	-2.4	394	44	20
31	24-Feb-2011	21:04:52	108757.0	519395.8	2217.94	-2.4	397	44	20

Document ECM number	Revision	Revision date	Page
TEN_DM-#57026	1	26-oktober-2011	7 of 9



32	3-May-2011	7:05:30	109363.0	518786.0	2128.00	-2.2	475	45	21
33	11-May-2011	8:42:29	108962.7	516814.2	2115.90	-1.2	2,280	45	21
34	28-May-2011	4:32:39	108888.0	519107.6	2098.10	-2.5	119	45	21
35	28-May-2011	4:28:49	109082.6	519110.5	2203.60	-1.9	108	45	21
36	28-May-2011	4:23:06	108917.7	519045.6	2132.90	-2.7	96	45	21
37	2-Jun-2011	2:37:27	111213.8	520057.9	1336.10	-1.5	3965	47	23
38	6-Jun-2011	15:46:41	109763.9	519559.6	2185.80	-1.7	1167	47	23
39	7-Jun-2011	16:12:15	108482.2	526296.5	2898.40	-0.1	5910	47	23
40	9-Jun-2011	18:03:52	108616.5	519498.9	2497.70	-2.1	353	47	23
41	15-Jun-2011	15:20:18	109326.4	518792.3	2146.20	-2.3	1.8 ?	47	23
42	28-Jun-2011	13:38:15	108749.5	519471.9	2129.90	-2.2	121	47	23
43	5-Jul-2011	2:02:27	109746.0	519438.0	1715.00	-1.8	920	49	25
44	16-Jul-2011	19:15:37	109834.0	519409.0	1906.00	-1.9	920	49	25
45	24-Jul-2011	16:32:09	109759.0	519346.0	1730.00	-2.3	890	49	25
46	13-Aug-2011	14:17:43	109110.0	518674.0	2217.00	-2.3	442	51	27
47	15-Aug-2011	03:55:43	--	--	--	-1.6	~3000	51	27
48	16-Aug-2011	03:11:38	--	--	--	-1.6	~3000	51	27
49	4-Sep-2011	10:45:13	109172	518785	2246.83	-2.5	372	53	30
50	8-Sep-2011	05:02:25	108937	519461	2193.72	-2.4	378	53	30
51	8-Sep-2011	21:09:42	109091	518666	2208.49	-2.3	445	53	30
52	9-Sep-2011	21:00:09	109097	518722	2255.44	-2.4	404	53	30
53	10-Sep-2011	19:30:19	100465	506021	8846.56	0.0	16997	53	30
54	13-Sep-2011	01:09:37	109203	518690	2154.32	-2.3	452	53	30
55	13-Sep-2011	03:06:42	109241	518707	2150.88	-2.4	456	53	30
56	14-Sep-2011	08:24:07	109089	518665	-2201.54	-2.1	444	53	30
57	14-Sep-2011	14:06:01	109109	518672	-2223.26	-1.0	446	53	30
58	14-Sep-2011	17:57:31	109060	518654	-2211.2	-2.3	452	53	30
59	20-Sep-2011	08:24:37	110179	519108	-2508.26	-1.8	1237	53	30
60	25-Sep-2011	21:12:59	109229	518818	-2238.17	-2.4	374	53	30
61	25-Sep-2011	22:19:41	109147	518809	-2321.93	-2.5	374	53	30
62	25-Sep-2011	23:22:00	109219	518825	-2256.08	-2.5	369	53	30
63	26-Sep-2011	00:39:55	109143	518778	-2268.6	-2.5	374	53	30
64	26-Sep-2011	03:49:38	109207	518687	-2081.3	-2.4	460	53	30
65	30-Sep-2011	06:15:14	109089	518872	-2412.14	-2.3	370	53	30
66	30-Sep-2011	08:35:52	109120	518910	-2400.72	-2.4	347	53	30

De drukken in deze tabel zijn gebaseerd op berekeningen. Deze berekeningen worden regelmatig bijgesteld om de meest recente gegevens en inzichten mee te nemen. Dit betekent dat de getabelleerde drukken iets kunnen wijzigen.

Document ECM number	Revision	Revision date	Page
TEN_DM-#57026	1	26-oktober-2011	8 of 9

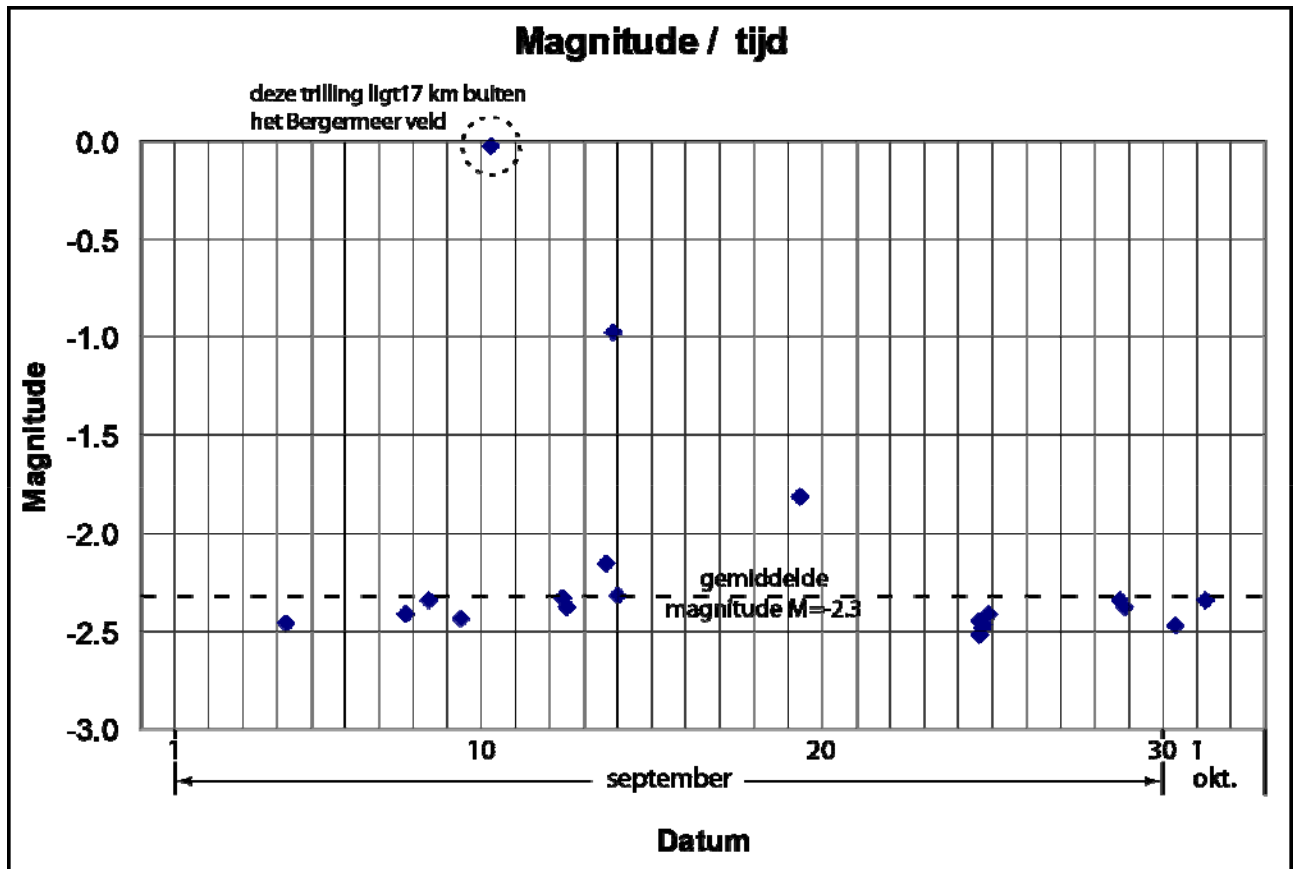


Fig. 5. Microseismische waarnemingen uitgezet tegen de tijd. Het aantal waarnemingen is aanzienlijk groter dan in voorgaande maanden, de gemiddelde magnitude $M = -2.3$ is echter ruim binnen de marge van het veilige werkgebied van het VMS.