



NAM Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.

Integraal Meet- en Monitoringsplan Seismisch Risico Groningen

Business Approval:

Name	Ref. Indicator	Role	Signature	Date
Johan de Haan	UIO/P/G	Asset Manager Groningen		
Eilard Hoogerduijn Strating	UIO/P/G	Asset Development Manager Onshore		
Jan van Elk	UIO/T/D	Cluster Development Lead Groningen		
Dirk Doornhof	PTU/E/Q	Geomechanics Lead		
Wim van der Veen	PTU/E/G	Head Onshore Survey Operations (Geomatics)		

Version Control:

Version	Objective	Comment	Issue Date

Document Number: EP201311216497

Contents

1	Inleiding.....	4
1.1	Integraal karakter	4
1.2	Doelstelling.....	4
1.3	Samenhang documenten en flankerende stukken	5
2	Monitoringselementen	6
2.1	Reservoir-monitoring	6
2.2	Bodemdaling	6
2.2.1	Bodemdalingsmetingen	6
2.3	Bodemtrilling	10
2.3.1	Seismisch meetnetwerk.....	10
2.3.2	Netwerk van boorgatstations.....	11
2.3.3	Bovengronds netwerk van versnellingsmeters	11
2.3.4	Ondergrondse verticale seismische arrays	12
2.4	Monitoring aan gebouwen	13
2.4.1	Meetnet gebouwtrillingen	13
2.4.2	Visuele inspecties en preventieve maatregelen	13
2.5	Rapportage	13
2.5.1	Consistentie.....	13
2.5.2	Transparantie.....	14
2.5.3	Juistheid	14
2.6	Interne operationele borging.....	15
2.7	NAM milieu- en veiligheidszorg.....	15
2.8	Tijdslijnen.....	15
2.9	Rapportage en online beschikbaarheid.....	15
3	Verkleining van onzekerheden.....	16
3.1	Onzekerheden in de ondergrond	16
3.1.1	Koppeling coëfficiënt tussen seismisch moment en volumetrische compactie energie.....	17
3.1.2	Grondbeweging	17
3.1.3	Compactie	17
3.2	Onzekerheden in de bovengrond.....	17
3.2.1	Gebouwentrilling.....	17
3.2.2	Gebouwenschade.....	18
3.3	Gehanteerde afkortingen en begrippen	19
	Bijlage: Borgingsprotocol escalatie in 2014	20

1 Inleiding

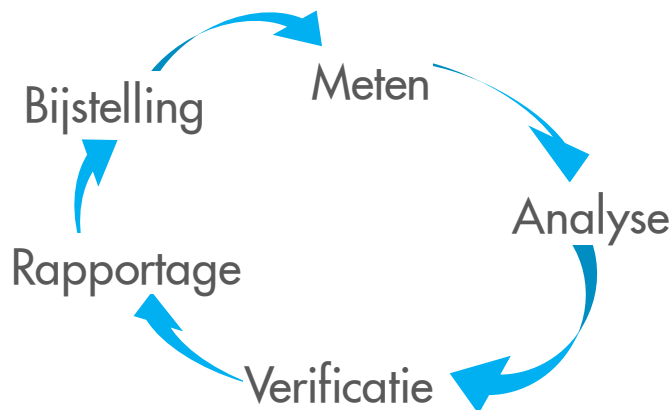
Het winnen van delfstoffen vanuit een gas- of olieveld, formeel aangeduid als een 'voorkomen', geschiedt overeenkomstig een Winningsplan dat bij de Ministerie van Economische Zaken wordt ingediend (Mbw 34 en Mbb 24). Het Winningsplan dient de minister kort gezegd inzicht te geven in het planmatig beheer van delfstoffen. In het Winningsplan voor onshore voorkomens moet daarenboven informatie worden gegeven over de bodembeweging die het gevolg zal zijn van de delfstofwinning. Bodembeweging is de verzamelnaam voor bodemdaling en bodemtrilling. De laatste wordt in dit document aangeduid met 'aardbevingen'.

In dit meet- en monitoringsplan voor bodembeweging in Groningen is vastgelegd welke meet- en monitoringsactiviteiten worden uitgevoerd, hoe deze activiteiten worden uitgevoerd, wat er met meetresultaten gedaan zal worden en hoe de rapportage daarover zal plaatsvinden.

De resultaten van de verschillende monitoringsystemen zullen geïntegreerd worden geïnterpreteerd en gerapporteerd om een zo compleet mogelijk beeld te krijgen van de situatie in de ondergrond en de effecten daarvan op de bovengrond.

De uitkomsten van de meet- en monitoringcyclus zullen gerapporteerd worden aan de minister van EZ, aan SodM en zullen publiek worden gemaakt. De resultaten kunnen aanleiding zijn voor aanpassingen in het meet- en monitoringsplan.

Dit meet- en monitoringsplan tezamen met het borgingsprotocol (onderdeel van het Winningsplan Groningen) zal worden opgenomen in NAM's Veiligheid, Gezondheid, Welzijn, en Milieu (VGWM) Management Systeem. Het doorloopt daartoe in ieder geval jaarlijks de kwaliteitscirkel (Figuur 1) 'plan-do-check-act' en continue verbetering (als kenmerk van NAM's managementsysteem volgens ISO-14001) en biedt de NAM, de toezichthouders en andere belanghebbenden transparantie.



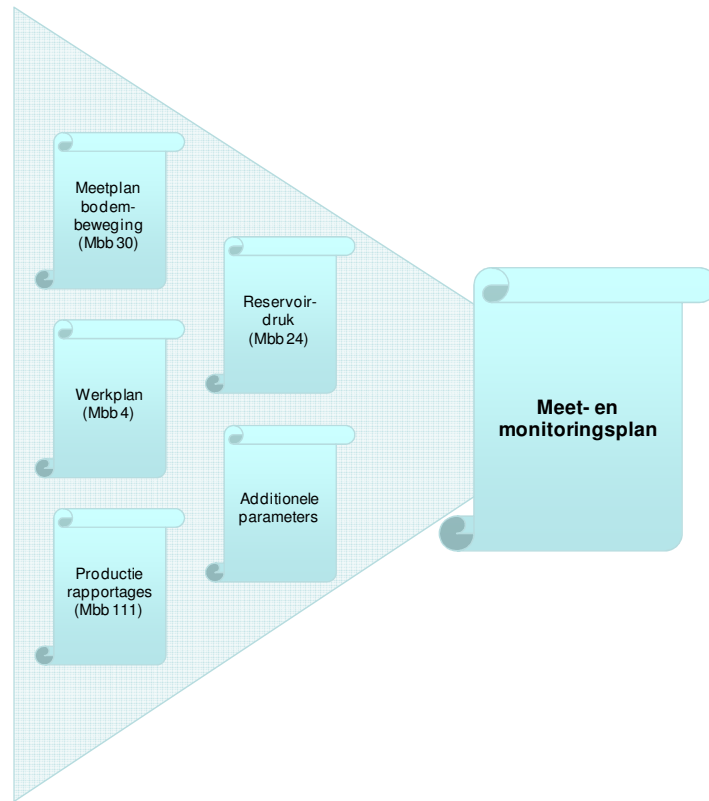
Figuur 1 Kwaliteitscirkel 'plan-do-check-act'

1.1 Integraal karakter

Dit meet- en monitoringsplan is 'integraal' van opzet; het bevat minimaal alle relevante reeds bestaande wettelijke monitoringsparameters (Figuur 2). Het meetplan (Mbw 41 lid 1) Groningen dat in eerdere jaren separaat werd ingediend is onderdeel geworden van dit uitgebreidere meet- en monitoringsplan.

1.2 Doelstelling

Doelstelling van het meet- en monitoringsplan is om door middel van voortdurende observatie een zo compleet mogelijk beeld te krijgen van de situatie in de ondergrond en de bovengrondse effecten daarvan. Het doel van de meet- en monitoringcyclus is tevens de continue verbetering van de prognoses genoemd in het Winningsplan Groningen (verkleining van de onzekerheden) op basis van meetgegevens.



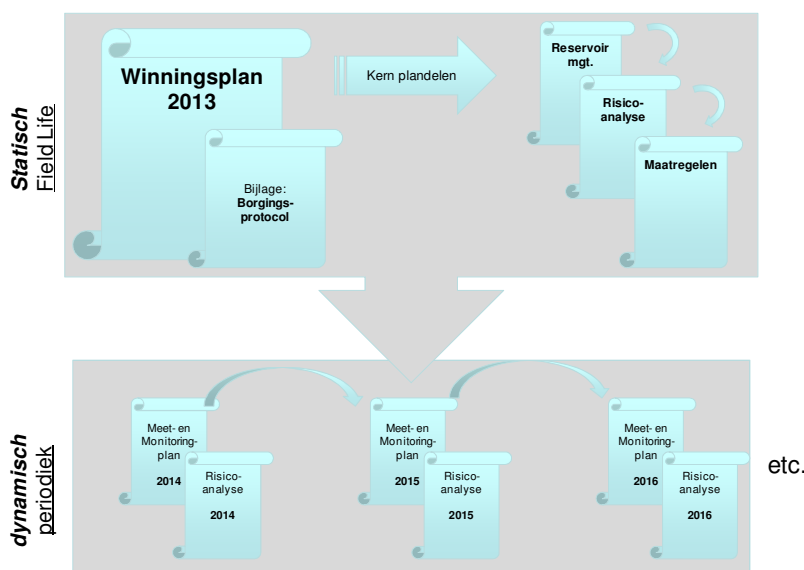
Figuur 2 Schematische weergave van het integrale karakter.

1.3 Samenhang documenten en flankerende stukken

Dit Integraal Meet- en Monitoringsplan Plan beschrijft welke meet- en monitoringsactiviteiten worden uitgevoerd, hoe deze activiteiten worden uitgevoerd, wat er met meetresultaten gedaan zal worden en hoe de rapportage daarover zal plaatsvinden.

Het jaarlijks te actualiseren Integraal Meet- en Monitoringsplan Plan en de jaarlijkse rapportage van de geactualiseerde risicoanalyse wordt gebruikt om de dynamiek in het seismische systeem en de kennisontwikkeling te ondervangen, opdat continu gewerkt wordt met de best beschikbare informatie.

Hiermee wordt de meer statische werking van het Winningsplan en zijn bijlages (waaronder het borgingsprotocol) – indachtig de doelstellingen van het Winningsplan binnen planmatig beheer en evenwichtige productie – behouden (Figuur 3).



Figuur 3 Samenhang tussen het statische karakter van het winningsplan en de ondervanging van de periodieke dynamiek door de jaarlijks te actualiseren risicoanalyse en het meet- en monitoringsplan.

2 Monitoringselementen

Aan de basis van de seismische risicoanalyse staat de relatie tussen (a) het geproduceerde gasvolume, (b) de bodemdaling, (c) het aantal, de sterkte of magnitude en de duur van bevingen, (d) de piekgrondsnelheden en de piekgrondversnellingen en (e) de effecten daarvan op gebouwen en infrastructuur. In dit hoofdstuk zijn deze kernelementen in hoofdlijnen beschreven.

2.1 Reservoir-monitoring

Productiegegevens over het Groningen veld worden continu opgenomen en opgeslagen. De reservoirdruk wordt regelmatig direct gemeten met drukmeters neergelaten in putten. De complete reservoirdruk in het gasveld in plaats en tijd is een resultante van het Groningenveld-reservoir model. Er vindt een jaarlijkse herijking van het reservoirmodel plaats op basis van putmetingen zoals vermeld in het Jaarwerkplan (Mbb 4). Eenmaal per jaar zal de reservoirdruk per productiecluster worden gerapporteerd (Mbb 113).

2.2 Bodemdaling

Door de gaswinning uit de gasvoerende gesteentelagen zal de druk in de poriën van het reservoirgesteente verminderen waardoor compactie van deze lagen optreedt. Dit manifesteert zich aan de oppervlakte in de vorm van bodemdaling.

Voor een uitgebreide beschrijving van het bodemdalingproces wordt verwezen naar het Winningsplan en de ondersteunende technische rapporten.

2.2.1 Bodemdalingmetingen

Tot voor kort werden waterpassingen boven het Groningen voorkomen elke 5 jaar uitgevoerd. Vanaf 1993 worden in het gebied eveneens frequente deformatiemetingen verricht met behulp van radar satellietmissies (InSAR).

In 2013 is de reguliere grote waterpassing, welke normaliter elke 5 jaar plaatsvindt, vervangen door InSAR metingen, aangevuld met een waterpassing over een deel van het Groningenveld, ter validatie van de InSAR metingen. De InSAR metingen en waterpastrajecten worden zo gekozen dat de bodembeweging in het dalingsgebied (zoals weergegeven in het winningsplan voor de betreffende voorkomens) bepaald kan worden met een precisie van enkele centimeters. Voor de waterpassing geldt, dat getracht wordt zoveel mogelijk dezelfde peilmerken aan te meten die ook in eerdere meetcampagnes zijn gebruikt. Tevens voldoet de waterpassing aan de eisen die de Data-ICT-Dienst van Rijkswaterstaat stelt.

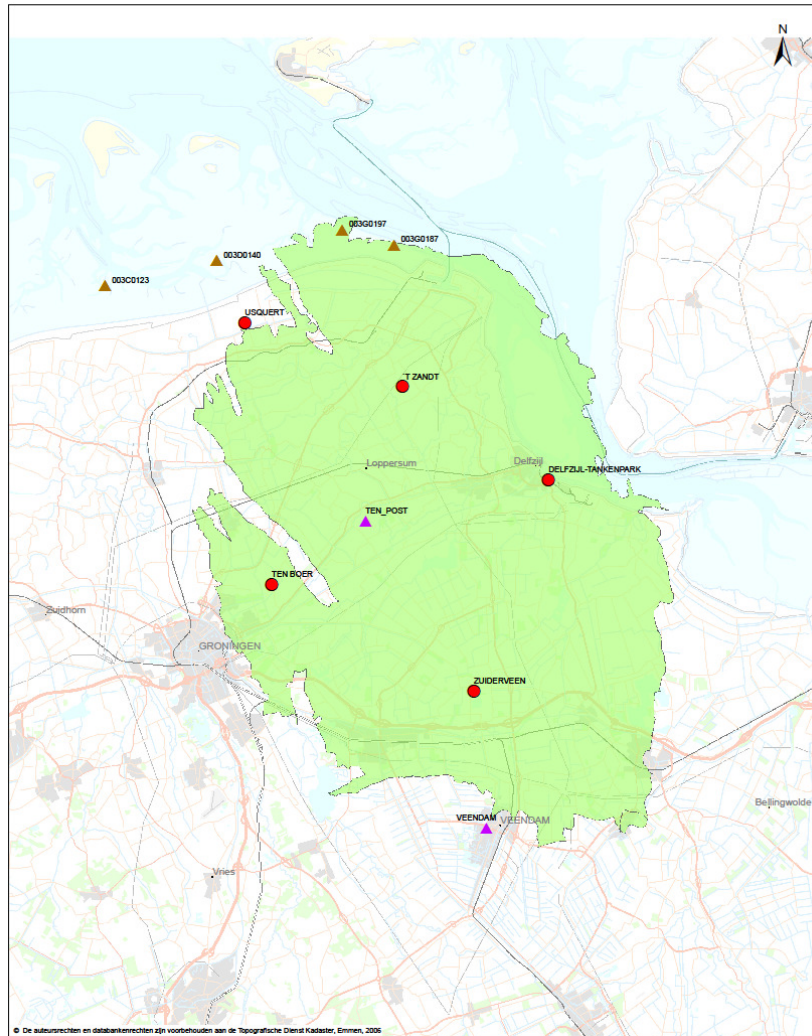
Wat betreft InSAR, zijn in de periode 2003-2010 twee onafhankelijke tijdseries (opgaande (vanaf 2006) en neergaande baan) opgebouwd van opnames van de Envisat satelliet. Vanaf medio 2009 wordt het Groningen voorkomen ook geobserveerd door de Radarsat-2 satelliet, met een interval van 24 dagen. De meetpunten zijn de zogenaamde Persistent Scatterers (PS), welke een consistente reflectie vertonen in de tijd, en hoofdzakelijk corresponderen met bouwwerken in het terrein (PS-InSAR).

Het voordeel van InSAR is de grote ruimtelijke en temporele waarnemingsfrequentie. Ook wat betreft precisie is de toepassing van InSAR gunstiger ten opzichte van enkele waterpastrajecten over een groot gebied. In eerder onderzoek is bovendien aangetoond dat de correlatie tussen bodembeweging uit waterpassen en InSAR vergelijkbaar is met wat kan worden behaald met onafhankelijke waterpassingen (circa 93%).

In 2014 zullen opnieuw de Radarsat-2 deformatie metingen worden gerapporteerd. Tevens zal een geïntegreerde differentiestaat worden opgesteld met een overlappende periode tussen de InSAR metingen van opeenvolgende satelliet missies en de waterpasmetingen van voorgaande jaren.

Elk jaar zullen de InSAR resultaten gerapporteerd worden, waarbij elke 5 jaar een waterpassing ter validatie plaatsvindt zoals de laatste jaren gebruikelijk was.

Momenteel zijn er tevens een 2-tal permanente GPS stations geïnstalleerd, te weten Veendam en Ten Post. Het referentiestation in Emden wordt jaarlijks gecontroleerd op mogelijke deformatie. Bovendien zijn een viertal peilmerk clusters in het Groningerwad met GPS (campagne) gemeten in 2010, 2012 en 2013. Deze peilmerken zullen ook in komende jaren minimaal eens per 3 jaar gemeten worden. In figuur 4 worden de locaties van permanente en peilmerk GPS stations aangegeven.



Figuur 4: GPS meetstations: blauwe driehoek: permanent registrerende GPS stations. Bruine driehoeken: peilmerken, welke middels campagne GPS regelmatig worden gemeten. Rode rondjes: Uitbreiding permanent GPS netwerk station

Er zal een onderzoek/experiment uitgevoerd worden naar de eventuele meerwaarde van een permanent/semi-permanent GPS netwerk gecombineerd met de RADARSAT-2 gegevens. Hierbij wordt in eerste instantie het plan uitgewerkt om een aantal (5) permanente GPS ontvangers te plaatsen op locaties. De locaties worden zo gekozen, dat er voldoende scatterers zijn om de data te vergelijken met INSAR metingen. Met deze extra vijf locaties en de al eerder geïnstalleerde ontvangers op Ten Post en Veendam is er goede verdeling van sensoren over het Groningen veld.

Met de permanente geïnstalleerde ontvangers worden een aantal onderzoeken uitgevoerd:

- Het effect van een GPS campagne ten opzichte van permanent geïnstalleerde ontvangers.
- Monitoren van de horizontale beweging. Eerdere analyses hebben aangetoond dat deze aan de randen van het veld zo'n 2-3 mm/jr is. Hetgeen betekent dat enige tijd gemeten moet worden om een significant signaal te kunnen detecteren.

Met InSAR wordt onderzocht of meer informatie uit de beschikbare data gehaald kan worden en wordt de spatiële component onderzocht.

Naar het gebruik van Compact Active Transponders (CAT) en/of hoekreflectoren worden momenteel onderzoeken gedaan bij TU Delft. Na afronding hiervan zal een mogelijke toepassing voor het Groningerveld worden onderzocht.

2.2.1.1 Beschrijving van tijdstip(pen) van meting en te gebruiken meetmethoden (Mb 30 lid 7a, Mb 30 lid 7c)

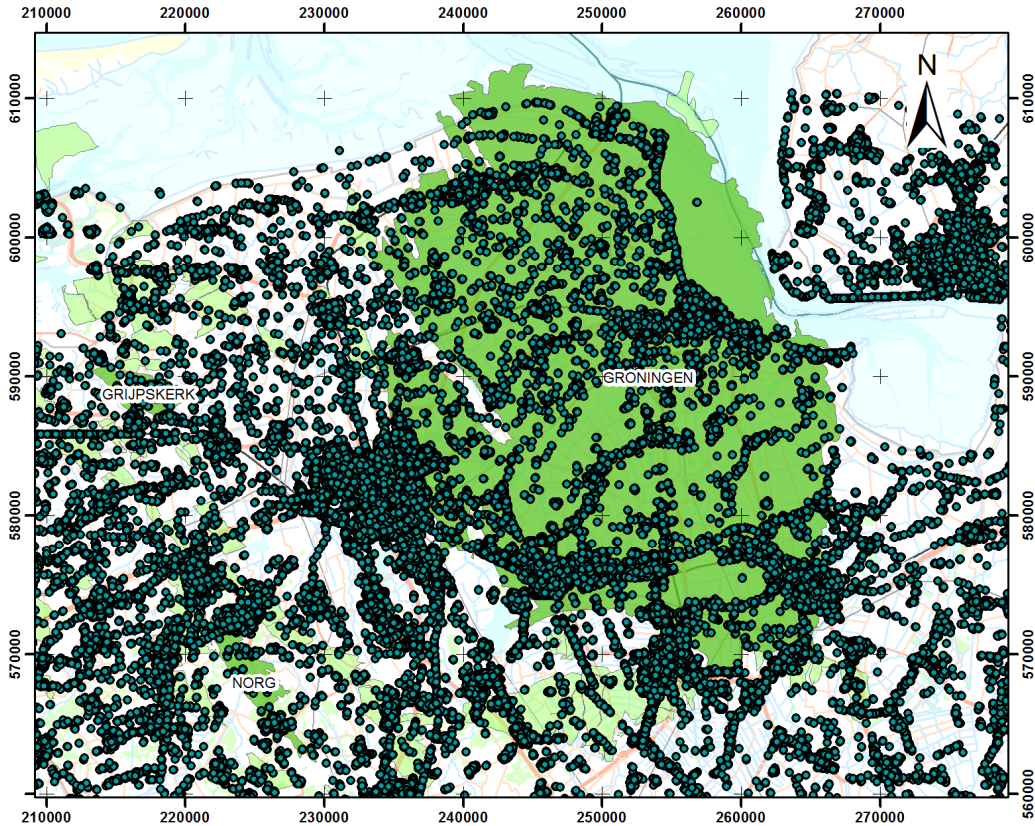
Jaar eerst-volgende meting	Interval	Laatste jaar van meting*)	Meetmethode (Optische/hydrostatische waterpassing, GPS, InSAR)
2018	5 jaar	2100**)	Optische secundaire waterpassing (groot) en/of PS-InSAR
2014	1 jaar	2100**)	PS-InSAR rapportage Incl. Onderzoek naar additionele info
2014	Continu	2100**)	Permanente GPS station Ten Post en Veendam Aangevuld met 5 GPS stations
2014	3 jaar	2100**)	GPS campagne peilmerken op Groninger-wad

*) Metingen worden beëindigd 30 jaar na einde van de winning (Groningen) met mogelijke aanpassing van de meetfrequentie als uit metingen blijkt dat de bodemdaling door gaswinning niet significant toe- of afneemt. Verder zal deze informatie jaarlijks (tot 5 jaar na einde winning) worden geactualiseerd.

**) Het genoemde jaartal is gerelateerd aan het (in het Winningsplan aangegeven) productieprofiel.

2.2.1.2 Beschrijving van de plaatsen waar gemeten wordt (Mbb 30 lid 7b)

Figuur 5 toont de ruimtelijke bedekking van de Persistent Scatterers van de Radarsat-2 (neergaande) baan.



Figuur 5: Ruimtelijke bedekking met Persistent Scatterers in noordoost Nederland op basis van beelden van neergaande Radarsat-2 baan.

2.3 Bodemtrilling

Compactie van het reservoirgesteente kan onderlinge beweging tussen gesteentelagen veroorzaken. Dit kan zich aan de oppervlakte manifesteren in de vorm van aardbevingen.

Aardbevingen worden op de volgende parameters gemonitord: bevingsterkte (magnitude), locatie (hypocentrum), de duur, de frequentie, de piekgrondsnelheid en de piekgrondversnelling.

2.3.1 Seismisch meetnetwerk

2.3.1.1 Beschrijving van tijdstip en te gebruiken meetmethode(n). (Mbb 30 lid 7a, Mbb 30 lid 7c)

Voor onderzoek naar aardbevingen door gaswinning wordt sinds 1995 een netwerk van boorgatseismometers en versnellingsmeters gebruikt dat momenteel (eind 2013) verder wordt uitgebreid. Het meetnetwerk is eigendom van en wordt beheerd en onderhouden door het KNMI.

Het huidige seismisch meetnetwerk van het KNMI in Noord-Nederland is zo ontworpen dat elke aardbeving met een sterkte (magnitude) van 1,5 en hoger in de omgeving van het Groningen veld geregistreerd kan worden. Dicht in de buurt van de meetlocaties kunnen ook nog kleinere bevingen worden gemeten.

Het meetnet zal operationeel blijven tot minimaal 30 jaar na het beëindigen van de winning indien dit technisch en operationeel mogelijk is. Verder zal deze informatie jaarlijks (tot 5 jaar na einde winning) worden geactualiseerd.

2.3.1.2 Beschrijving van de plaatsen waar gemeten wordt (Mbb 30 lid 7b)

Een kaart van alle in Noord Nederland geïnstalleerde seismometers en versnellingsmeters is opgenomen in Figuur 6 (pagina 12).

2.3.2 *Netwerk van boorgatstations*

Het seismische meetnetwerk bestaat momenteel uit 14 boorgatstations met seismometers op verschillende dieptes met een onderlinge verticale afstand van 50 meter. Er worden boorgaten van 150 tot 200 meter diepte gebruikt omdat bodemruis op deze diepte een factor 10-100 lager is dan aan het oppervlak, zodat ook kleine aardbevingen geregistreerd kunnen worden. Het boorgatnetwerk wordt in 2014 uitgebreid met 60 additionele boorgaten zodat de detectie en lokalisering van aardbevingen aanzienlijk verbeterd worden.

De parameters die gemeten worden bij bevingen met een magnitude van 1.5 en hoger bevatten de bevingsterkte (magnitude), locatiebepaling (hypocentrum), de duur en de frequentie.

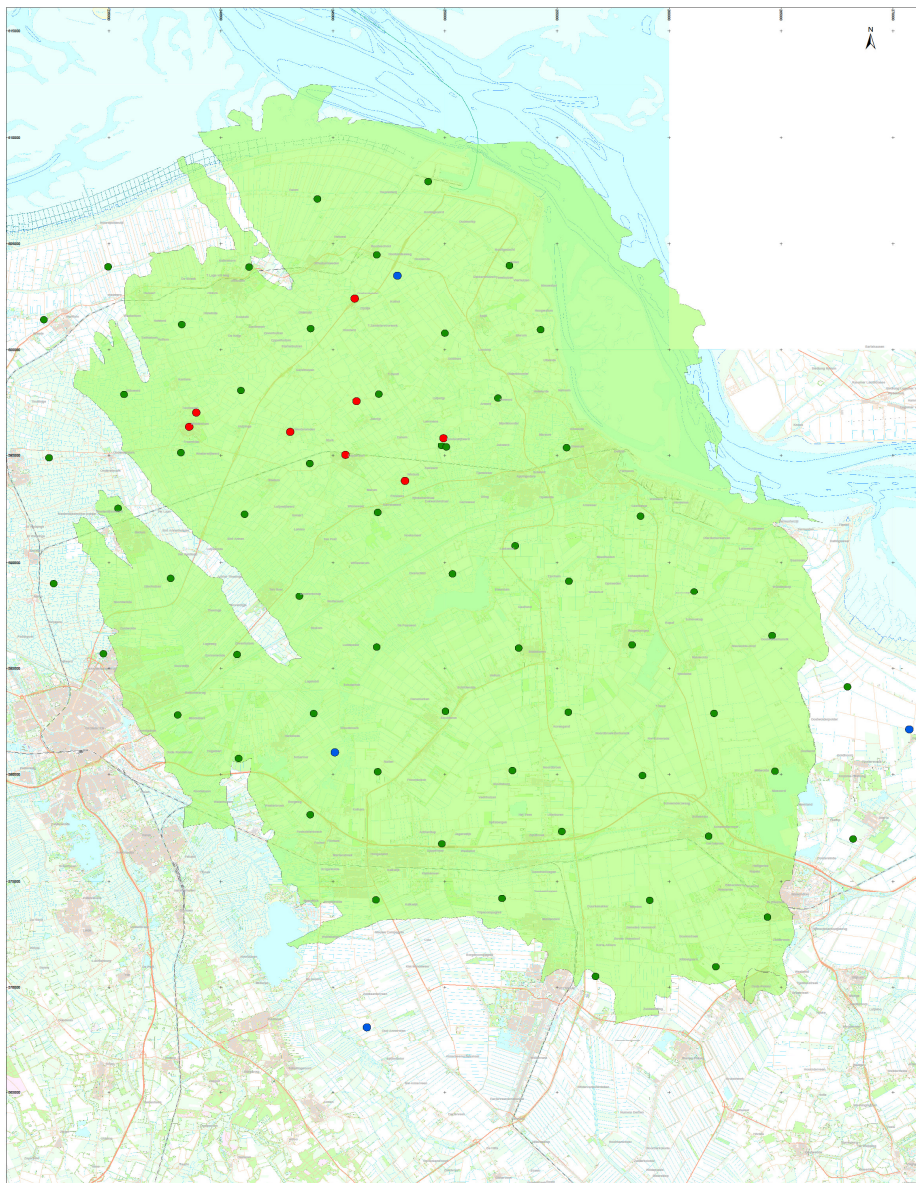
Geregistreerde data komt in de loop van 2014 beschikbaar en wordt real-time doorgestuurd aan het KNMI voor analyse. De resultaten van de analyse worden gepubliceerd door het KNMI.

2.3.3 *Bovengronds netwerk van versnellingsmeters*

Het huidige meetnet van versnellingsmeters in Noord-Nederland bestaat uit 12 versnellingsmeters. Dit meetnet wordt geopereerd door het KNMI en heeft als doel de bewegingssnelheid en versnelling van het aardoppervlak te bepalen, hetgeen een maat is voor de kans op en omvang van schade. Ook wordt deze informatie gebruikt om de relatie tussen de magnitude van de beving en de snelheid en versnelling voor variërende afstand vanaf het epicentrum verder te kalibreren.

Het meetnet wordt in 2014 uitgebreid met 60 additionele versnellingsmeters die het gehele oppervlakte boven het Groningenveld zullen bestrijken. Ook het uitgebreide meetnetwerk zal door KNMI worden beheerd en onderhouden.

De parameters die gerapporteerd zullen worden zijn de piekgrondsnelheid (PGV) en de piekgrondversnelling (PGA), welke real-time worden doorgestuurd aan het KNMI. KNMI verzorgt de analyse en publicatie van deze data. Figuur 6 toont een kaart waarop de bovengenoemde meetpunten zijn weergegeven.



Figuur 6 Donkergroen symbol: Voorziena locaties van te installeren boorgat seismometers en bovengrondse versnellingsmeters. Rood symbol: KNMI versnellingsensor meetnetwerk. Blauwe symbolen: KNMI Boorgat Seismometer netwerk

2.3.4 Ondergrondse verticale seismische arrays

Er bestaat momenteel (eind 2013) nog onzekerheid over de exacte diepte waarop aardbevingen ontstaan. Als meest waarschijnlijk wordt aangenomen dat aardbevingen ontstaan op dezelfde diepte als de gashoudende laag. Het diep onder de grond plaatsen van seismometers draagt bij aan een meer precieze lokalisatie van het hypocentrum in verticale en horizontale richting. Daarnaast dragen diep geplaatste seismometers vanwege een sterk gereduceerd omgevingsgeluidsniveau bij aan de lokale verlaging van de magnitude detectiedrempel, waardoor aardbevingen die niet aan het aardoppervlakte gevoeld worden toch geregistreerd kunnen worden. De verwachting is dat op basis van deze meetgegevens beter inzicht gekregen wordt in het mechanisme achter de aardbevingen.

Er zullen (eind 2013) twee ondergronds geïnstalleerde verticale arrays worden gerealiseerd in het Loppersum gebied, waarbij seismometers worden geplaatst tot een diepte van ongeveer 3000 meter. De

seismometers zijn ontworpen om aardbevingen met een magnitude van $M = -2.5$ tot $M = 1$ over de afstand van 500 meter tot 10 kilometer te detecteren. De meetgegevens worden dagelijks geanalyseerd en op maandelijks basis gepubliceerd door NAM.

2.4 Monitoring aan gebouwen

De monitoringselementen aan gebouwen zijn met name het opzetten van een meetnet voor gebouwtrillingen, het uitvoeren van visuele inspecties en preventieve maatregelen (inclusief het analyseren van gerapporteerde schademeldingen).

2.4.1 Meetnet gebouwtrillingen

Over de overdracht van bodemtrillingen naar de gebouwen, zowel naar de fundering als in het gebouw zelf, is voor de situatie in Groningen nog relatief weinig informatie beschikbaar. Datzelfde geldt ook voor de relatie tussen trillingen in de gebouwen en het ontstaan van schade.

Om meer inzicht te verkrijgen in de effecten van aardbevingen op de gebouwen in de seismische regio zal begin 2014 een meetnet geïnstalleerd worden. Het netwerk bestaat uit circa 200 versnellingsmeters die aan/in gebouwen aangebracht worden. Een versnellingsmeter is een systeem dat bestaat uit een trillingsensor, dataopslag en datacommunicatieapparatuur.

De gebouwen worden voorzien van een trillingsmeter op funderingsniveau. Daarnaast wordt een tiental gebouwen uitgerust met meerdere trillingsmeters om voor deze specifieke en daarop geselecteerde gebouwtypes ook op andere plaatsen in de constructie de trillingen beter in kaart te brengen.

Alle meters worden geselecteerd en geïnstalleerd door TNO. Het beheer van het meetnet en de data is in handen van TNO. Een onderdeel hiervan is het communiceren van de data naar het publiek. De data gemeten met de versnellingsmeters aan private gebouwen wordt geaggregeerd ontsloten via een website die voor iedereen toegankelijk is. Daarnaast heeft elke individuele gebouwweigenaar met een trillingsmeter toegang tot de persoonlijke meetdata.

2.4.2 Visuele inspecties en preventieve maatregelen

Ten einde de veiligheid van gebouwen in de regio te monitoren en te beheersen is een bouwtechnisch inspectieprogramma opgesteld. Dit programma (gestart in oktober 2013) is tweeledig: een initiële visuele inspectie en een aansluitende, meer gedetailleerde inspectie indien er indicaties zijn dat zich onveilige elementen bevinden in gebouwen.

Aansluitend aan de inspectie van gebouwen vindt in voorkomende gevallen preventieve, bouwkundige versterking plaats. Constructieve elementen van gebouwen die versterking behoeven worden binnen dit programma verstevigd.

2.5 Rapportage

In de hier onderstaande, samenvattende tabel 1 is een overzicht gegeven van de genoemde monitoringselementen, de methodiek en frequentie van meten. Een aantal van de gehanteerde basisbeginselen rond meten en monitoring wordt kort geschetst.

2.5.1 Consistentie

Doelstelling is om het meten en rapporteren van de monitoringselementen zo in te richten dat zij over een zeker tijdsverloop vergelijkbaar zijn, hierbij zal gebruik worden gemaakt van dezelfde monitoringmethodieken en gegevensbestanden. Monitoringmethodieken kunnen worden gewijzigd indien daartoe aanleiding is en zullen worden gerapporteerd in actualisaties van dit meet- en monitoringsplan. Dit zal blijken uit de periodieke rapportage en versiecontrole op dit plan.

<i>Parameter</i>	<i>omschrijving</i>	<i>methodiek/frequentie</i>	<i>partij</i>
Ondergrond			
Geproduceerd gasvolume	Rapportage van productie en reservoir gegevens	Rapportage van onttrokken gasvolume en jaarlijkse rapportage van reservoirdruk per productielocatie	NAM
Bodemdaling	Periodieke hoogteverschilmetingen	Minimaal 5 jaarlijks uitgevoerd, door middel van waterpassing of meettechnieken met dezelfde of betere precisie en betrouwbaarheid, zoals GPS of InSAR.	NAM
Seismische activiteit	Netwerk van boorgatseismometers over het gehele Groningen veld.	Rapportage van magnitude en locatiebepaling van aardbevingen met M>1.5	KNMI
Versnelling (PGA)	Netwerk van versnellingsmeters.	Real-time meten van piekgrondversnelling (PGA)	KNMI
Bovengrond/gebouwen			
Trillingsmeters	Netwerk van trillingsmeters die gebouwtrillingen meten	Real-time meten van gebouwtrillingen.	TNO
Schade opnemen/ rapportage	aantal schades en analyse van trends	Continu	NAM
Inspecties en bouwkundig versterken	Uitgevoerde inspecties en preventieve, bouwkundige versterkingen	Continu	NAM

Tabel 1 Overzicht van monitoringselementen

2.5.2 Transparantie

Monitoringsgegevens, met inbegrip van aannamen, verwijzingen, activiteitsgegevens en conversiefactoren, worden verzameld en zodanig geregistreerd, samengevoegd, geanalyseerd en gedocumenteerd dat de verificateur en de bevoegde autoriteit de uitkomsten kunnen reproduceren.

2.5.3 Juistheid

Er zal op worden toegezien dat de monitoringsgegevens op een accurate manier worden gerepresenteerd. Bronnen van onzekerheid moeten worden opgespoord en zoveel mogelijk beperkt. Er worden gepaste inspanningen gedaan om te zorgen dat berekeningen en metingen nauwkeurig worden uitgevoerd. De metende partij (NAM, TNO of KNMI) dient ervoor te zorgen dat de integriteit van de gerapporteerde gegevens met redelijke mate van zekerheid kan worden vastgesteld. Alle meet- of andere beproevingsapparatuur die voor de rapportage van monitoringgegevens wordt gebruikt, moet naar behoren worden toegepast, onderhouden, gekalibreerd en gecontroleerd. De gerapporteerde gegevens en daarmee samenhangende bekendmakingen mogen geen beduidende onjuiste opgaven bevatten, moeten zodanig zijn dat systematische fouten bij de selectie en presentatie van informatie worden vermeden, en moeten een betrouwbare en evenwichtige beschrijving geven.

2.6 Interne operationele borging

De mijnbouwwerken van het Groningenveld zijn in beheer bij de Asset Groningen van NAM. De Asset Manager Groningen is de namens NAM aangewezen verantwoordelijke en vergunninghouder en daarmee eindverantwoordelijke voor de juiste uitvoering van dit meet- en monitoringsplan.

Uitvoering en rapportage van monitoringselementen liggen bij zowel interne NAM-afdelingen, als externe partijen als TNO en KNMI. In voorgaande paragrafen zijn deze aangegeven. Indien externe partijen de monitoring verzorgen is middels afspraken vastgelegd welke monitoring plaats heeft, hoe de gegevens worden beheerd en op welke wijze deze ter beschikking van de NAM en derden worden gesteld.

Het meten en rapporteren van de geproduceerde gasvolumes als ook het reservoirmanagement in bredere zin vallen onder de verantwoordelijkheid van de Asset Manager Groningen.

Het meten van de opgetreden bodemdaling valt onder de verantwoordelijkheid van de afdeling Geomatics in NAM. Geomechanische modellering en het uitvoeren van de bodemdalingprognoses worden uitgevoerd door het geomechanics team in samenwerking met de geologen en reservoir engineers van de Asset Groningen.

2.7 NAM milieu- en veiligheidszorg

Bij de NAM is milieu- en veiligheidszorg volledig geïntegreerd in het bedrijfsvoeringssysteem. Het bedrijfsvoeringssysteem (Mbb 37) is voornamelijk gericht op de aantoonbare beheersing van de bedrijfsprocessen. Voor elk bedrijfsproces is een op risico's gebaseerd raamwerk van beheersmaatregelen opgesteld (Process Management System). Voor elk proces is een Proces Eigenaar benoemd, die intern de naleving van de betreffende regelgeving bewaakt.

Het zorgsysteem staat voor een systematische beheersing van de milieuaspecten die een bepaalde mate van risico met zich meebrengen. Verstoring van bodem en ondergrond, inclusief bodembeweging, is door de NAM onderkend als een belangrijk milieuaspect, waarvoor procedures, werkinstructies en onderhavig plan zijn opgesteld.

Een wezenlijk kenmerk van dit beheerssysteem is de kwaliteitsborging en continue verbetering zoals geschetst in de inleiding.

2.8 Tijdslijnen

Dit meet- en monitoringsplan is een onderdeel van de jaarlijks te doorlopen borgingscyclus (zoals gedocumenteerd in Borgingsprotocol Seismisch Risico Groningen). In deze cyclus zal het verzamelen en de analyse van gegevens op continue basis plaatsvinden. De validatie van de meetgegevens zal typisch plaatsvinden in de maand juli als input voor analyse en interpretatie en de uiteindelijke jaarlijks geactualiseerde risico-analyse. De rapportage aan de minister van EZ zal zijn voor 1 november van elk jaar, indachtig de wettelijke termijn voor een Meetplan Bodembeweging.

2.9 Rapportage en online beschikbaarheid

De rapportage aan de minister van EZ zal beschikbaar worden gesteld door de NAM.

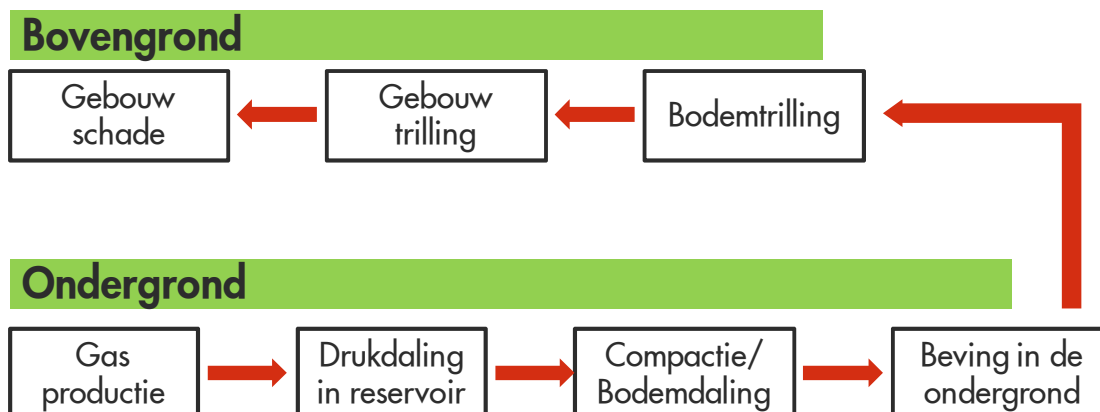
NAM streeft er naar om een online monitoringstool beschikbaar te maken die gebruik maakt van de verschillende bronnen, teneinde stakeholders en geïnteresseerden zo goed mogelijk te informeren over het gasveld. De gegevens van enkele monitoringselementen die genoemd zijn onder de punten 2.1 t/m 2.4, zullen zo veel mogelijk actueel worden ontsloten door NAM. Daarnaast zijn er meerdere bronnen om gegevens online te raadplegen:

- Het epicentrum en de sterkte van de gemeten aardbevingen zal door het KNMI worden beschikbaar gemaakt op de website www.knmi.nl.
- De andere in dit plan vastgelegde monitoringsdata zal na validatie beschikbaar worden gemaakt op de door het TNO beheerde website www.nlog.nl.
- De aan dit meet- en monitoringsplan en het Winningsplan ten grondslag liggende onderzoeken zijn beschikbaar via de door NAM beheerde website www.namplatform.nl

3 Verkleining van onzekerheden

In de huidige (eind 2013) modellen en studies is een aantal onzekerheden geïdentificeerd die leiden tot een mate van spreiding in de voorspellingen over sterkte, aantal bevingen evenals de mogelijk resulterende schade aan gebouwen. De resultaten van monitoringactiviteiten zoals beschreven in sectie 2 zullen gebruikt worden om middels verdergaande studies de onzekerheden verder te reduceren.

De analyse van het risico is gebaseerd op het hieronder gevisualiseerde (Figuur 7) en het beschreven begrip van hoe gasproductie kan leiden tot gebouwschade.



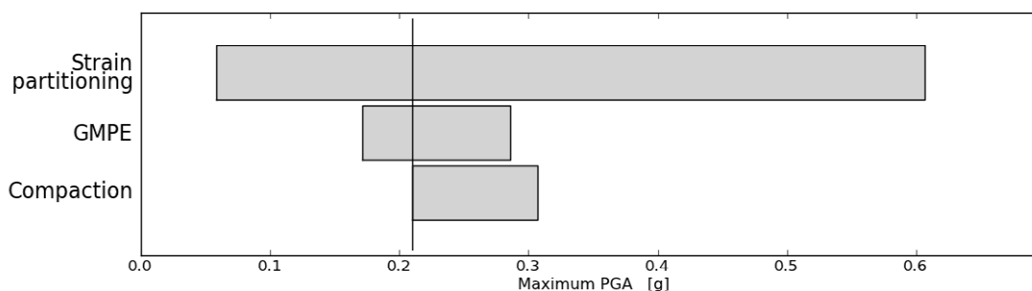
Figuur 7 Elementen van de keten die leidt van gasproductie tot gebouwschade.

Gasproductie leidt tot drukkaling in het reservoir wat weer leidt tot compactie van het reservoir. Het is aannemelijk dat deze compactie de drijvende kracht is achter het ontstaan van geïnduceerde bevingen. Reservoircompactie leidt tot spanning in het reservoir die voor het grootste deel middels niet seismische processen gedissipeerd wordt in het reservoir en voor een klein deel ontladen kunnen worden in de vorm van geïnduceerde bevingen. Deze bevingen in de ondergrond planten zich voort en aan het oppervlak manifesteren ze zich als bevingen op grondniveau. Gebouwen kunnen gaan meetrillen en afhankelijk van de trillingsterkte en de kwaliteit en eigenschappen van het gebouw kan dat tot schade en risico leiden.

Alle stappen in deze keten zijn gevat in het risicomodel en aan een aantal stappen zijn onzekerheden in de modelvorming verbonden die hieronder staan beschreven en die mogelijk gereduceerd kunnen worden met behulp van de monitoringactiviteiten.

3.1 Onzekerheden in de ondergrond

Een analyse van de belangrijkste bijdragen aan de onzekerheid in maximum grondversnelling PGA laat zien dat drie factoren van belang zijn (Figuur 8): De koppeling coëfficiënt tussen seismisch moment en volumetrische compactie energie (α of "strain partitioning" factor), de empirische grondbewegingsrelatie (GMPE) en de compactie.



Figuur 8 Overzicht van de relatieve onzekerheden rond een PGA van 0.2

3.1.1 Koppeling coëfficiënt tussen seismisch moment en volumetrische compactie energie.

De belangrijkste onzekerheid in de risico-inschatting is de onzekerheid in de koppeling coëfficiënt (α) tussen seismisch moment en volumetrische compactie energie wat zich vertaalt naar een onzekerheid in de prognose betreffende piekgrondversnelling, frequentie, magnitude en regionale verspreiding van aardbevingen.

De meetnetten zoals beschreven in sectie 2.3 zullen meer en nauwkeuriger data leveren over locatie, diepte en magnitude van bevingen. Met deze gegevens kunnen meer gedetailleerde geomechanische en seismische modellen getoetst worden. Deze geomechanische modellen kunnen potentieel een betere beschrijving geven van het gedrag van breuken in de ondergrond en hun reactie op differentiële drukdaling, wat de invloed is van de aanwezigheid van een Zechstein zoutlaag boven het reservoir en wat de invloed is van specifieke breuk geometrieën.

De bestaande seismologische, productie en geodetische gegevens uit het Groningenveld laten zien dat α momenteel tussen de 10^{-4} tot 10^{-3} is. Dit houdt in dat op dit moment slechts 0,01-0,1% van de totale compactie energie wordt ontlast via aardbevingen. De rest wordt geacomodeerd en gedissipeerd middels niet-seismische processen zoals elastische vervorming van zandkorrels, druk oplossing, verbreken van korrel-korrel contacten etc. Er lijkt echter wel een toename te zien van α over de tijd en met het cumulatief geproduceerd gasvolume. Zonder aanvullende inzichten of data die verdere toename kunnen uitsluiten, moet er op dit moment in de modellen rekening gehouden worden met een waarde van α die toe zou kunnen nemen tot de absolute bovengrens van 1 (wat inhoudt dat alle compactie energie in zijn geheel en in een keer vrijkomt in de vorm van een beving, hetgeen (door alle geconsulteerde experts) als een zeer onwaarschijnlijke situatie wordt gezien. Als de aanvullende monitorings-activiteiten en de verdere studies, in combinatie met verder literatuur onderzoek een beperking van de mogelijke toename van α oplevert, zal dit naar verwachting leiden tot een verlaging van de risico inschattingen.

3.1.2 Grondbeweging

Om de potentiële impact van een aardbeving op de gebouwen en omgeving te karakteriseren is het noodzakelijk om de mate van het bewegen van de grond en de overdracht hiervan naar gebouwen te kwantificeren. In de modellen zijn de zogenaamde "Ground Motion Prediction Equations" (GMPE) die de beving in de ondergrond vertalen naar een grondbeweging aan het oppervlak een bron van onzekerheid. Het bewegen van de grond als gevolg van aardbevingen wordt gemeten door versnellingsmeters, meters die de versnelling als functie van tijd registreren, en uitgedrukt in de piekgrondversnelling (PGA) en de piekgrondsnelheid (PGV). Het bovengronds netwerk van versnellingmeters (sectie 2.3.2) in combinatie met het seismische meetnetwerk (sectie 2.3.1) zal een belangrijke bron van gegevens zijn om de GMPE te verfijnen en de onzekerheid in de vertaling van beving in de ondergrond naar een grondbeweging aan het oppervlak te reduceren.

3.1.3 Compactie

De regelmatige bodemdalingsmetingen helpen de onzekerheden in de reservoir-compactie prognose te verkleinen. Verder kunnen compactiemetingen aan gesteentemonsters en onderzoeken naar verbetering van modellering van het tijdsafhankelijke compactie gedrag mogelijk de onzekerheid in de compactie prognose verkleinen.

3.2 Onzekerheden in de bovengrond

3.2.1 Gebouwentrilling

Bodemtrillingen kunnen leiden tot trillingen in de gebouwen. Er is echter geen sprake van een één-op-één overdracht van de trillingen. De mate waarin bodemtrillingen worden overgedragen naar gebouwen is afhankelijk van meerdere factoren, zoals de lokale opbouw van de ondergrond en de wijze van funderen van het gebouw. Verbeterd inzicht in de overdracht van de trillingen zal verkregen worden door de met het seismisch meetnetwerk gemeten bodemtrillingen te vergelijken met gebouwtrillingen zoals gemeten door een meetnet van trillingsmeters in gebouwen (sectie 2.4.1). Het is de intentie om een zo goed mogelijke koppeling tussen de verschillende meetnetwerken te realiseren.

3.2.2 Gebouwschade

Trillingen kunnen leiden tot gebouwschade. De kwetsbaarheid van gebouwen hangt af van het type gebouw. Dit wordt beschreven door zogenaamde “fragility curves” die aangeven wat de kans op gebouwschade is als functie van trillingssterkte en gebouw type. Een van de onzekerheden is de variatie binnen de verschillende gebouw typologieën. Gebouw inspecties zullen hier een belangrijk hulpmiddel zijn om deze onzekerheid te verkleinen. Ook de verwachte duur en frequentie-inhoud van de groundbeweging (3.1.2) is een onzekerheid. De monitoring met het bovengrondse netwerk van versnellingmeters (2.3.3) samen met het meetnet gebouwtrillingen (2.4.1) zal naar verwachting veel inzichten opleveren over duur en frequentie-inhoud van de groundbeweging en het effect daarvan op gebouwen.

Om inzicht te verkrijgen in de gevolgen van de trillingen voor gebouwschade is voor een aantal gemodelleerde gebouwen berekend of de trillingen resulteren in schade. De resultaten van deze berekeningen hebben een relatief grote onzekerheid. Om die onzekerheid te kunnen verkleinen, wordt in de betreffende gebouwen, na elke aardbeving van enige importantie, de schade opgenomen. De opgenomen schade wordt vervolgens vergeleken met de berekende en gemeten trillingen en met de geprognosticeerde schade.

3.3 Gehanteerde afkortingen en begrippen

Bodembeweging	Verzamelnaam voor bodemdaling/stijging en bodemtrilling als gevolg van de winning van delfstoffen
NAM	Nederlandse Aardolie Maatschappij BV
EZ	Ministerie van Economische Zaken
Tcbb	Technische commissie bodembeweging
SodM	Staattoezicht op de Mijnen
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
TNO	Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek
Hypocentrum	De lokatie in de ondergrond waar de beving plaatsvindt (X,Y,Z coördinaten).
Epicentrum	Punt op het aardoppervlak loodrecht boven het hypocentrum (ondergronds) van een aardbeving (X, Y coördinaten)
FEMA	Federal Emergency Management Agency
GMPE	Ground Motion Prediction Equations
PGA	Peak Ground Acceleration
PGV	Peak Ground Velocity
InSAR	Satellietmetingen van bodemdaling (Interferometric Synthetic Aperture Radar)
RWS	Rijkswaterstaat
GPS	Global Positioning System
Mbb	Mijnbouwbesluit
Mbw	Mijnbouwwet
VGWM	Veiligheid, Gezondheid, Welzijn, en Milieu
ASCE	American Society of Civil Engineers
NAP	Normaal Amsterdams Peil
NEN-EN	NEDerlandse Norm, EN voor Europese Norm
α	Partitioning factor: Koppeling coëfficiënt tussen seismisch moment en volumetrische compactie energie

Bijlage: Borgingsprotocol escalatie in 2014

Zoals beschreven in het Borgingsprotocol Seismisch Risico Groningen zal er continu een aantal trends van parameters geassocieerd met opgetreden bevingen bijgehouden worden. Het bijhouden van deze trends heeft tot doel om continu te verifiëren of nieuwe waarnemingen in overeenstemming zijn met voorspelde waarden. Als de waarnemingen afwijken van de voorspelde waarden dan is dat mogelijk een aanwijzing dat de risicoanalyse versneld geactualiseerd moet worden. Op basis van het onderzoek dat gedaan is en de op basis daarvan geïdentificeerde systematiek en onzekerheden wil NAM in 2014 trends in de volgende parameters gebruiken voor diagnostische monitoring:

[1] het totale seismische moment versus totale productie

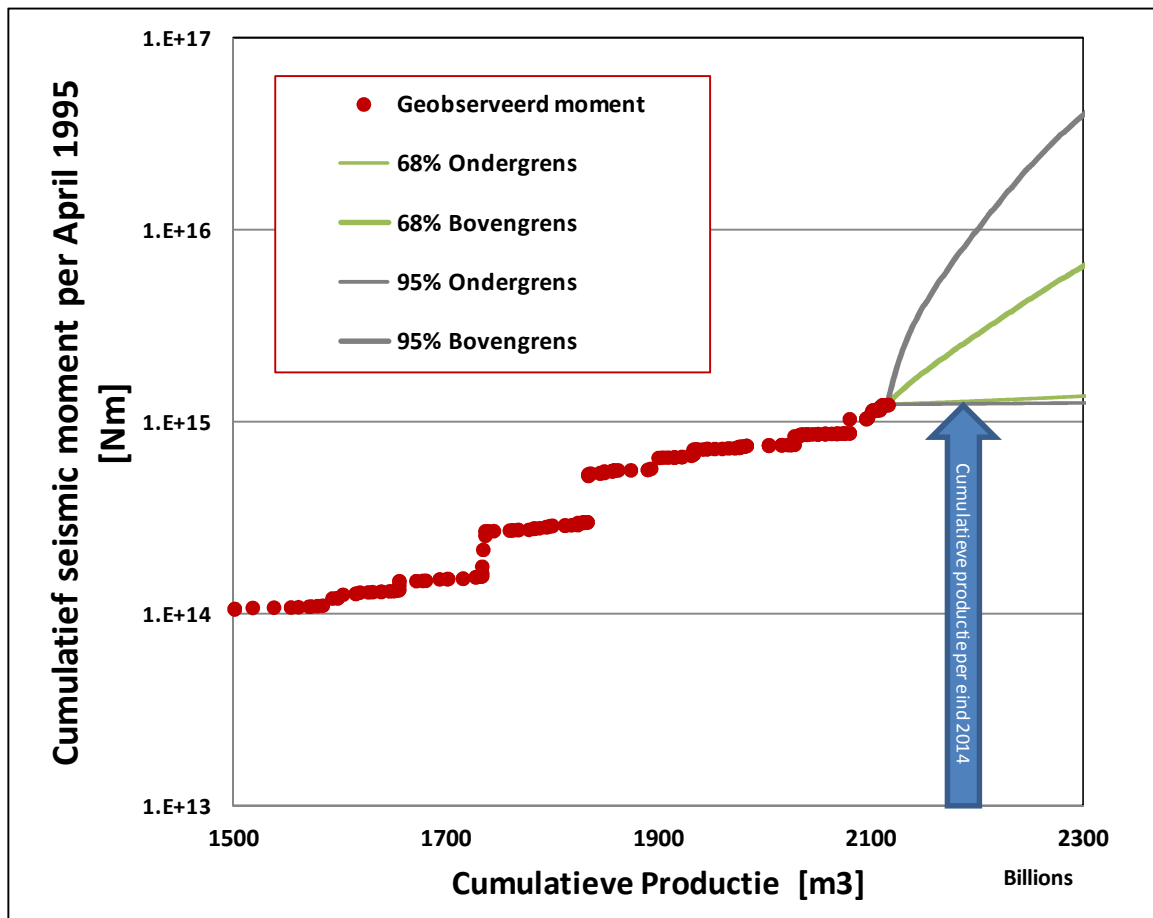
[2] het cumulatief aantal bevingen boven een drempelwaarde

[3] de geometrisch gemiddelde PGA voor bevingen met een magnitude boven de 2.5

De geobserveerde trends en de verwachte extrapolatie daarvan in de nabije toekomst zijn weergegeven in Figuren B.1 tot en met B.3. Een significante afwijking van de voorspelde waarden wordt gedefinieerd door een geobserveerde parameter die buiten het 68% betrouwbaarheidsinterval treedt. In de figuren is het 68% betrouwbaarheidsinterval rond de trends aangegeven. Mocht een van de parameters buiten het 68% interval treden dan zal NAM in contact treden met SodM en in overleg besluiten of escalatie noodzakelijk is.

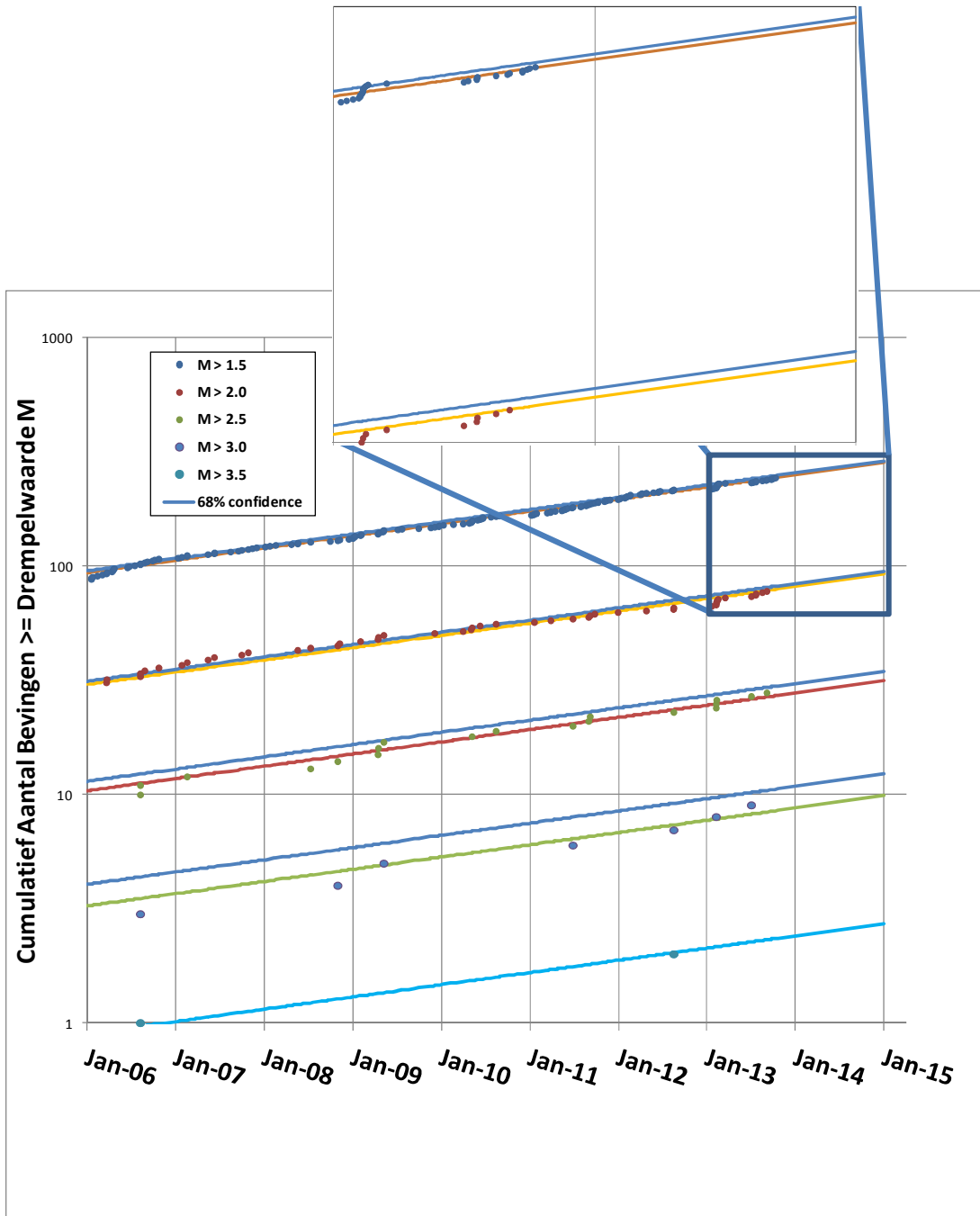
Voortschrijdend inzicht kan leiden tot een andere keuze van continu te monitoren parameters. Dit zal als onderdeel van de jaarlijkse cyclus bediscussieerd worden en indien nodig aangepast worden.

Figuur B.1 laat het totale seismische moment versus totale productie tot aan oktober 2013 zien. De aangegeven 68% en 95% betrouwbaarheidsintervallen voor de verdere toename van het totale seismische moment ten gevolge van verdere gasproductie zijn berekend met behulp van het probabilistische seismische hazard model zoals gerapporteerd in het rapport "Subsurface Aspects of Induced Earthquakes in the Groningen Field" (TBO rapport 5).



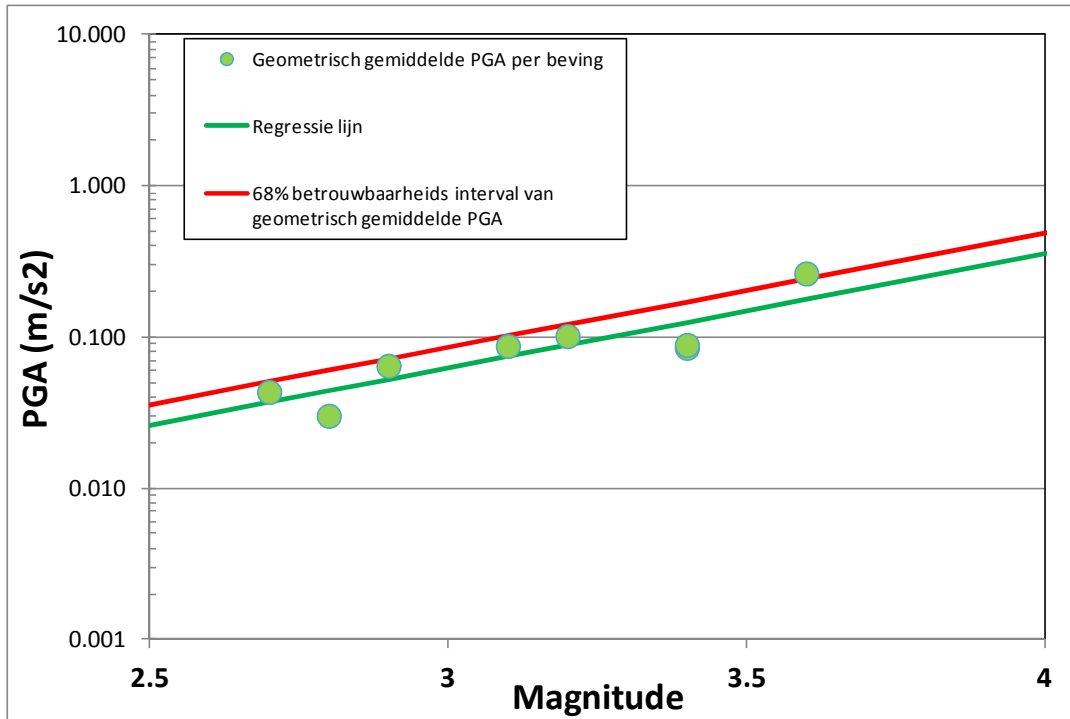
Figuur B.1 Totale Seismische moment versus totale productie tot aan oktober 2013. De 68% en 95% betrouwbaarheidsintervallen voor de verdere toename van het totale seismische moment ten gevolge van verdere gasproductie zijn aangegeven.

Figuur B.2 laat het cumulatief aantal bevingen boven een drempelwaarde zien over de laatste acht jaar. De gebruikte data is afkomstig van KNMI (www.knmi.nl) en is geactualiseerd tot eind oktober 2013. De data over de laatste 8 jaar is gebruikt om de getrokken trendlijnen en de bijbehorende 68% betrouwbaarheidsintervallen te berekenen. Voor bevingen $M > 3.5$ is de statistiek te gering om betrouwbaarheidsintervallen te bepalen.



Figuur B.2 Geobserveerd cumulatief aantal bevingen boven de aangegeven drempelwaarde in de tijd. Het 68% betrouwbaarheidsinterval voor de verdere toename van het aantal bevingen is aangegeven.

Figuur B.3 laat gemeten PGA's zien voor alle bevingen met $M > 2.5$ waarvoor betrouwbare versnellingsmetingen beschikbaar zijn. Deze data is afkomstig van het meetnetwerk dat momenteel nog bestaat uit 12 versnellingsmeters (dit meetnetwerk wordt uitgebreid zie 2.3.3). Het 68% betrouwbaarheidsinterval van de geometrisch gemiddelde PGA per beving is aangegeven. De Huizinge $M=3.6$ beving van augustus 2012 liet PGA's zien die leiden tot een geometrisch gemiddelde PGA die buiten het 68% betrouwbaarheids interval valt. De Huizinge beving zou volgens dit criterium aanleiding hebben gegeven tot escalatie. Om consistentie te borgen zullen gedurende 2014 in principe (en tot nader orde) de metingen van de huidige 12 versnellings stations gebruikt worden.



Figuur B.3 Geobserveerde PGA's voor alle bevingen $M > 2.5$ waarvoor betrouwbare versnellingsmetingen beschikbaar zijn. Het 68% betrouwbaarheids-interval van de geometrisch gemiddelde PGA per beving is aangegeven. De Huizinge $M=3.6$ beving van augustus 2012 zou aanleiding hebben gegeven tot escalatie.