



NAM Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.

**Data acquisitie- en studieprogramma ("Study
and Data Acquisition Plan Induced Seismicity
in Groningen")
voor de actualisatie van het
Winningsplan 2016**

Datum: december 2014

Uitgegeven door: Jan van Elk en Dirk Doornhof

Inhoudsopgave

1.	Inleiding	4
2.	Projectmanagement van onderzoek en gegevensverwerking	7
2.1	Onderzoeksdoelstellingen.....	7
2.2	Onzekerheid verminderen.....	9
2.2.1	Seismische dreiging	9
2.2.2	Gebouwen- en ongelukkenrisico	10
2.3.	Maatregelen om de dreiging en het risico te verminderen.....	10
2.3.1	Depletie	11
2.3.2	Drukhandhaving	11
2.3.3	Programma voor bouwkundig versterken	11
2.4	Punten waarop wetenschappelijke visies van elkaar verschillen aanpakken.....	12
3	Data acquisitieactiviteiten	14
3.1	Inleiding.....	14
3.2	GPS (Global Positioning System) stations	14
3.3	Uitbreiding passief seismisch netwerk.....	16
3.3	Ondergrondse verticale seismische arrays.....	20
3.3.1	Tijdelijke verticale seismische arrays	21
3.3.2	Permanente verticale seismische arrays	23
3.4	Sensoren in gebouwen	27
4.	Overzicht van de onderzoeken	30
4.1	Dreigings- en risicoinschatting.....	30
4.2	Bodemdaling en compactie.....	31
4.3	Seismologisch model (partitioning factor).....	34
4.4	Voorspelling van de grondbeweging (GMP)	37
4.5	Drukhandhaving.....	39
4.6	Gebouwenvoorraad en reactie.....	40
4.7	Gevolgenmodel.....	42
5.	Onderzoeksbeheer en kwaliteitsborging	43
5.1	Kwaliteitsborging.....	43
5.1.1	Deskundigen en instituten	44

5.2	Externe kwaliteitsborging	46
5.2.1	Scientific Advisory Committee (SAC) Groningen	46
5.2.2	Monitoringcommissie van de dialogotafel	47
5.3	Aanvullende onderzoeken	48
5.3.1	Onderzoeken in de scopingfase	48
	Onderzoeksprogramma MIT (Massachusetts Institute of Technology)	48
	NISP – National Induced Seismicity Program	48
	Onderzoeksprogramma NORSAR	48
6	Planning	50

1. Inleiding

Sinds 1986 doen zich relatief lichte aardtrillingen voor in de buurt van producerende gasvelden in de Noord-Nederlandse provincies Groningen, Drenthe en Noord-Holland. Over het algemeen leidden deze gebeurtenissen alleen tot gevoelens van onrust onder de bewoners, maar boven een bepaalde magnitude en intensiteit kunnen deze aardbevingen ook schade aan gebouwen veroorzaken.

Begin jaren negentig van de vorige eeuw is in een multidisciplinaire studie, op initiatief van het ministerie van Economische Zaken (EZ) en onder begeleiding van een commissie van toezicht, de relatie onderzocht tussen gaswinning en aardtrillingen. De conclusie luidde dat, gelet op het seismische patroon, de locatie van de hypocentra, het verschil met seismiciteit in het verleden en de frequentie-magnitudeverdeling, de aardtrillingen geen tektonische oorsprong hadden en hoogstwaarschijnlijk werden veroorzaakt door reservoirdepletie (d.w.z. gaswinning). Na een overeenkomst met het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) is er sinds 1995 in Groningen een boorgatseismometer-netwerk aangelegd om trillingen te registreren, de exacte locatie te bepalen en de magnitude ervan te kwantificeren. Ook zijn er versnellingsmeters geïnstalleerd in gebieden waar zich vaak trillingen voordoen.

De aardbeving bij Huizinge (16-8-2012) met een kracht van $M_w = 3,6$ werd als intenser en langer ervaren dan eerdere aardbevingen in hetzelfde gebied. Een sterkte waarbij meer schadegevallen aan gebouwen werden gerapporteerd dan bij eerdere aardbevingen. Ook de publieke perceptie dat de seismiciteit in Groningen de afgelopen jaren lijkt toe te nemen, heeft geleid tot hernieuwde aandacht voor de kwestie van door gaswinning veroorzaakte seismische activiteit in Groningen.

Om de relatie tussen magnitude, duur, frequentie, piekgrondsnelheid (PGV) en piekgrondversnelling (PGA) van aardbevingen en mogelijke schade aan gebouwen beter te bepalen, werd er een uitgebreid studieprogramma opgezet en meer monitoring gepland. In oktober 2012 is er een data acquisitie- en studieprogramma (Study and Data Acquisition Plan) gepubliceerd waarvan in 2013 regelmatig actualisaties zijn verschenen. In november 2012 werd dit data acquisitie- en studieprogramma gedeeld met het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) en het ministerie van Economische Zaken (ref. 1.). Begin 2013 werd het programma openbaar gemaakt. Aan de adviescommissie van de minister van Economische Zaken (TBO), de toezichthouder (SodM) en adviseurs (TNO-AGE en KNMI) werden periodieke actualisaties van de voortgang van de studie verstrekt.

De resultaten van deze in 2013 uitgevoerde studies zijn tijdens drie grote workshops in mei, juli en augustus alsook in verschillende technische meetings over specifieke kwesties gedeeld met de technische adviescommissie van het ministerie van Economische Zaken (TBO). In november 2013 werden de studieresultaten aan de minister van Economische Zaken en SodM gerapporteerd in het "Technical Addendum to the Winningsplan - Groningen 2013" (ref. 3, 4 en 5). Naast het Winningsplan 2013 en onderbouwende technische documentatie is er door NAM een Borgingsprotocol ingediend. Dit protocol waarborgt regelmatige actualisaties over de voortgang van studies en de dreigings- en risicoinschatting door NAM aan de toezichthouder en adviseurs.

Hoewel de verrichte werkzaamheden in 2013 nieuwe inzichten opleverden en over het algemeen positief werden ontvangen door collegiale toetsers en TBO, zijn ze beslist niet afgerond. Ondanks de gemaakte vorderingen blijven enkele technische kwesties nog onopgelost (ref. 7 en 8), terwijl de onzekerheden in de geomechanische parameters en in de geschatte seismische dreiging groot blijven. De resterende onzekerheid is deels terug te voeren op een gebrek aan kennis (epistemische onzekerheid) en kan daarom worden weggenomen door meer gegevens te verzamelen en te analyseren. Het data acquisitie- en studieprogramma is in 2014 dan ook voortgezet en zal de komende jaren worden gecontinueerd.



Figuur 1.1 Beeldmateriaal van RTV Noord gepubliceerd op www.youtube.com op 27 augustus 2012. Flessen vallen uit schappen in de supermarkt te Middelstum, als gevolg van de aardbeving van 16 augustus 2012.

In januari 2014 maakte de minister zijn voornemen bekend om het Winningsplan Groningen 2013 voor een periode van drie jaar goed te keuren. Hiervoor is een actualisatie van het Winningsplan in 2016 vereist (ref. 10). Dit plan beschrijft de verschillende onderzoeks- en data acquisitieactiviteiten ter ondersteuning van de dreigings- en risicoinschatting voor de actualisatie van het Groningen Winningsplan 2016.

2. Projectmanagement van onderzoek en gegevensverwerking

2.1 Onderzoeksdoelstellingen

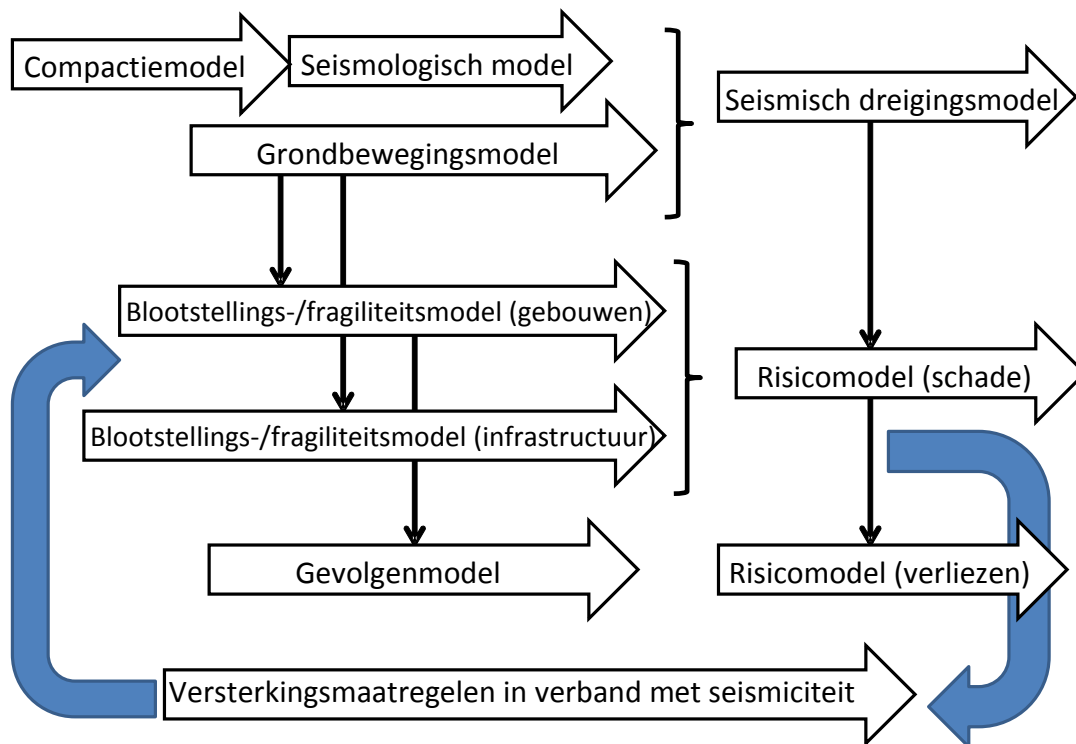
Hoofddoel van het data acquisitie- en studieprogramma is het in kaart brengen en bepalen van de onderzoeksactiviteiten ter ondersteuning van het opstellen van de dreigings- en risicoinschatting voor geïnduceerde seismische activiteit als gevolg van de gaswinning in het Groningenveld, die als basis kan dienen voor het Groningen Winningsplan 2016. Dit is onderdeel van NAM's verantwoordelijkheid om duidelijk te maken dat NAM als voorzichtige operator te werk gaat.

Deze dreigings- en risicoinschatting moet gebaseerd zijn op deugdelijke wetenschappelijke beginselen en de steun hebben van de toezichthouder (en de adviseurs), de gemeenschap van aardwetenschappers en het vertrouwen van de samenleving in het algemeen. De dreigings- en risicoinschatting moet als één activiteit worden uitgevoerd om een consistente aanpak te waarborgen.

Doelstellingen van het onderzoek naar geïnduceerde seismiciteit in het Groningenveld zijn:

- Dreigings- en risicoinschatting alsmede vermindering van de onzekerheid in de dreigings- en risicoinschatting voor de actualisatie van het Winningsplan 2016,
- Inzicht krijgen in het effect van deze dreiging op gebouwen en de veiligheid van de gemeenschap,
- Inventarisatie van maatregelen om de dreiging en het risico te reduceren, de effectiviteit van deze maatregelen evalueren en inzichten aanreiken om de ontwikkeling en toepassing van beperkende maatregelen te sturen. Deze maatregelen kunnen een ander winningsbeleid of het versterken van gebouwen behelzen,
- Punten waarop wetenschappelijke visies van elkaar verschillen aanpakken en met nader onderzoek of metingen proberen deze meningsverschillen op te lossen,
- Bodemdaling en seismiciteit monitoren in het kader van het borgingsprotocol,
- Ons inzicht vergroten in het mechanisme dat leidt tot geïnduceerde seismiciteit en de hieruit voortvloeiende dreiging alsook de onzekerheid in de dreigings- en risicoinschatting verminderen.

Onderstaande figuur geeft de verschillende elementen van de dreigings- en risicoinschatting weer.



Figuur 2.1 Schematische voorstelling van de elementen van de dreigings- en risicoinschatting. De blauwe pijlen geven het effect aan van woningversterking in het kader van het plan om kwetsbare gebouwen bouwkundig te versterken.

Om dit doel te bereiken is het data acquisitie- en studieprogramma “Study and Data Acquisition Plan for Induced Seismicity in Groningen” opgesteld op basis van de volgende uitgangspunten en prioriteiten:

- De onzekerheid in de dreigings- en risicoinschatting verminderen. De huidige dreigings- en risicoinschatting, die de basis vormt voor het Winningsplan 2013, is in 2013 opgesteld. Vanwege het korte tijdsbestek voor dit onderzoekswerk konden niet alle factoren die van invloed zijn op de dreiging en het risico volledig worden beoordeeld. Als gevolg hiervan moesten er in verschillende fasen van de analyse conservatieve schattingen worden gedaan. Dit heeft mogelijk geresulteerd in een hoge inschatting van de dreiging en het risico bij een lage overschrijding. Met verdere gegevensverwerving en nader onderzoek kunnen de dreiging en het risico mogelijk lager worden ingeschat (paragraaf 2.2, onzekerheid verminderen).
- Maatregelen inventariseren om de dreiging en het risico te verminderen, en de effectiviteit van deze maatregelen evalueren. Deze maatregelen kunnen een ander winningsbeleid (depletie of drukhandhaving) behelzen om de dreiging te reduceren, dan wel gericht zijn op het versterken van gebouwen (bouwkundige versterking) om het risico te verminderen (paragraaf 2.3, maatregelen om de dreiging en het risico te verminderen).
- De punten aanpakken waarop de wetenschappelijke visies van NAM, SodM, KNMI en TNO-AGE van elkaar verschillen. Tijdens de technische besprekingen tussen NAM en SodM die hebben

geleid tot de actualisatie van het Winningsplan 2013, bleven enkele kwesties onopgelost (paragraaf 2.4, punten waarop wetenschappelijke visies van elkaar verschillen aanpakken). In het rapport van TNO-AGE waarin de technische onderbouwing van het Winningsplan 2013 (ref. 7) werd getoetst en in het advies van SodM aan de minister (ref. 8) zijn een aantal punten van kritiek en uiteenlopende technische visies naar voren gebracht en besproken.

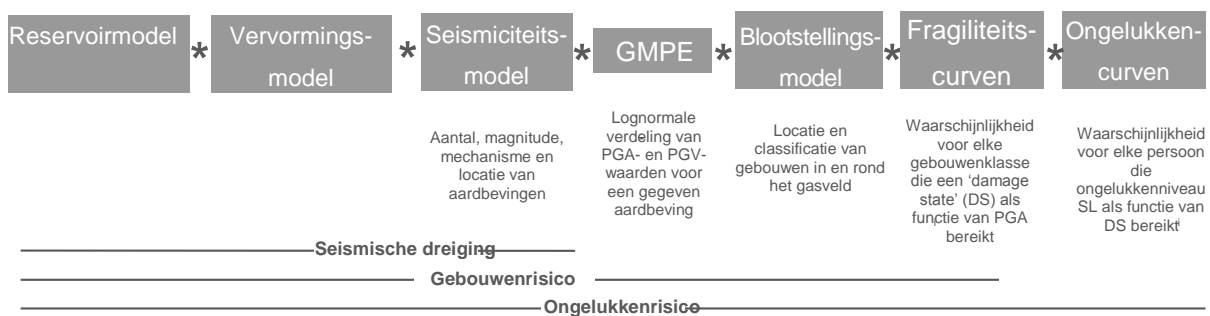
- Bodemdaling en seismiciteit monitoren in het kader van het borgingsprotocol. Zowel bodemdaling als seismiciteit moet nauwlettend worden bewaakt om afwijkingen vast te stellen van de voorspellingen van de modellen die zijn gebruikt voor de dreigings- en risicoinschatting.
- Het wetenschappelijk inzicht in de processen die leiden tot seismiciteit in Groningen vergroten.
- Vroegtijdig inzicht in de dreiging verschaffen om de ontwikkeling en toepassing van beperkende maatregelen, zoals het bouwkundig versterkingsprogramma, te sturen.

In de volgende paragrafen wordt het onderzoeksplan nader geanalyseerd en getoetst met deze prioriteiten in het achterhoofd. De resultaten van de onderzoeken en gegevensverwerking zullen worden gebundeld in een dreigings- en risicoinschatting voor de seismiciteit veroorzaakt door gaswinning in het veld.

Afgezet tegen de belangrijkste criteria is het data acquisitie- en studieprogramma robuust. Het programma biedt voldoende ruimte om de inzichten vanuit nieuwe bevindingen in te passen. De voortgangsbewaking en -rapportage zorgen voor een proces om aanpassingsmogelijkheden voor het programma vast te stellen.

2.2 Onzekerheid verminderen

Er wordt een geïntegreerde, probabilistische dreigings- en risicoinschatting uitgevoerd met behulp van een Monte Carlo-aanpak.

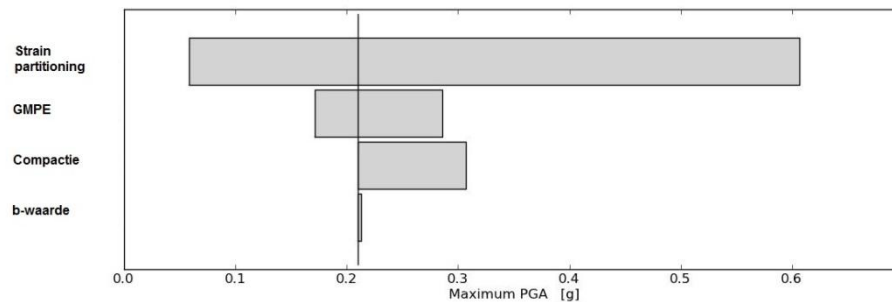


Figuur 2.2 Schematische voorstelling van de elementen van de geïntegreerde probabilistische dreigings- en risicoinschatting.

2.2.1 Seismische dreiging

In de periode 2014 tot 2016 zal NAM het onderzoeksprogramma voortzetten om nader inzicht te verkrijgen in de processen die leiden tot aardbevingen en in de omvang van de daaruit voortvloeiende dreiging. De bijdragen aan de epistemische onzekerheid in de dreiging zijn geanalyseerd aan de hand van een zogeheten "logic tree"-benadering. Hieruit bleek dat vier factoren van belang zijn: de "strain

partitioning" factor die de koppeling beschrijft tussen compactiespanning en seismiciteit, de Ground Motion Prediction Equation (GMPE), de compactie en in mindere mate de b-waarde.



Figuur 2.3 Variatie in de maximale piekgrondversnelling (PGA) die in het Groningenveld is geregistreerd met een overschrijdingskans van 2% gedurende de periode 2013 - 2023, vanwege epistemische onzekerheden weergegeven in de logic tree.

De partitioning factor heeft het grootste effect op de onzekerheid in de seismische dreiging. Zowel pogingen om inzicht te verkrijgen naar analogie van tektonische aardbevingen als nader geomechanisch onderzoek zijn elementen van het onderzoeksprogramma om de kennis van processen die aardbevingen veroorzaken en van de partitioning factor te verdiepen. De hoofdstukken 7 tot 10 geven de belangrijkste activiteiten weer in het onderzoeksprogramma betreffende geïnduceerde aardbevingen in het Groningenveld voor 2014.

2.2.2 Gebouwen- en ongelukkenrisico

Onzekerheden in de risicoinschatting spitsen zich toe op het blootstellingsmodel en de beschrijving van de fragiliteit van gebouwen. In de actualisatie van het Winningsplan 2013 is de beschrijving van de onzekerheid gebaseerd op omschrijvingen van fragiliteit uit de literatuur (ref. 6).

De fragiliteit van gebouwen die zijn opgetrokken uit onversterkt metselwerk volgens de plaatselijke bouwmethoden en ontwerpen in Groningen moet nader worden onderzocht. Met name over de impact van de kortere duur van geïnduceerde aardbevingen, vergeleken met tektonische bevingen, voor onversterkte bakstenen gebouwen is momenteel weinig bekend. De langer durende tektonische aardbevingen vormen de basis van de op dit moment in de literatuur beschikbare fragiliteitscurven. Het is daarom mogelijk dat de fragiliteit van deze gebouwen in de huidige analyse wordt overschat.

Hoewel het aantal betonnen gebouwen relatief laag is, ligt de bezettingsgraad van deze gebouwen overdag vaak hoger. In 2016 zal in de risicoinschatting meer aandacht worden geschonken aan betonnen gebouwen. Een van de uitdagingen betreft het meenemen van de impact van het programma voor woningversterking in de risicoinschatting.

2.3. Maatregelen om de dreiging en het risico te verminderen

Maatregelen om de dreiging te verminderen richten zich op andere productiefilosofieën voor depletie en drukhandhaving.

2.3.1 Depletie

Momenteel richt de aandacht zich op analyse van het effect van productieplafonds, die middels ministerieel besluit zijn opgelegd na de actualisatie van het Winningsplan 2013, op de seismiciteit in het veld (ref. 10). Een beperking van de huidige dreigings- en risicoinschatting is dat bij deze methode lokale effecten lastig zijn te bepalen. Er zullen verschillende methodologische verfijningen worden geëvalueerd om dit te verbeteren.

De dreigings- en risicoinschatting zal worden gebaseerd op het productieplan binnen de productieplafonds die door ministerieel besluit zijn opgelegd na de actualisatie van het Winningsplan 2013. Voor de periode na 2016 zal een aantal depletiescenario's worden doorgelicht. Deze scenario's zijn gebaseerd op een mogelijke productiebeperking die de minister op basis van de actualisatie van het Winningsplan 2016 oplegt.

2.3.2 Drukhandhaving

In het Winningsplan 2013 werd drukhandhaving op basis van stikstofinjectie gepresenteerd als mogelijke maatregel om geïnduceerde aardbevingen te beperken. De haalbaarheid en doeltreffendheid van dit proces konden destijds niet worden bevestigd. De contouren van een dergelijk project werden geschetst in het Addendum Rapport. Hieruit bleek dat de elektriciteitsvereisten voor het project aanzienlijk waren en dat de impact op de omgeving groot was.

Injectie kan via andere processen dan compactie leiden tot aardbevingen. Stikstofinjectie kan daarom mogelijk ook de seismische dreiging vergroten. Het huidige seismische werkplan is uitsluitend afgestemd op de door depletie geïnduceerde aardbevingscatalogus. Het werkplan is niet beproefd of gevalideerd voor seismiciteit die geïnduceerd is door injectie en niet geschikt voor het analyseren van de seismische dreiging als gevolg van injectie.

Het huidige werkplan is alleen toepasbaar in het theoretische injectiescenario wanneer er geen positieve drukgradiënten worden opgenomen. Dit scenario is te beschouwen als vervangingsproces van moleculen en vanuit het oogpunt van druk in wezen hetzelfde als een productiestop. Momenteel zijn er geen andere werkplannen in kaart gebracht die de seismische dreiging als gevolg van injectie in het Groningenveld kwantificeren. Er zijn geen analogieën beschikbaar omdat de meeste daarvan gebaseerd zijn op het injecteren van (afval)water in verschillende geologische situaties.

Op dit moment zijn er geen werkplannen bekend die de seismische dreiging in het GPM-scenario kunnen bepalen. Het huidige werkplan kan worden gebruikt om de dreiging in het "ideale" injectiegeval te analyseren, d.w.z. een scenario dat vergelijkbaar is met reservoirdepletie waarbij de druk in het reservoir nergens (tijdelijk) zal oplopen. Er zal een onderzoek worden ingesteld om de internationale ervaring met seismiciteit als gevolg van gasinjectie te analyseren.

2.3.3 Programma voor bouwkundig versterken

Het programma om woningen te versterken zal aanvangen voordat de huidige studies naar risico's zijn afgerond en duidelijke aanbevelingen hebben aangereikt. Daarom zal dit programma aanvankelijk moeten uitgaan van praktische richtlijnen voor het versterken van woningen.

Zodra de eerste inzichten van de risicoinschatting via gevoeligheidsanalyse beschikbaar komen, zal sturing worden gegeven om deze activiteit te optimaliseren. In de risicoinschatting zullen verschillende scenario's voor het bouwkundig versterkingsprogramma worden geëvalueerd.

2.4 Punten waarop wetenschappelijke visies van elkaar verschillen aanpakken

Tijdens de besprekingen met SodM en de adviseurs, KNMI en TNO-AGE, zijn er enkele technische en wetenschappelijke verschillen van inzicht vastgesteld. Deze zijn beschreven in “TNO 2013 R11953 | Eindrapport - Toetsing van de bodemdalingsprognoses en seismische hazard ten gevolge van gaswinning van het Groningen veld” (ref. 7) en “Staatstoezicht op de Mijnen – Advies Winningsplan 2013 / Meet- en Monitoringsplan NAM Groningen gasveld” (ref. 8).

Het betrof voornamelijk de volgende punten:

Punt	Discussie
Statisch model	<p>Het porositeitsmodel in de buurt van het Loppersumgebied en Delfzijl lijkt onvolkomenheden te vertonen als gevolg van dataextrapolatie-effecten in verband met de geringe datadichtheid. Beter richtsnoeren op basis van faciesmodellen en inversie van akoestische impedantie kunnen worden beproefd om het porositeitsmodel te verbeteren.</p> <p>Bodemdalingsgegevens wijzen erop dat een gebied dat momenteel wordt aangemerkt als relatief zeer poreus mogelijk een lagere porositeit en daardoor samendrukbaarheid kent. Daarnaast moet er voor porositeit een onzekerheidsanalyse worden verstrekt.</p>
Dynamisch model	<p>Het historische matchingproces heeft zich hoofdzakelijk gericht op matching van de reservoirdruk. Weliswaar is gebruik gemaakt van waterindringings- en bodemdalingsdata, maar deze waren van minder belang. Ook zou er een beste compactiemodel moeten worden opgesteld aan de hand van een speciaal proces. Er moet een model worden opgesteld waarin aanvullende meetgegevens van bodemdaling worden opgenomen via een nieuw historisch matchingproces.</p> <p>Breid het model uit om de volledige aquifer op te nemen en toepassing van de analytische aquifer te voorkomen.</p>
	<p>Het Carboon maakt geen deel uit van het Groninger dynamische reservoirmodel. De impact op de winning is naar verwachting zeer marginaal. Er moet echter een gevoeligheidsanalyse worden uitgevoerd om te bevestigen dat ook het effect op de totale compactie niet significant is.</p>
Monitoring van bodemdaling	<p>Niet al het peilonderzoek is in de analyse meegenomen. Primaire peilonderzoeken van 1978 en 1981 in de analyse opnemen</p>
Compactie	<p>De keuze van de compactiemodellen staat ter discussie. SodM en TNO hebben diverse alternatieve modellen voorgesteld: RTCM en isotachen. Er moet duidelijker inzicht worden verkregen in de waarde van deze verschillende modellen.</p>

	<p>Het voornaamste punt van zorg met betrekking tot de compactiemodellen is de tijdsvertraging waarmee de compactie reageert op een drukverlaging in het reservoir.</p> <p>Vertraagde depletie van de onderliggende aquifer moet worden onderzocht en mogelijk worden meegenomen.</p>
Geomechanisch	<p>Volgens TNO-AGE is meer onderbouwing door dynamische modellering en analyse van 'rupture processen' noodzakelijk. Onderzoek naar de rol van tijdsafhankelijke, niet-elastische processen, zoals kruip van gesteentezout en diffusie van poriëndruk.</p> <p>Dit omvat modellering op basis van experimentele metingen van bodemonsters van frictiegedrag van de breuken.</p>
Seismiciteit	<p>De afhankelijkheid van de magnitude en frequentie van aardbevingen met betrekking tot het depletie/productietempo.</p> <p>De ruimtelijke differentiatie van het dreigingsmodel wordt in twijfel getrokken: ruimtelijke differentiatie van de partiticoëfficiënt en afhankelijkheid van de bevingsterkte van lokale compactie worden voorgesteld.</p> <p>Daarnaast behoeft de onzekerheid in de partiticoëfficiënt nadere aandacht.</p>
Seismische risicoinschatting	<p>De definities van persoonlijk risico en groepsrisico moeten worden verhelderd en in lijn worden gebracht met best practice op andere terreinen van risicoinschatting.</p>
	<p>Er moet een probabilistische dreigings- en risicoinschatting op volledig geïntegreerde wijze worden uitgevoerd.</p>

3 Data acquisitieactiviteiten

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste data acquisitie- en seismische monitoringsactiviteiten beschreven. Deze activiteiten hebben effect op meerdere onderzoeken. Data acquisitieactiviteiten die zich richten op afzonderlijke componenten van het dreigings- en risicomodel zullen in de desbetreffende paragrafen worden beschreven.

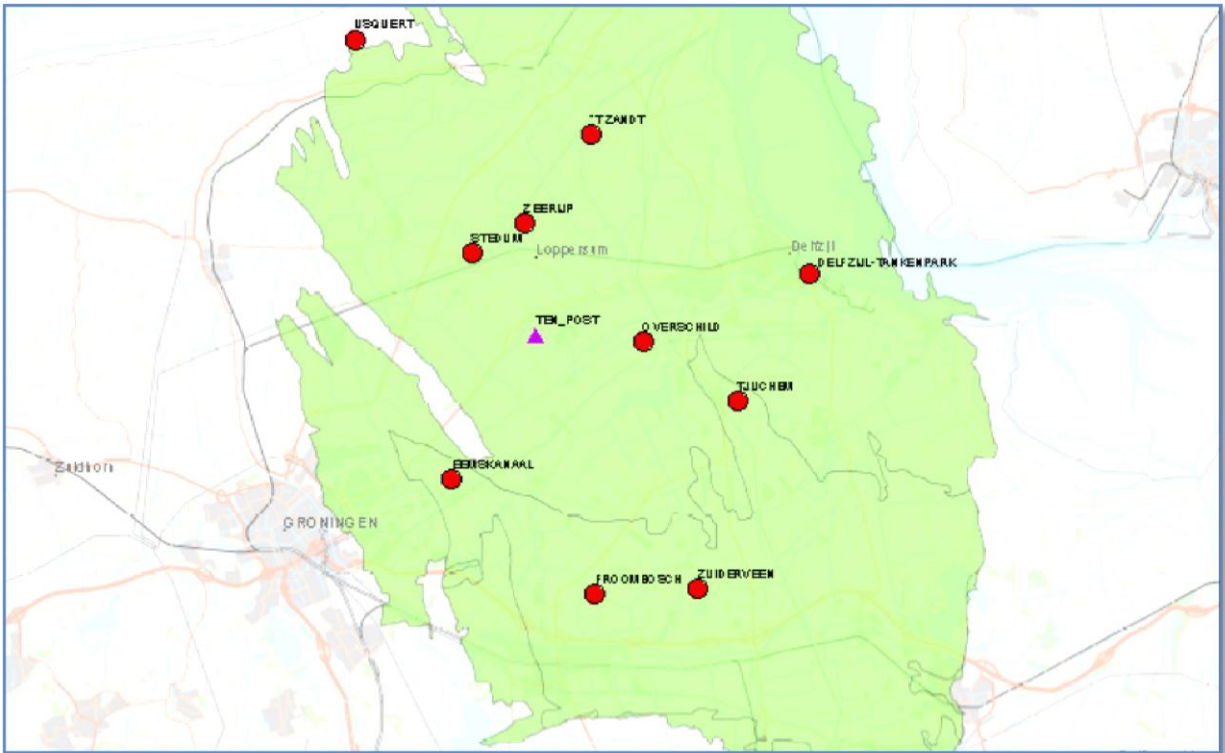
Hoge-resolutie kartering van seismiciteit en het verlagen van de huidige detectie- en locatiemagnitudedrempel zijn naar verwachting essentieel voor een beter geomechanisch inzicht in de aardbevingsdreiging. De verbeterde plaatsbepaling van de hypocentra van aardbevingen maken een betere inpassing in het structurele model van het Groningenveld mogelijk.

Er zijn drie belangrijke activiteiten gestart om de monitoring van seismische activiteit in het veld te verbeteren:

1. De installatie van 10 GPS-stations op NAM-locaties in het Groningenveld om de verticale en horizontale component van bodemdaling continu te monitoren.
2. Om de resolutie over het gehele Groningenveld te verbeteren, zal het (bestaande) netwerk van passieve seismische monitoring worden uitgebreid met de installatie van 59 additionele ondiepe geofoons en versnellingsmeters.
3. De installatie van twee verticale geofoonopstellingen boven het reservoirgedeelte in diepe putten in het Loppersumgebied zal het bepalen van hypocentra van aardbevingen verbeteren. In 2013 zijn er tijdelijke geofoon arrays geplaatst in de buurt van het reservoir (op 3 km diepte) in twee diepe observatieputten (Zeerijp-1 en Stedum-1). Deze zullen in de loop van 2014 en begin 2015 worden vervangen door twee permanente seismische meetputten (Zeerijp-2 en Zeerijp-3).
4. In ruim 200 gebouwen zijn in de kelderverdieping versnellingsmeters geplaatst nabij de fundering. Dit betreft openbare gebouwen en particuliere woningen.

3.2 GPS (Global Positioning System) stations

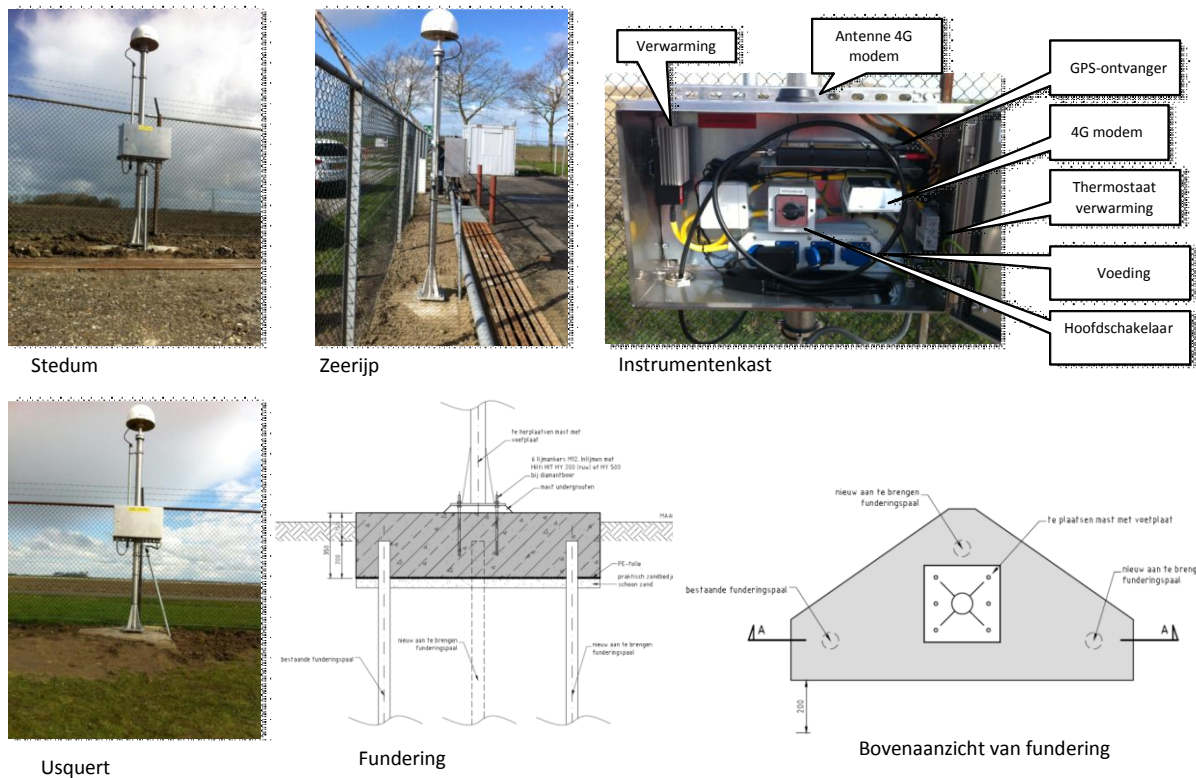
Om zowel de verticale als de horizontale verplaatsingscomponent van de bodemdaling continu te monitoren, zijn er Global Positioning System (GPS) stations geplaatst op 10 additionele locaties in het veld: Eemskanaal, Froombosch, 't Zandt, Overschild, Tjuchem, Tankerpark Delfzijl, Zuiderveen, Stedum, Usquert en Zeerijp. Dit is naast het GPS-station dat in het eerste kwartaal van 2013 al op de locatie Ten Post is geplaatst. De installatie van de 10 additionele stations is afgerond en inmiddels voeren alle stations sinds 26 maart 2014 registraties uit. Het GPS is indien mogelijk op een bestaand gebouw geplaatst. Op de locaties Stedum, Usquert en Zeerijp, waar geen bestaand gebouw aanwezig was, is een driepoot-constructie van gewapend beton geplaatst om het GPS te verankeren. Op deze locaties is een 3/4G modem geplaatst voor de gegevensoverdracht.



Figuur 3.1 Locatie van het GPS-station in het Groningenveld.



Figuur 3.2 Locatie van het GPS-station op gebouwen in het Groningenveld.



Figuur 3.3 Locatie van het GPS-station verankerd op een driepoot-constructie in het Groningenveld.

3.3 Uitbreiding passief seismisch netwerk

De huidige configuratie van het Groninger monitoringnetwerk heeft sinds 1995 alle gebeurtenissen in het gehele veld geregistreerd, inclusief de locatie, met een magnitude groter of gelijk aan 1,5 ($M \geq 1.5$ events). Het Noord-Nederlandse netwerk bestaat uit 14 boorgatstations, waarvan er 8 in 1995 zijn geïnstalleerd en nog eens 6 stations in 2010, plus 12 versnellingsmeters. Dit netwerk registreerde tussen 1995 en augustus 2014 een catalogus van 233 $M \geq 1.5$ events en vormt de belangrijkste basis voor de huidige dreigingsinschatting van aardbevingen binnen het veld. De onzekerheden in de laterale locatie zijn doorgaans ongeveer 0,5 km en aangenomen wordt dat de gebeurtenissen zich op een diepte van 3 km afspeelen.

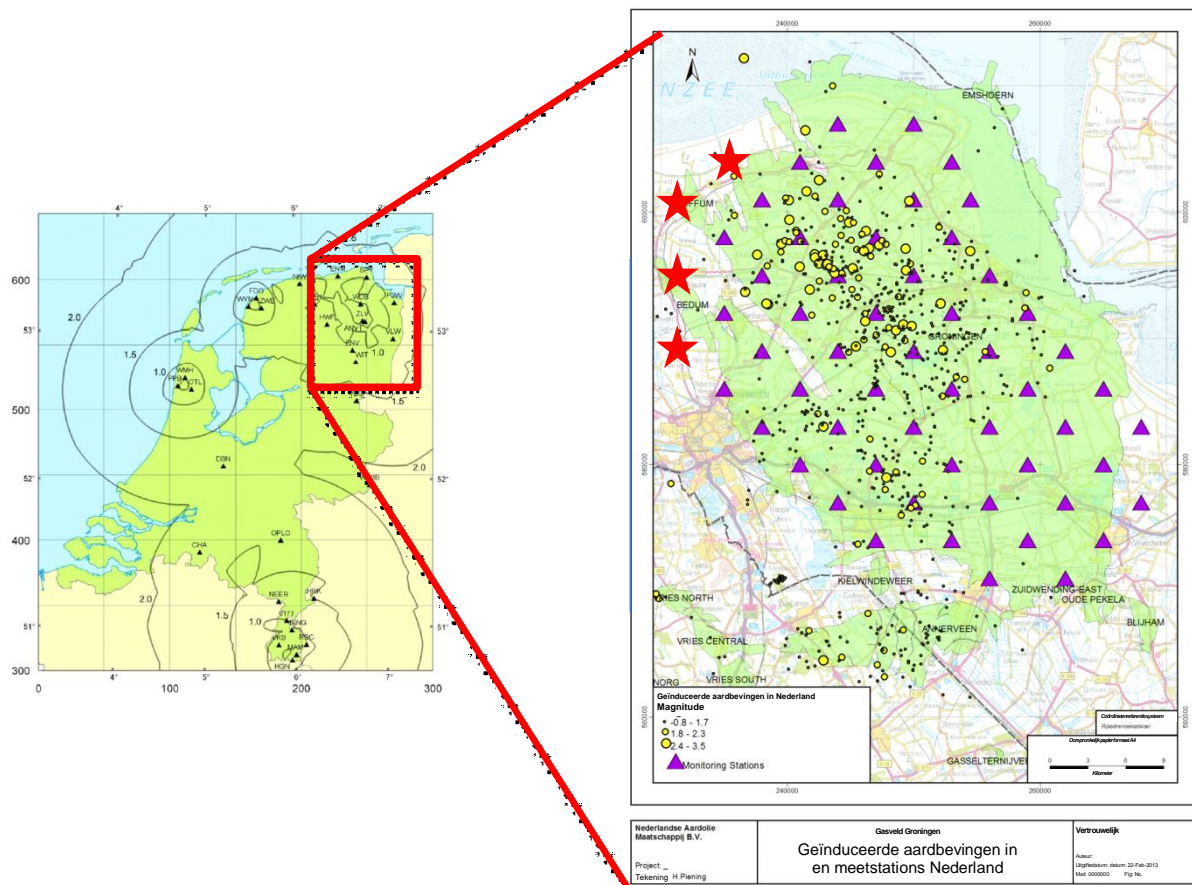
Uitbreiding van het monitoringnetwerk zou twee belangrijke voordelen bieden ten opzichte van het bestaande netwerk: verbeterde gevoeligheid en verbeterde nauwkeurigheid.

- Gevoeliger omdat een betrouwbaardere detectie en plaatsbepaling van meer $M < 1.5$ events binnen het veld een krachtigere statistische analyse mogelijk maken van de relatie tussen het aantal aardbevingen en gaswinning.
- Nauwkeuriger omdat meetlocaties van aardbevingen die voldoende nauwkeurig zijn om de relatie met in kaart gebrachte verschuivingen en hun diepteverdeling ten opzichte van het reservoir inzicht geven in de oorzaken van deze aardbevingen.

Om de aardbevingsgegevens aan te leveren die nodig om deze doelstellingen te realiseren, zijn de prestatiecriteria voor het netwerk als volgt:

- 10 gebeurtenissen detecteren voor elk $M \geq 1.5$ event. Aangezien de bestaande aardbevingspopulatie een b-waarde heeft van 1, betekent dit de magnitude verlagen van de huidige $M=1,5$ naar $M=0,5$.
- De plaats van alle gedetecteerde gebeurtenissen bepalen met een standaard horizontale afwijking van minder dan 200 m en een standaard verticale afwijking van minder dan 500 m (de bepaling van de diepte zal naar verwachting sterk afhangen van de lokale geologie; aan dit criterium wordt daarom wellicht niet overal voldaan in het veld).

Om de resolutie voor het gehele Groningenveld te verbeteren wordt het (bestaande) passieve seismische monitoringnetwerk momenteel uitgebreid middels de installatie van additionele seismometers en versnellingsmeters verspreid in een raster van 6 x 6 km met middelpunt, dat het gehele Groningenveld beslaat. Het netwerk (Fase I) zal bestaan uit 59 passieve gefoonstations inclusief oppervlakteversnellingsmeters. Elk boorgat van 200 m diep zal worden uitgerust met gefoons op 4 niveaus (50, 100, 150 en 200 meter), één versnellingsmeter aan het oppervlak, inclusief de vereiste elektronica voor datatransmissie, voorversterkers en communicatiemiddelen.



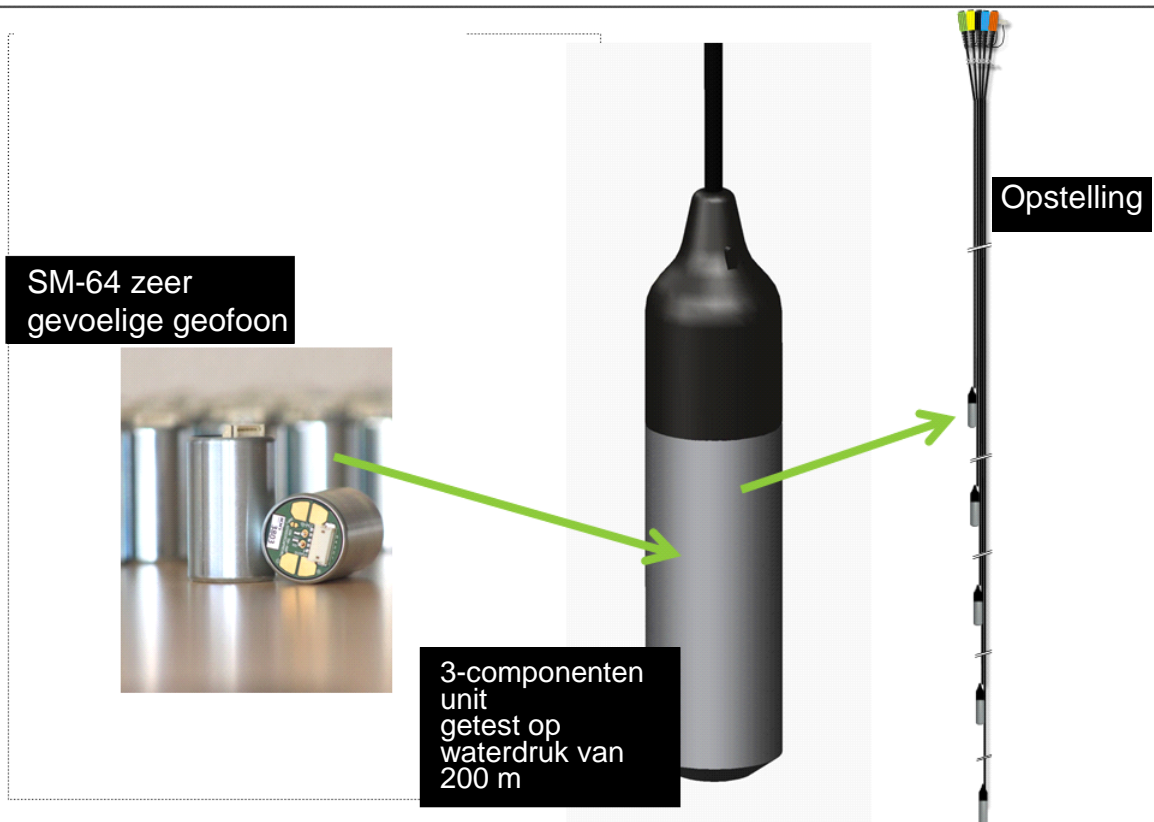
Figuur 3.4 Uitbreiding van het boorgatnetwerk van ondiepe geofoons met 59 locaties. De met een rode ster aangegeven locaties bevinden zich buiten de grens van het veld, maar bestrijken de aquifer die met het Groningenveld is verbonden.

De diepste geofoon is 200 m diep geplaatst om geluiden van activiteiten aan de oppervlakte te verminderen. De locaties zijn gekozen in samenwerking met het KNMI en Land-and-lease (NAM). De gekozen locaties bevinden zich uit de buurt van geluidsbronnen, zoals pijpleidingen en spoorwegen. Ook de nabijheid van elektriciteits- en datakabels alsmede grondbezit hebben een rol gespeeld bij de keuze van de definitieve locaties.

De uitbreiding van het huidige boorgatnetwerk van ondiepe geofoons begon in mei 2014, waarbij de eerste nieuwe boorgatstations in juni begonnen met meten. Op 31 december 2014 is boren van 42 geofoonputten inclusief het installeren van de geofoons voltooid. Op 28 locaties zijn de versnellingsmeter en communicatieapparatuur aan de oppervlakte geïnstalleerd. Daarvan zijn 23 aangesloten op het elektriciteitsnet van Enexis. In januari werd de resterende oppervlakteapparatuur geïnstalleerd.

Fase I van de netwerkuitbreiding zal naar verwachting in het eerste kwartaal van 2014 zijn afgerond.

Opstelling met SM-64 driecomponenten unit



Figuur 3.6 Uitbreiding van het boorgatnetwerk van ondiepe gefoons.

3.3 Ondergrondse verticale seismische arrays

Seismische metingen in boorputten maken monitoring bij aanzienlijk lagere geluidsniveaus mogelijk. Hierdoor verbetert de signaal/ruisverhouding, de magnitude detectiedrempel en de nauwkeurigheid bij het bepalen van hypocentra. Op basis van het huidige bovengrondse seismische netwerk wordt aangenomen dat de verticale locatie van aardbevingen zich op een diepte van 3 km bevindt. Implementatie van een ondergrondse seismische array leidt mogelijk tot een hogere nauwkeurigheid in de verticale en horizontale locatie van gebeurtenissen.

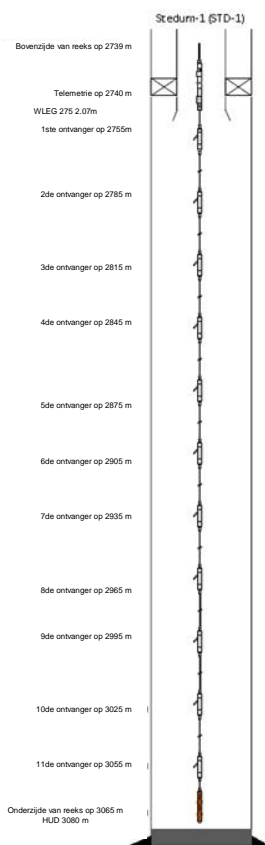
Uitdagingen in boorgatseismologie zijn een betrouwbare inzet van sensoren, veilige datatransmissie naar de oppervlakte, de temperatuur en druk van formaties alsmede vloeistoffen in het reservoir. Bovendien is boren duur, risicovol, logistiek lastig en vereist het voorbereidingstijd. Omdat boorgatinstrumenten onder een hogere druk en temperatuur moeten functioneren, is een goede engineering van het grootste belang.

Doel is twee ondergronds geïnstalleerde verticale arrays in het Loppersumgebied te hebben met sensoren die Zechstein tot en met het Carboon bestrijken. De sensoren moeten geschikt zijn voor een magnitudebereik van $M=-2.5$ tot $M=+1$ over een afstand van 500 m tot 10 km, met een minimale bemonsteringsfrequentie van het systeem van 2 KHz (0,5 ms data) of hoger.

3.3.1 Tijdelijke verticale seismische arrays

Met het oogmerk ondergrondse metingen zo snel mogelijk uit te voeren, zijn twee bestaande observatieputten in het Loppersumgebied (Stedum-1 en Zeerijp-1) uitgekozen om te worden omgevormd tot seismische observatieputten. Omdat deze putten meer dan 35 jaar geleden zijn geboord, en niet als seismische observatieput zijn ontwikkeld, werd voorgesteld tijdelijk verticale seismische arrays te installeren zonder een workover uit te voeren. Het voordeel van deze oplossing was dat dit op korte termijn kon worden gerealiseerd. Het nadeel is echter dat de verticale dekking zich beperkt tot alleen het reservoirgedeelte (onder de tubing die in de put is geplaatst).

Op basis van de ervaring die de afgelopen drie jaar is opgedaan in Bergermeer (Taqa), werd er in oktober 2013 een systeem ontwikkeld en geïnstalleerd. Er werden twee arrays met respectievelijk 8 en 11 niveaus, met een onderlinge afstand van 30 m tussen stations, geïnstalleerd. De installatie vereiste het afsluiten van de put, installatie van extra drukregelaars en communicatie- en dataverzamelingsapparatuur. Doel is de apparatuur operationeel te hebben tot de permanente monitoringsputten gereed zijn. Het continu meten begon onmiddellijk na de installatie en data werden via een GSM-verbinding ter beschikking gesteld aan het KNMI en kennisbedrijf Magnitude voor



nadere analyse.

Figuur 3.7 Put met diepe gefoon in Stedum-1.

De 'strings' van tijdelijke gefoons die in de observatieput Stedum zijn geplaatst begonnen in november data te registreren en in de Zeerijp-put in december 2013. De string van gefoons in

Stedum raakte eind december 2013 defect en werd in maart 2014 gerepareerd. Ook de string van geofoons in Zeerijp-1 had last van storingen. Ondanks deze storingen zijn bijzonder waardevolle data op de diepte van de aardbevingen in het Loppersumveld verzameld. Een eerste interpretatie van deze data is te vinden op de website www.namplatform.nl.





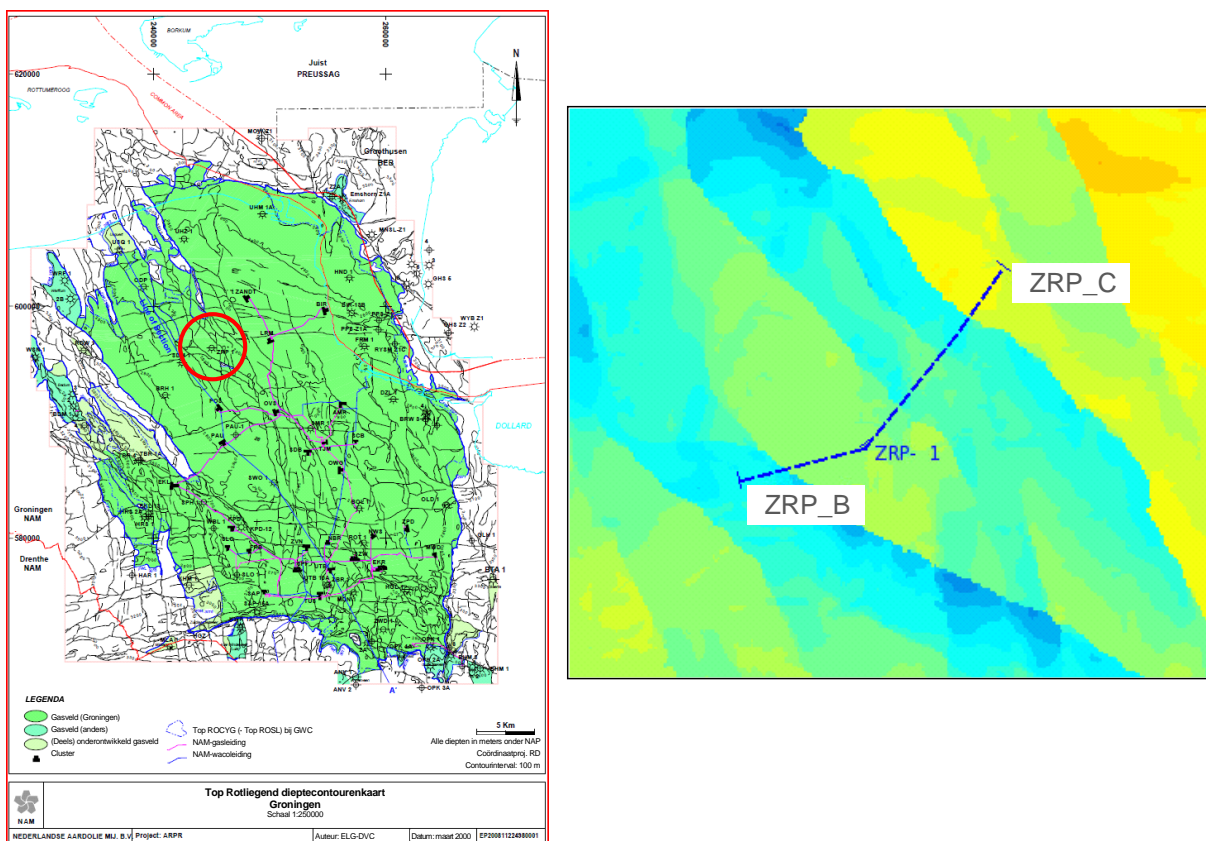
Figuur 3.8 Installatie van de string tijdelijke diepe gefoons in put Stedum-1. .

3.3.2 Permanente verticale seismische arrays

Voor de permanente verticale seismische arrays zijn nieuw geboorde, speciale observatieputten geselecteerd. Er zijn een aantal redenen voor het boren van een nieuwe put in plaats van de huidige situatie voort te zetten:

- a. De huidige opstelling van tijdelijke gefoons in bestaande observatieputten is niet acceptabel als langetermijnoplossing. Omdat deze putten zijn geperforeerd, moet de putmond een doeltreffende afsluiting vormen; met de datakabel is dit lastig te realiseren.
- b. De bestaande monitoringputten hebben een afsluitingsontwerp dat alleen installatie van een gefoonarray met een beperkte opening mogelijk maakt. De problemen met de interpretatie van de verkregen data geeft het belang aan van een grotere opening van de string gefoons in deze nieuwe putten.
- c. De gefoons van Sercel die momenteel in gebruik zijn, hadden herhaaldelijk last van storingen. Door gebruik te maken van nieuwe putten, kunnen we andere gefoons gebruiken die niet door een serviceorganisatie worden ondersteund, zoals de hoogwaardige gefoons van Avalon. Ook de veiligheidsrisico's zijn veel kleiner bij het vervangen van strings met gefoons in de nieuwe (niet geperforeerde) putten.
- d. Door het boren van een nieuwe put kunnen gedurende een beperkte periode data worden verkregen uit drie putten (behoudens (a) met verlenging van de ontheffing van de observatieput bij Stedum). Bij een peer review workshop door internationale experts werd het gebruik van twee observatieputten in twijfel getrokken. Dit zou ons de gelegenheid bieden seismische monitoring te testen met behulp van drie putten.
- e. De twee observatieputten hebben belangrijke monitoringtaken. De put bij Stedum is voorzien van radioactieve markers voor compactie monitoring (een van de drie putten volgde compactie op reservoirniveau), terwijl de put Zeerijp-1 een belangrijke put is voor de monitoring van instroming van de aquifer bij Oldorp (druk en TDT). Deze putten zullen weer voor hun oorspronkelijke doel geschikt worden gemaakt.

In een verzoek om informatie (RfI) zijn aannemers door NAM uitgenodigd hun oplossing voor permanente seismische monitoringsystemen aan te dragen. Doel is in het vierde kwartaal van 2015 een operationeel permanent seismisch registratiesysteem te hebben. De booractiviteiten voor twee seismische observatieboorgaten staan gepland voor het vierde kwartaal van 2014 bij de lichte landinstallatie en voor het tweede kwartaal van 2015 bij de zware landinstallatie. Laatstgenoemde put zal ook in het Carboon boren om een grote opening van de geofoons en het nemen bodemonsters op intervallen mogelijk te maken in het Rotliegend-reservoirgedeelte en de dieper gelegen Carboonformatie.



Figuur 3.9 Locaties voor twee permanente gefoonputten in het Loppersumgebied.

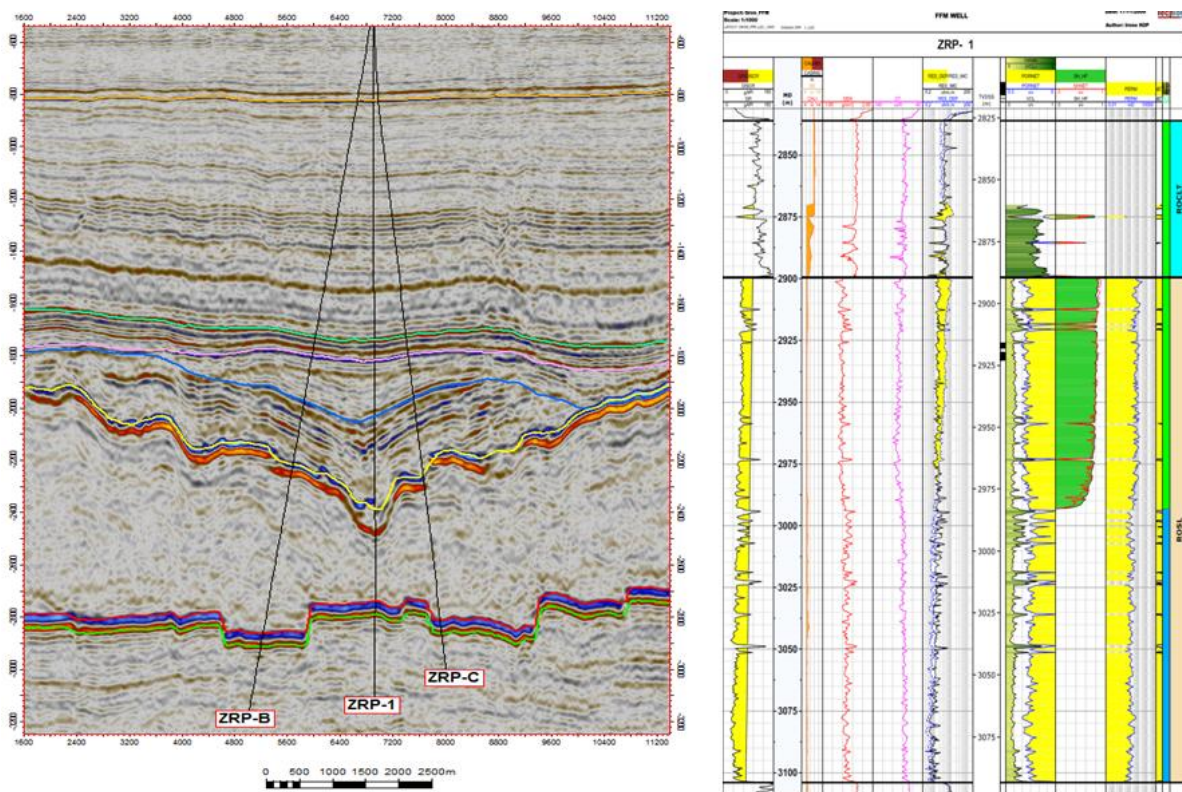
In de gefoonputten staat additionele data acquisitie gepland:

- Beide putten:
 - Dichtheidsregistratie van de volledige putlengte (voor kalibratie van het snelheidsmodel en het bepalen van de verticale spanning),
 - Geluidsregistratie van zowel secundaire (shear) golven als drukgolven over de volledige putlengte (secundaire en drukdata worden verzameld in de 360 graden fase om de belangrijkste spanningsrichtingen en de spanningsanisotropie te bepalen),
 - Beeldregistratie van het reservoirgedeelte voor de richting van het spanningsveld (nog te bevestigen),
 - Er worden MDT-drukmetingen uitgevoerd (afhankelijk van de boorgatomstandigheden op dat moment)

- Tests om de gesteentesterkte te bepalen zijn wellicht niet haalbaar, omdat we de bemanteling niet willen doorboren en intact willen laten.
- Additioneel voor de HLR-put:
 - Bodemonsters boven het Rotliegend voor compactiemetingen (P&T Rijswijk) en breukkaracterisering (Univ. Utrecht, NISP) en bodemonsters boven het Carboon-reservoir eveneens voor breukkaracterisering,
 - Formatie-evaluatie logboeken, zoals resistiviteit,
 - Watermonsters van formaties.

De volgende onderzoeken in dit data acquisitie- en studieprogramma berusten op het verzamelen van gegevens in putten die in het Loppersumgebied worden geboord:

- Strain partitioning: verbetering van het driedimensionale snelheidsveld aan de hand van metingen van de gesteentedichtheid en P- en S-golfsnelheden in de deklagen van putgedeelten van toekomstige putten
- Strain partitioning: kwaliteitsbewaking van data en mogelijk verdere verwerking van de (micro)seismische gegevens van de opstellingen bij Stedum en Zeerijp.

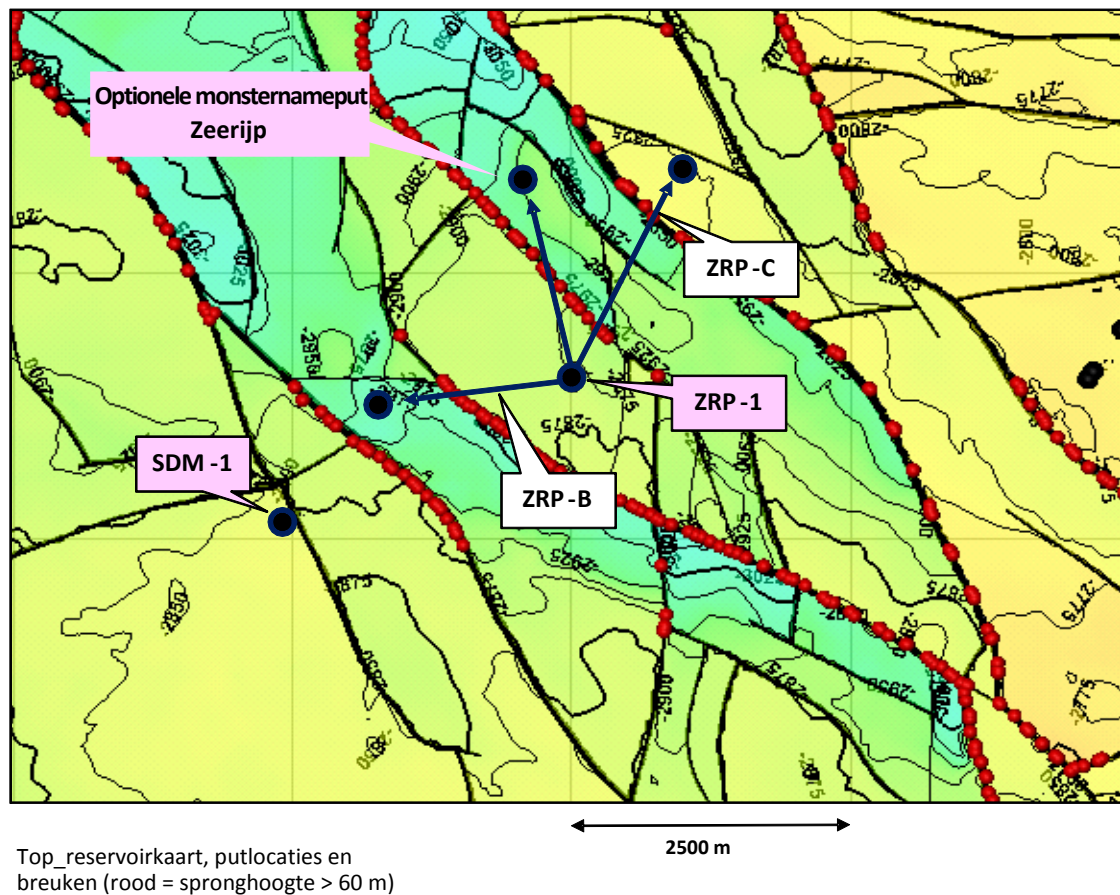


Figuur 3.10 Puttraject van de twee permanente geofonputten in het Loppersumgebied.

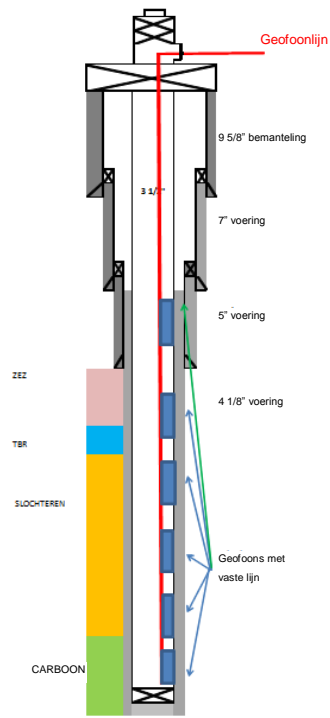
De volgende onderzoeken berusten op het nemen van een nieuw bodemonster boven het Rotliegend en Carboon in een put die in het Loppersumgebied is geboord:

- Compactie: laboratoriumexperimenten naar het compactiegedrag van reservoirgesteente
- Strain partitioning: experimentele proefnemingen van monstermateriaal van dynamisch frictiegedrag van breuken, breuk- en ontladingsgedrag van reservoirgesteente.
- Strain partitioning: modelleringsstudies om de fysica van dynamische breukverschuiving en het effect van verschillende geomechanische modelleringsopties te evalueren

Deze onderzoeken, die zullen worden uitgevoerd door Shell P&T (Rijswijk) en Universiteit Utrecht (mogelijk in het kader van NISP), moeten zowel de Rotliegend- als Carboonformaties behandelen. De in deze putten verzamelde gegevens zullen ook nuttig zijn voor de beoordeling van de Rotliegend aquifer en de Carboon-formatie (ook genoemd als voorwaarde in de brief van de minister van Economische Zaken).



Figuur 3.11 Locaties voor twee permanente geofonputten in het Loppersumgebied t.o.v. het structurele model.



- Uitgangspunt is 5" voering, 4 1/8" gat
- Put af te werken met 3 1/2" cementafwerking
- Materiaalkeuze: Cr 13-L80 tubing
- Aansluitingen
- Hanger naar 2128 m AH: 9.2# VAM Top
- 2129 – 3118 m AH (5" voering): 9.2# VAM Top SC67.3
- 3189 – TD (open gat): 10.2# VAM FJL
- Putmond en tree rating 10.000 en 5.000
- Ontwerp 300 m cement gepland in de 5" voering
- WellCat: tubing overeenkomstig generieke omhulling
- Bijzonder: geen TRSV
- Bijzonder: 1,21 sg CaCl₂-brine

Figuur 3.12 Putontwerp voor de twee permanente gefoonputten in het Loppersumgebied.

3.4 Sensoren in gebouwen

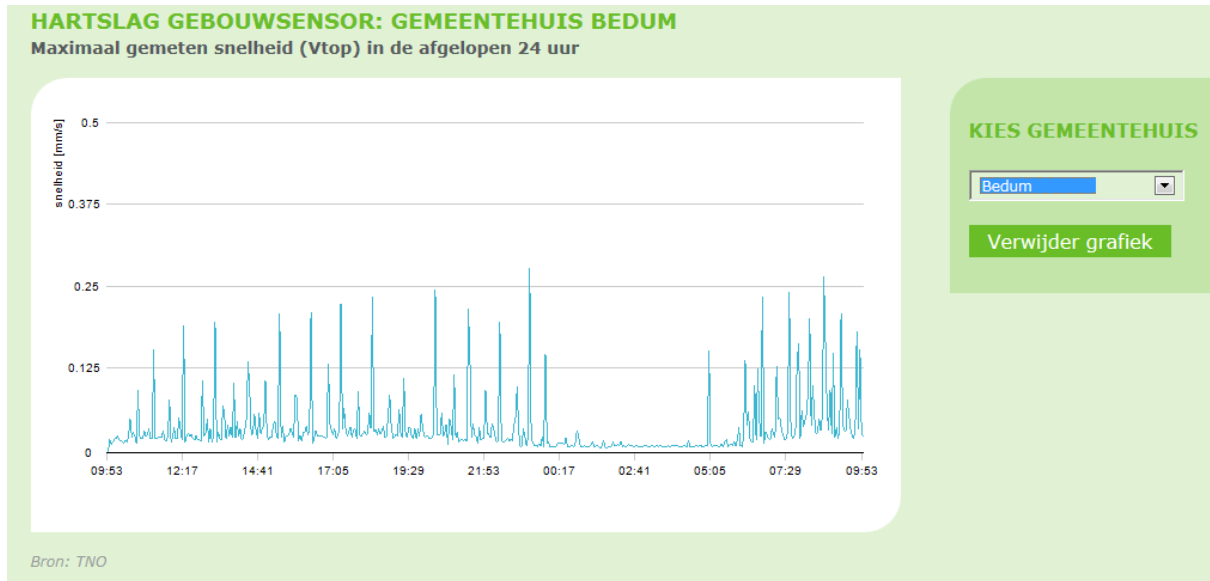
Bij de funderingen van gebouwen in het gebied zijn versnellingsmeters geplaatst. Dit betreft zowel openbare gebouwen (gemeentehuizen) als particuliere woningen. Er zijn ongeveer 20 versnellingsmeters geplaatst in openbare gebouwen (voornamelijk gemeentehuizen) en ruim 200 versnellingsmeters zijn in woningen van particulieren aangebracht. Deze gebouwen zijn geselecteerd op grond van verschillende bouwtypologieën en bodemomstandigheden. Ook is rekening gehouden met de geografische spreiding en de afstand tot gefoonstations.

Om er zeker van te zijn dat de verzamelde gegevens bruikbaar zijn voor het studieprogramma, voldoen deze sensoren aan de volgende strenge specificaties:

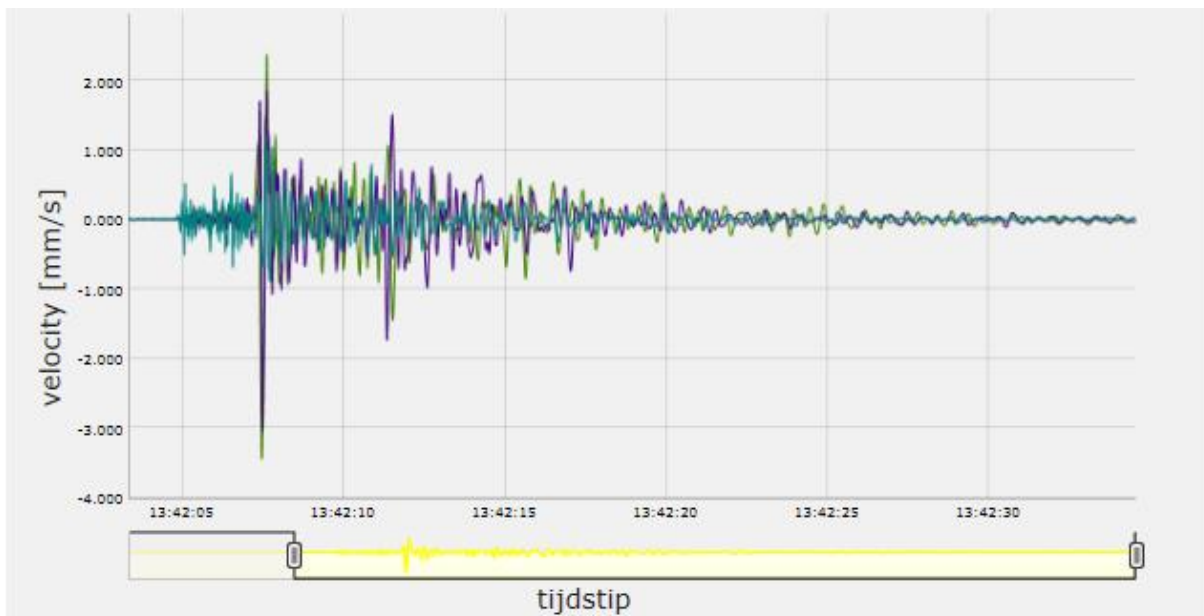
- De versnellingsmeters zijn geplaatst bij de fundering
- De versnelling wordt gemeten in drie richtingen (lengte, breedte, hoogte)
- Het meetbereik is 200 mm/s
- De meetfrequentie bedraagt 250 Hz
- De tijdsregistratie is op 1 seconde nauwkeurig
- De meetdrempel bedraagt 1 mm/s



Figuur 3.13 Installatie van de gebouwsensoren.

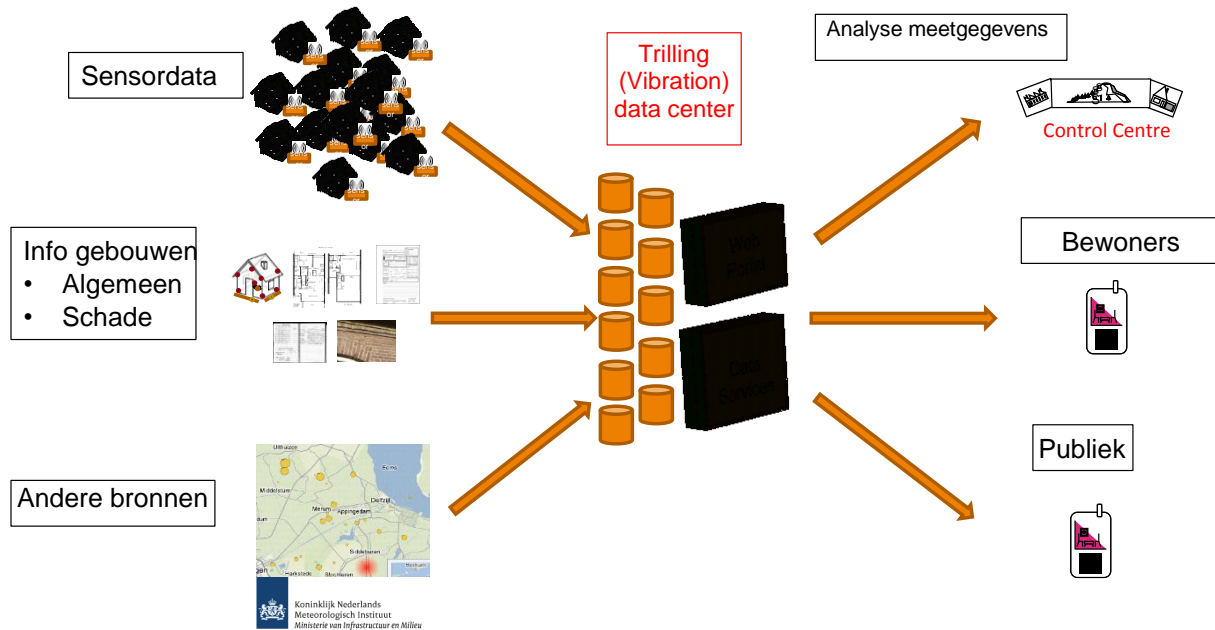


Figuur 3.14 Snelheid gemeten door sensor in het gemeentehuis van Bedum. De beweging van het gebouw gedurende de dag en avond is duidelijk te zien.



Figuur 3.15 Snelheid gemeten door de sensor in het gemeentehuis van Bedum tijdens de aardbeving bij Ten Boer (Thesinge) op 30 september 2014. De drie grafieklijnen geven de beweging in horizontale X (paars), horizontale Y (groen) en verticale (blauw) richting aan.

De door de sensoren geregistreerde data worden via een webportaal gedeeld. Op dit portaal zijn de metingen van het openbare gebouw te zien, terwijl de data van de particuliere woningen om privacyredenen worden samengevoegd.

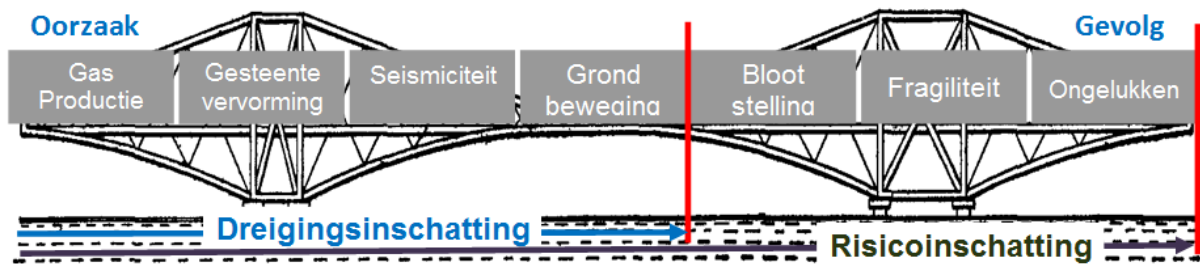


Figuur 3.16 De meetgegevens van de gebouwsensoren worden in een datacentrum verzameld en met de bewoners en het publiek gedeeld.

4. Overzicht van de onderzoeken

4.1 Dreigings- en risicoinschatting

Er zijn voorbereidingen getroffen om een methodiek te ontwikkelen voor een volledig probabilistische risicoinschatting op basis van het huidige volledig probabilistische dreigingsinschattingsmodel. Onzekerheden op elk niveau zullen consequent worden doorberekend. Hiertoe is een op Monte-Carlo simulatie gebaseerd prototype ontwikkeld.



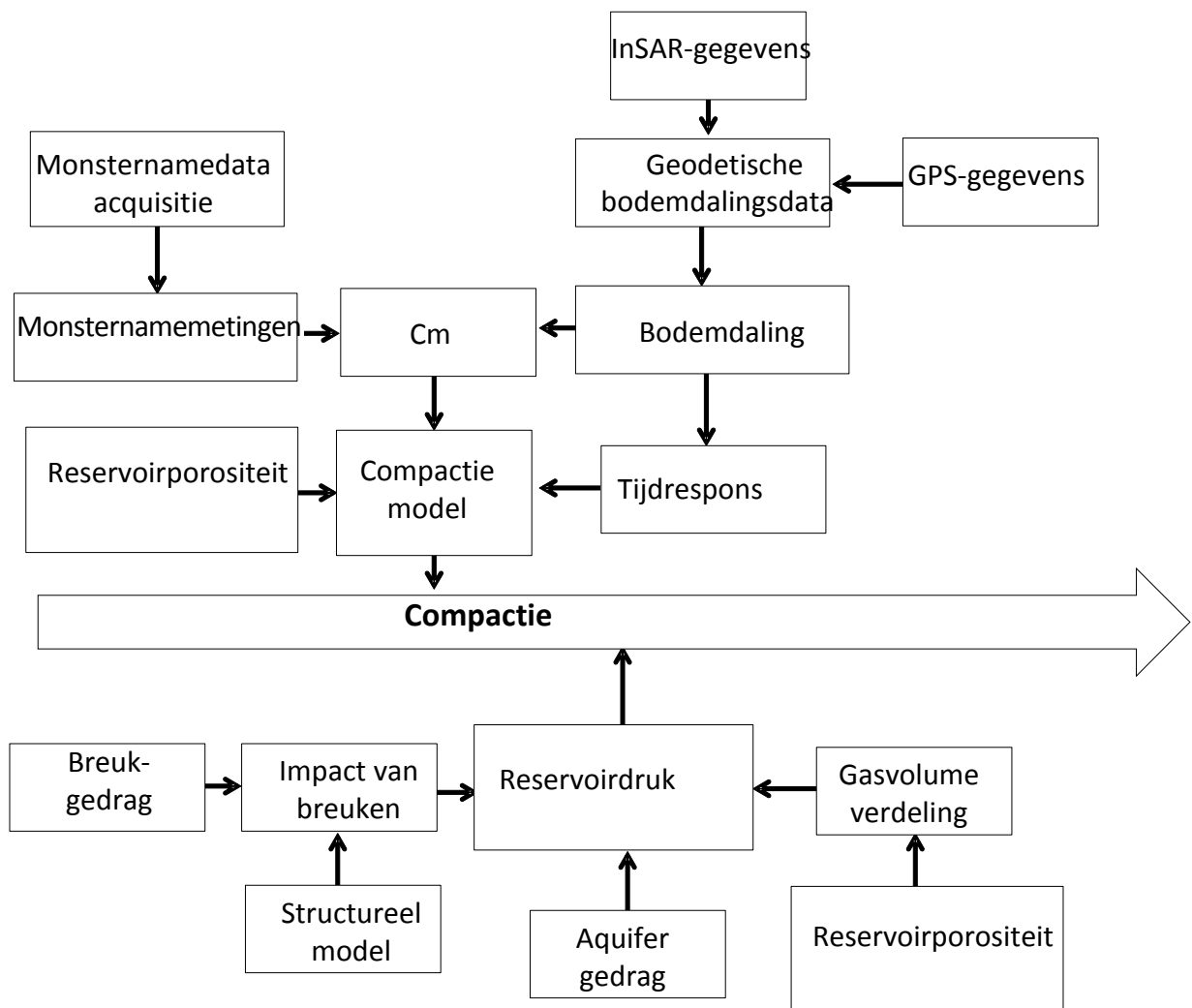
Figuur 4.1 Schematische voorstelling van de elementen van de probabilistische risicoinschatting. Deze brug overspant oorzaak (gasproductie) en effect (impact op individuele veiligheid). Het linker gedeelte van deze brug vereist hoofdzakelijk geologische expertise, terwijl voor het rechter gedeelte van de brug vooral civieltechnische kennis noodzakelijk is.

De analyse begint met de oorzaak, gasproductie, en zet zich voort tot en met het effect, de impact op de veiligheid van mensen. De onderzoekstudies zijn gegroepeerd in:

- Bodemdaling en compactie,
- Seismiciteit en de partitioning factor,
- Voorspelling van de grondbeweging (GMP),
- Gebouwen voorraad en reactie en
- Gevolgenanalyse.

Een uitgebreide beschrijving van de onderzoeken is vinden in de separate bijlage bij het rapport.

4.2 Bodemdaling en compactie



Figuur 4.2 Schematische voorstelling van de elementen van de onderzoeken in het compactiemodel.

Bij de actualisatie van het Groningen Winningsplan 2013 was de bodemdaling grotendeels gebaseerd op de compactiemodellen en prognosemethoden voor bodemdaling die voor de Waddenzee waren ontwikkeld en die zijn gebruikt in de Winningsplannen voor de Waddenzee, Ameland en Anjum. Daarom bevatte de actualisatie wel het werkprogramma voor de meting van het bodemmonster dat in de Moddergat-put was genomen, maar slechts weinig additionele fundamentele onderzoeken.

Toen in november 2013 een rapport opgesteld door TNO-AGE over het isotachmodel beschikbaar kwam, werd dit model opgenomen in de prognosemodellen voor bodemdaling en toegevoegd aan de bodemdalingsanalyse voor het Groningen Winningsplan 2013. De tijd ontbrak om de validiteit en toepasbaarheid van het isotachmodel op compactie in het Rotliegend-reservoir van het Groningenveld te toetsen. Daarom werd het gebruikt naast het time decay-model waar de voorkeur naar uitging.

In dit nieuwe onderzoeksplan zal het accent meer komen te liggen op nieuwe data acquisitie, research en de ontwikkeling van nieuwe methoden voor het voorspellen van bodemdaling en compactie.

Inmiddels zijn de volgende onderzoeken ingesteld om een beter inzicht te verkrijgen in compactie en om de onzekerheid in de compactieprognose te verkleinen:

1. Geodetische analyse van meetgegevens over bodemdaling, met behulp van tijd-ruimte analyses (bodemdaling op geïntegreerde wijze in de tijd en ruimte afleiden uit alle beschikbare geodetische metingen) om een beste schatting van het volledige bodemdalingsveld te verkrijgen. Dit zal leiden tot het opstellen van een consistent werkplan voor de verwerking van geodetische gegevens afkomstig uit verschillende geodetische observatietechnieken. Dit draagt bij aan geomechanische modellering en levert deformatiekaarten op die op metingen zijn gebaseerd.
2. InSAR-gegevens over dalende en weer opgaande/zijwaartse beweging (toepassing van hoge resolutie InSAR (opgaande/dalende scanning): om de verticale en zijwaartse compactieverplaatsing te monitoren (en opties te onderzoeken voor het monitoren van bebouwing).
3. De optie onderzoeken om zwaartekrachtstudies te gebruiken om ondergrondse herverdeling van massa en aquiferbewegingen in het Groningen-gasveld te bepalen.
4. Beter gebruik maken van bestaande geodetische data om de verschillende compactiemodellen beter te beheersen en om moderne statistische testen toe te passen om bij elk model de relatieve waarschijnlijkheid te bepalen of dat het ware model is, gegeven de beschikbare data. Deze relatieve waarschijnlijkheden zullen vervolgens de keuze onderbouwen welke compactiemodellen moeten worden opgenomen in de logic tree voor toekomstige seismische dreigings- en risicoinschattingen.
5. Actualisatie van het porositeitsmodel voor het Groningenveld met het oog op nieuwe meetgegevens over bodemdaling. Doelstelling is een statische en dynamische modelrealisatie van het Rotliegend-reservoir van het Groningenveld dat een goede match biedt met (1) reservoirdrukmetingen (2) waarnemingen van waterindringing en (3) bodemdalingsmetingen. Dit Petrel en MoReS-model zal worden gebruikt om de bodemdalingsmodellering en dreigingsinschatting te verbeteren. De focus ligt op trends die gebaseerd zijn op de afzettingssomgeving, verschillen in porositeit in met gas en water gevulde reservoirs en het toepassen van seismische inversietechnieken.
6. Toetsing van voorgestelde compactiemodellen op basis van tijdsafhankelijke, niet-elastische processen door externe deskundigen.
7. Bodemonstermetingen van compactiegedrag en breukgedrag bij het bodemonster dat in de Zeerijp-C-put zal worden genomen. Deze experimenten zullen worden uitgevoerd op de Universiteit Utrecht (Chris Spiers), in het laboratorium van Shell in Rijswijk en het Upstream Research Centre van Exxonmobil in Houston.
8. Onderzoek naar de fysische mechanismen en fundamentele mechanica die de compactie van zandsteen bij Slochteren bepalen. Inzicht verkrijgen en constitutieve wetten afleiden die gebaseerd zijn op deze fundamentele micromechanische processen welke zijn waargenomen in experimenten en in microstructurele studies van bemonsterde gedeeltes van lege en niet-uitgeproduceerde reservoirs. Een secundair, maar niettemin cruciaal doel is de balans te bepalen tussen elastisch opgeslagen energie en energie die is verbruikt in onelastische processen. Dit

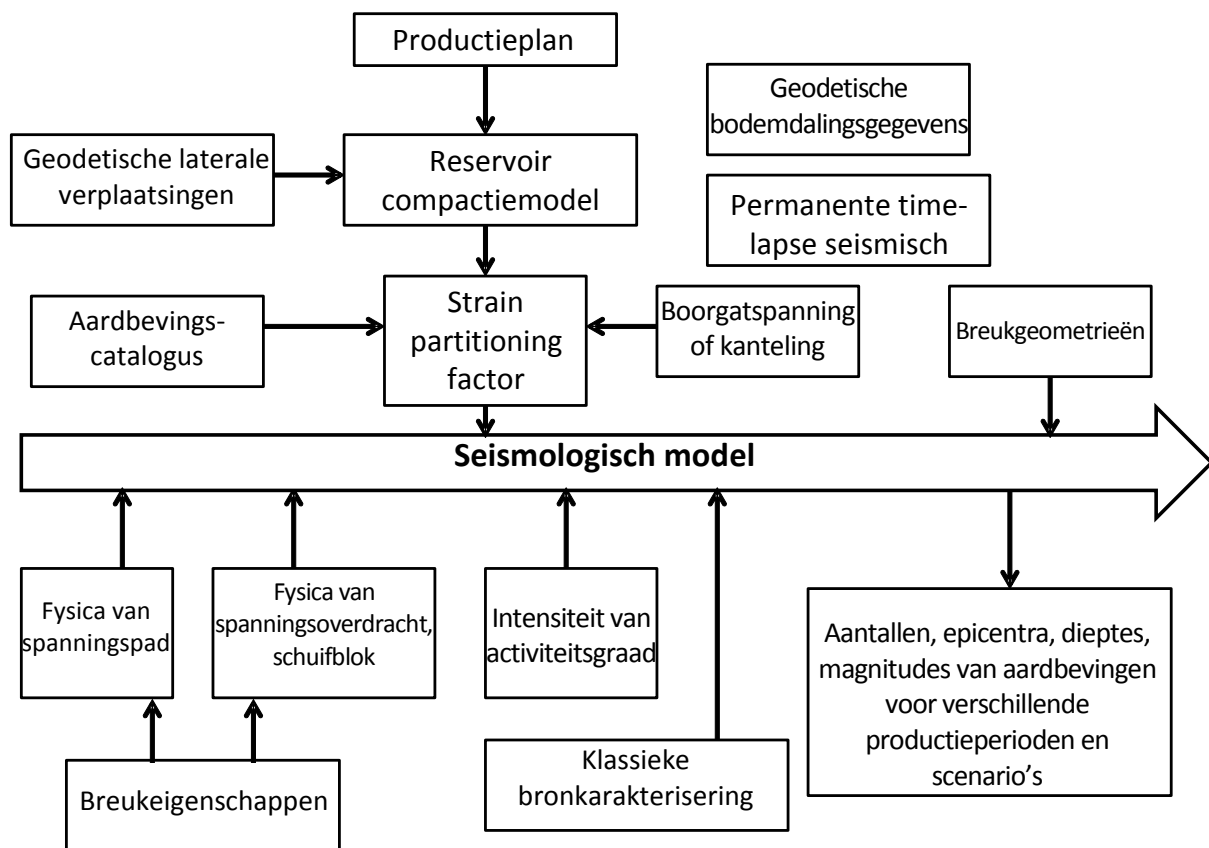
project zal gebruikmaken van bestaand monstermateriaal en het bodemonster dat zal worden genomen in de Zeerijp-C-put, en wordt uitgevoerd in samenwerking met de Universiteit Utrecht.

9. Onderzoek naar het opschalen van compactiemodellen van laboratorium- naar veldschaal.

In bijlage A van dit rapport zijn uitgebreide beschrijvingen van de verschillende onderzoeken te vinden. De belangrijkste aandachtspunten zijn:

- Het temporele reactiegedrag van compactie is een punt van discussie met SodM en TNO-AGE (onderzoeken 4, 6, 7, 8 en 9).
- Verbetering van het porositeitsmodel en aquifergedrag zal naar verwachting resulteren in een betere compactiematch en -prognose (onderzoeken 3 en 5).
- Additionele acquisitie (bodemmonster in Loppersumgebied) en verbeterde analyse van gemeten bodemdaling (onderzoeken 1 en 2).

4.3 Seismologisch model (partitioning factor)



Figuur 4.3 Schematische voorstelling van de elementen van het seismologische model.

Voor het Winningsplan 2013 is er een seismologisch model ontwikkeld op basis van compactie en een partitioning factor. De volgende onderzoeken naar het seismologische model, de partitioning factor en een beter geomechanisch inzicht in het breukproces zijn ingesteld:

1. Het gedrag van verschuivingen en nabijgelegen formaties voor en na breuken bepaalt het opslaan en vrijkomen van energie voorafgaand en tijdens seismische gebeurtenissen. De volgende activiteiten worden voorzien:
 - a. Experimentele testen van dynamisch frictiegedrag van breuken, verschuivings- en ontladingskenmerken van reservoirgesteente, om een beter inzicht te krijgen in de fysica van heractivering van verschuivingen en breuken en de omstandigheden die bepalen of een schuivende breuk seismisch of aseismisch is. Ook het effect van poriënvloeistoffen moet worden onderzocht.
 - b. Modelleringsstudies om experimentele resultaten en het effect van verschillende geomechanische modelleringsopties te evalueren op de fysica van heractivering van verschuivingen en breuken (geometrische aspecten (reservoirdikte, hellingshoek van de breuk en de azimuthhoek), het verzachten en verstijven van schuivende breuken en spanningscontrast).

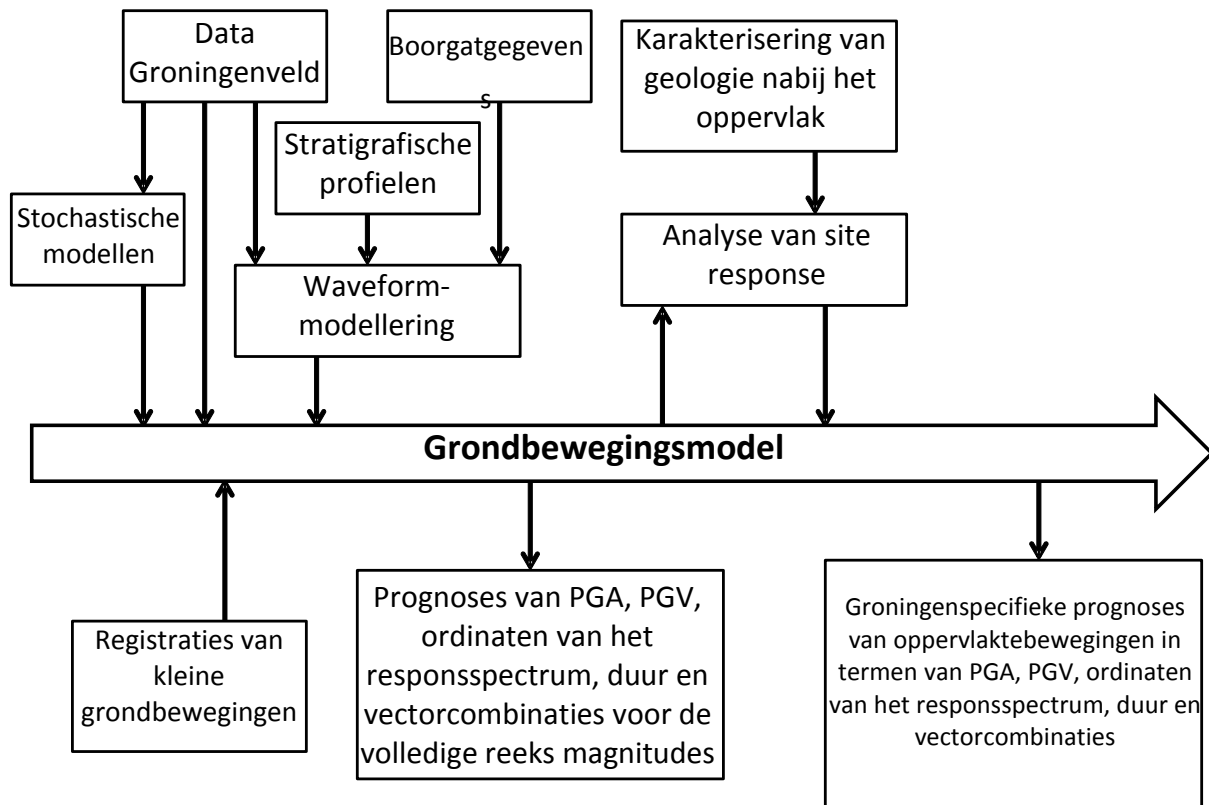
- c. Gedetailleerde geomechanische modellering om te onderzoeken of een breuk die in gang is gezet in of onder het Rotliegend- reservoirgedeelte zich voortplant in Zechsteinzout danwel of het Zechsteinzout in het geval van Groningen de breukgroei beperkt.
2. Momenteel wordt het in verband brengen van de aardbevingen met vastgestelde breuken in het structurele model belemmerd door de grote onzekerheid over de plaats van het hypocentrum van de aardbevingen en de onzekerheid in de karakterisering van het structurele model.
Er zijn twee initiatieven voor het verzamelen van gegevens genomen om deze kwestie aan te pakken door de plaatsbepaling van het hypocentrum van de aardbeving en de karakterisering van de bronstralingsparameters (zie hoofdstuk 5) te verbeteren:
 - a. Uitbreiding van het veldbrede netwerk van geofoons bestaande uit 59 boorgatstations elk met een string van geofoons, met een tussenruimte van 50 meter en een oppervlakteversnellingsmeter.
 - b. Plaatsing van geofoons op reservoirniveau in diepe putten in het Loppersumgebied. Voor het beperkte gebied dat door deze diepe opstellingen wordt bestreken zal de nauwkeurigheid van meetgegevens van gebeurtenissen in de diepte sterk toenemen.
3. Een nauwkeurige beeldvorming van het hypocentrum van de aardbeving vereist kennis van het driedimensionale snelheidsveld. Meting van de gesteentedichtheid en de snelheid van P- en S-golven in de deklagen van putgedeelten van Borgsweer-5 en toekomstige putten beoogt onze kennis van het driedimensionale snelheidsveld te vergroten (zie ook GMPE).
4. Moderne meerlagige geomechanische modellering, in combinatie met inzicht in de relatie tussen geomechanica en seismische activiteit, kan een werkbaar kader opleveren voor het beter begrijpen van seismiciteit bij breuken. Ook kan zo beter inzicht ontstaan in toekomstig seismisch gedrag via een natuurkundig-beperkte spanningsontlading (partitioning factor). Dit wordt onderwerp van toekomstige studies, bedoeld om een werkplan te maken dat moet leiden tot een robuuste integratie tussen driedimensionale breukmodellering en bestaande seismologische modellering om seismische onzekerheden te verkleinen.
5. Verbetering van de huidige geomechanische modellering van het volledige veld om de mogelijkheid van ondergronds stress management te onderzoeken. De resultaten van bovengenoemde modelselectiestudies dienen te worden meegenomen. Verdere kalibratie wordt ondersteund door aanvullende veldmetingen van:
 - a. De minimale horizontale spanning in het veld, met name in en rond de depleterende formaties.
 - b. De poriëndruk van het veld in de loop van tijd in de onderliggende aquifer en de bovenliggende Ten Boer kleisteen.

De partitioning factor draagt het meest bij aan de onzekerheid over de dreiging. Hoezeer deze onzekerheid kan worden verkleind door onderzoeken en data acquisitie is een zaak van verdere discussie, omdat dit zowel aleatorische als epistemische onzekerheid betreft. Ervaringen met tektonische aardbevingen en aardbevingen die zijn geïnduceerd door andere, menselijke activiteiten (zoals waterafvoer- of geothermische projecten) kunnen hier wellicht meer licht op werpen.

De belangrijkste aandachtspunten zijn:

- Additionele acquisitie en verbeterde analyses (onderzoeken 1, 2 en 3). De gefoonputten bij Zeerijp bieden mogelijk de gelegenheid data te verzamelen in het aardbevingsgevoelige gebied. Dit omvat het nemen van een bodemonster door middel van boren in het Loppersumgebied.
- Geomechanische onderzoeken naar verschuivingen bij breuken en het breukgedrag na verschuiving (onderzoeken 1, 4 en 5)
- Geomechanische modellering is essentieel om de rol van verschuivingen op te nemen in het seismologische model ter onderbouwing van de dreigingsinschatting.

4.4 Voorspelling van de grondbeweging (GMP)



Figuur 4.4 Schematische voorstelling van de elementen van het grondbewegingsmodel.

In het studieprogramma voor 2013 was de methodiek voor de grondbewegingsprognose gebaseerd op een empirische GMPE op basis van grotere ($M \geq 4$) tektonische aardbevingen gekalibreerd met de beperkte versnellingsgegevens bij lage bevingsterktes in Groningen. Voor de dreigings- en risicoinschatting ter onderbouwing van de actualisatie van het Groningen Winningsplan 2016, is er een uitgebreid studieprogramma opgezet om tot een betere GMPE (Ground Motion Prediction Equation) te komen. Deze vergelijking moet rekening houden met de onzekerheid en worden gekalibreerd op de geologische lagen boven het gasveld, van reservoir tot de bodemlagen. Ook moet de vergelijking de grondbewegingsparameters voorspellen die nodig zijn voor fragiliteitsprognoses voor gebouwen die typerend zijn voor dit gebied. Op dit moment zijn de fragiliteitscurven alleen gebaseerd op PGA, waarbij inherent wordt uitgegaan van de langere tektonische respons. Er is een correctie van fragiliteitscurven voor kortere duur doorgevoerd, maar deze moet nader worden onderbouwd.

Om de prognose van de grondbeweging te verbeteren en om de mogelijke omzichtigheid en onzekerheid in de huidige benadering te verkleinen, zijn de volgende onderzoeken ingesteld:

1. Uitgebreide beschrijving van de bodem- en ondiepe oppervlaktegeologie (tot 300 m) voor het Groningengebied. Doel is de lokale amplificatie te bepalen en de mogelijkheden voor bodemvervloeiing te onderzoeken. Deltares is benaderd om het geologische model op te zetten. Gegevens over de lokale ondiepe geologie zijn verzameld vanuit een groot aantal bestaande bronnen (hoofdzakelijk de afgelopen decennia verkregen in het kader van gebouwfunderings- en andere civieltechnische analyses). Daarnaast zijn tijdens het boren van de ondiepe putten ter uitbreiding van het gefoonnetwerk waardevolle geologische en bodemdata verzameld.
2. Het uitvoeren van site response-analyses (op basis van veldmetingen van Vs30 en gegevens van gefoons in boorgaten) om te komen tot ruimtelijk uiteenlopende locatiewcorrecties en een veldspecifiek in plaats van generiek amplificatiemodel voor locaties. Het effect van bodemreacties kan mogelijk een aanzienlijke impact hebben op de risicoinschatting.
3. Kalibratie van GMPE voor de prognose van PGA, PGV, ordinaten van het responsecentrum en duur voor een brede reeks aardbevingssterktes en vectorprognoses van amplitude en duur.
4. Gegevens van oppervlaktebeweging van de grond voor nadere kalibratie van de GMPE op een veel dichtere raster dan momenteel mogelijk is. Deze data worden verkregen van de versnellingsmeters die zijn geplaatst in de 59 extra gefoonputten ter uitbreiding van het netwerk. Ook data van de gefoons in de 59 ondiepe putten zullen waardevol zijn voor het karakteriseren van de site response.
5. Golfvormmodellering en full waveform inversion (FWI) om het effect te begrijpen van ruimtelijke heterogeniteit van gesteente-eigenschappen en de rol van het Zechstein-interval bij het afzwakken van amplitudes van de bron naar het oppervlak en ook om inzicht te krijgen in mogelijke alternatieve vormen van GMPE.
6. Om de modellering van de voortplanting van het seismische golfveld door de ondergrond te verbeteren, moet meer kennis worden verkregen van het snelheidsveld in het gesteente boven het reservoirgedeelte. Als het putontwerp dit toelaat, zullen meetgegevens van de gesteentedichtheid en de snelheden van P- en S-golven in de deklaag worden verkregen in toekomstige putten (Zeerijp-2 en Zeerijp-3).
7. Schatting van de stochastische bron-, pad- en siteparameters uit seismische registraties in het Groningenveld.
8. Analog onderzoek naar betekenisvolle kenmerken van kleinere aardbevingen (literatuurstudie naar schade en dodelijke ongevallen) voor het opstellen van gevolgenmodellen.

De onderzoeken richten zich vooral op:

- Een betere beschrijving van de bodemlaag (onderzoek 1 en 2). Dit maakt een betere prognose van de grondbeweging op specifieke locaties mogelijk.
- Verbeterde data acquisitie van grondbewegingen. Dit resulteert in een betere kalibratie (onderzoek 4 en 6).
- Een uitgebreidere beschrijving van de grondbeweging (dan alleen van de PGA) (onderzoek 3, 7 en 8) en full waveform-modellering (onderzoek 5) kunnen een betere beschrijving van de grondbeweging opleveren voor gebruik in fragiliteitscurven.

4.5 Drukhandhaving

Het onderzoek naar drukhandhavingsopties voor het Groningenveld schetst de contouren voor een ontwikkeling van stikstofinjectie in het Groningenveld. De haalbaarheid en effectiviteit hiervan moeten nog worden aangetoond en een dergelijke ontwikkeling vergt relatief veel tijd.

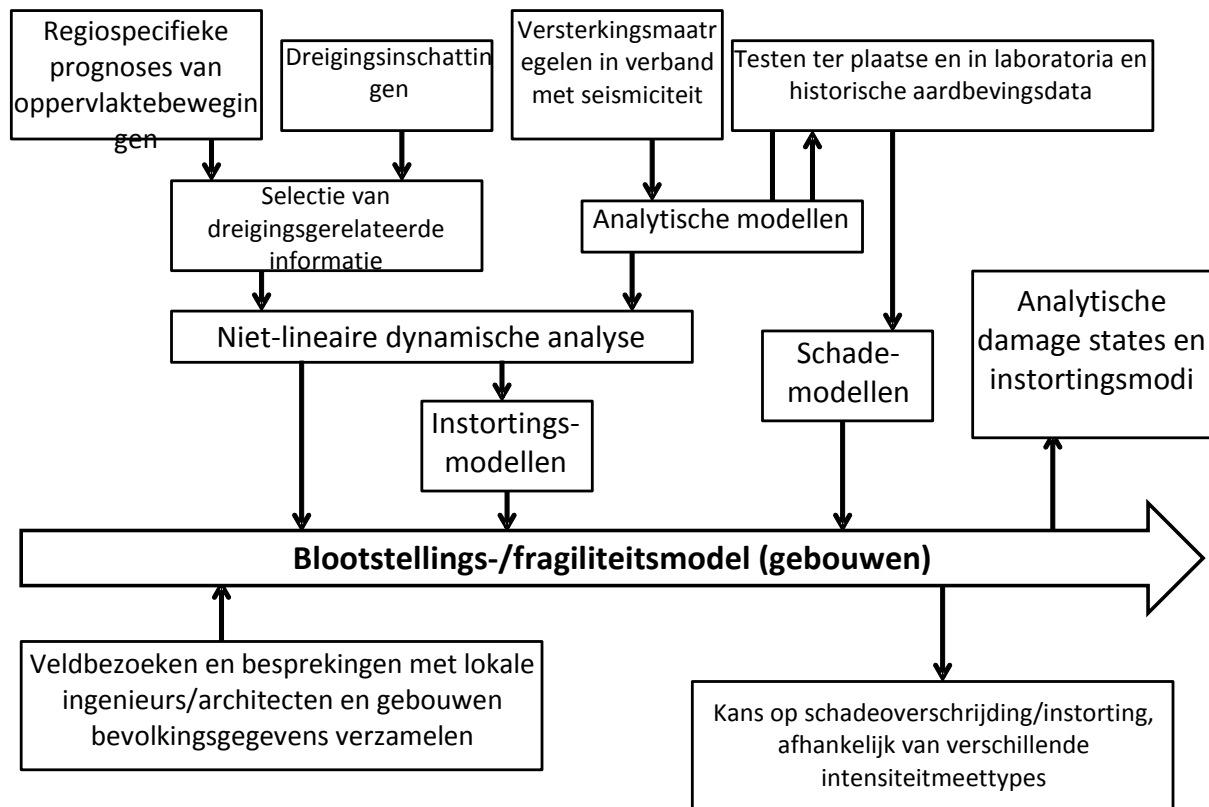
De start van een vervolghaalbaarheidsonderzoek naar drukhandhaving staat gepland voor begin 2014. Dit onderzoek gaat nader in op de technische haalbaarheid van het ondergrondse gaswinningsproces en de infrastructurele aspecten van de vereiste faciliteiten voor deze ontwikkeling van drukhandhaving. De analyse van de grote impact van een dergelijke belangrijke ontwikkeling op de Groninger bevolking, de integratie en inventarisatie van mogelijke synergiën met andere industriële activiteiten maken ook deel uit van dit onderzoek.

Er zijn drie onderzoeken ingesteld:

1. *Nadere uitwerking van een drukhandhavingsoptie op basis van stikstof*
2. *Groningen 2.0 - Onderzoek drukhandhavingsopties voor 'conventionele' stikstofproductie, distributie en injectie,*
3. *Effecten van stikstofinjectie op seismiteit.*

Werkstroom 1 van Groningen 2.0 richt zich op "Alternatieven voor stikstofproductie & injectie". De afstemming tussen NAM, PTU en Groningen 2.0 is cruciaal en een aandachtspunt voor de ontwerpbesprekingen.

4.6 Gebouwen voorraad en reactie



Figuur 4.4 Schematische voorstelling van de elementen van het blootstellings- en fragiliteitsmodel.

Om de impact van een aardbeving op gebouwen te beoordelen, is informatie nodig van alle gebouwen die zich in de buurt van het gasveld bevinden. Daarnaast moet de reactie van deze gebouwen op de groundbeweging worden onderzocht. Het onderzoek naar de fragiliteit van gebouwen is verdeeld in twee studies: onderzoek naar gebouwen die zijn opgetrokken uit niet-versterkt metselwerk (unreinforced masonry, URM) en onderzoek naar de overige gebouwen. Omdat dit een grote inspanning vereist, heeft NAM een onderzoeksprogramma opgezet met vier partners om de gebouwen voorraad te inventariseren en de fragiliteit van de gebouwen in Groningen te analyseren:

- Eucentre in Pavia,
- ARUP,
- Technische Universiteit Delft en
- Mosayk.

Dit programma zal zich bezighouden met de fragiliteit van gebouwen die typerend zijn voor het gebied Groningen (in plaats van gegevens van andere aardbevingsregio's gebruiken) en is ook nauw verbonden met het bouwkundig versterkingsprogramma.



Figuur 4.5 Schematische voorstelling van de elementen van het fragiliteitsmodel voor gebouwen.

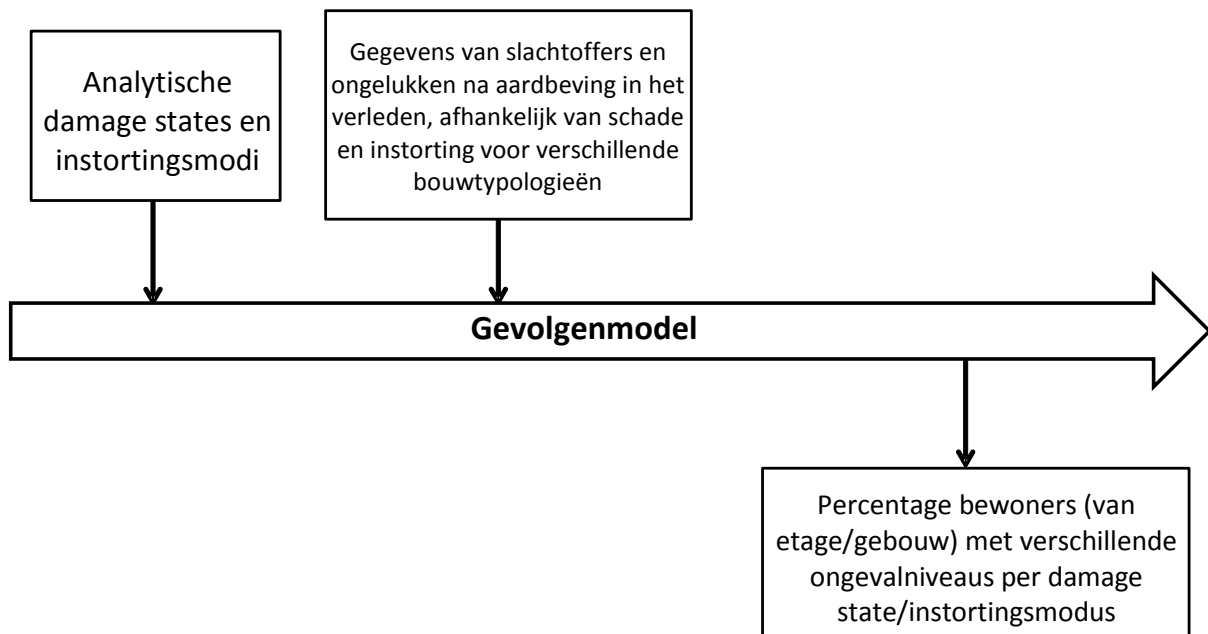
Om het inzicht in de reactie van de gebouwen in het gebied Groningen op een aardbeving te verbeteren, zijn de volgende onderzoeken ingesteld:

1. Het samenstellen van een database voor blootstelling en bezetting die het gehele aardbevingsgebied bestrijkt (deze werkzaamheden worden uitgevoerd door ARUP).
2. De bouwtypologieën bepalen die kenmerkend zijn voor de gebouwenvoorraad in Groningen.
3. Geometrische, materiaal- en dynamische eigenschappen van Groninger gebouwen inventariseren aan de hand van bouwtekeningen, testen ter plaatse en monitoring.
4. Mechanische eigenschappen van typisch Gronings metselwerk reproduceren in het laboratorium.
5. Fragiliteitsmodellen opstellen voor de belangrijkste URM-bouwtypologieën en de belangrijkste niet-URM-bouwtypologieën.
6. Kalibratie van numerieke modellen voor gebouwen die al dan niet uit metselwerk zijn opgetrokken (inclusief aanpassingsprogramma's)
7. Full-scale testen met aardbevingstafel van vier representatieve gemetselde gebouwen (er staat één full-scale test per jaar gepland, van 2015 tot 2018). Dit om de werkelijke seismische reactie vast te stellen van de vier gangbaarste bouwtypologieën in Groningen wanneer deze worden onderworpen aan representatieve grondbewegingen.

De onderzoeken richten zich vooral op:

- Het bepalen welke gebouwen zich in het gebied Groningen bevinden (onderzoek 1) en
- De reactie van deze gebouwen op een aardbeving voorspellen (onderzoeken 2 tot 7).

4.7 Gevolgenmodel



Figuur 4.6 Schematische voorstelling van de elementen van het gevolgenmodel.

Aanvullend onderzoek en data acquisitie betreffende fragiliteit (onderzoeken 2, 3, 4, 5, 6) en kwetsbaarheid (onderzoek 7) is nodig om input voor de risicoanalyse te genereren.

1. *Analoog onderzoek naar betekenisvolle kenmerken van kleinere aardbevingen (literatuurstudie naar schade en dodelijke ongevallen) voor het opstellen van gevolgenmodellen.*
2. *Afleiding van kwetsbaarheidsmodellen voor het inschatten van ongevallen.*

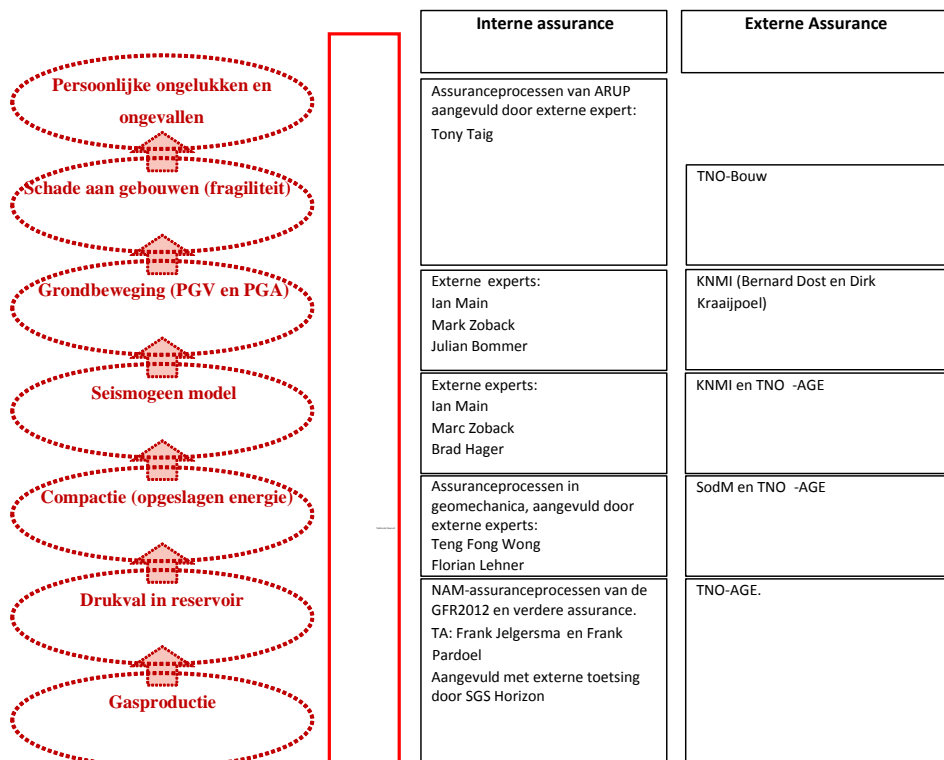
5. Onderzoeksbeheer en kwaliteitsborging

5.1 Kwaliteitsborging

Om de technische kwaliteit en afstemming met belangrijke deskundigen en belanghebbenden te borgen, hebben de onderzoeken en data acquisitieprojecten betreffende aardbevingen in Groningen zowel een interne als externe governancestructuur. Gelet op het belang van de aardbevingsproblematiek wordt in sommige gevallen het onderzoek in verschillende studies uitgevoerd.

Dit biedt ons zonder meer voordelen:

1. Het kan inzichten en resultaten verschaffen die onze interne onderzoeken aanvullen (om de simpele reden dat ze vanuit een andere invalshoek worden uitgevoerd: een “frisse blik”.)
2. Onafhankelijke assurance door externe partijen (MIT, NORSAR etc. en andere gerenommeerde partijen).
3. Het helpt onze externe deskundigen die bij de aardbevingsdiscussie zijn betrokken en SodM/TNO/KNMI te overtuigen.
4. Het steunt ons in gesprekken met sceptische lokale belanghebbenden omdat het duidelijk laat zien dat wij al het mogelijke doen om inzicht te krijgen in de aardbevingsproblematiek en niet alleen afgaan op onze eigen kennis.



Figuur 5.1 Assurancemodel dat gebruikt wordt voor de onderzoeken ter onderbouwing van de actualisatie van het Winningsplan Groningen - 2016

Voor die terreinen waar deskundigheid binnen NAM/Shell beschikbaar is, zullen de bestaande assuranceprocessen en toegewezen specialisten worden gebruikt. Voor vakgebieden waar binnen NAM/Shell geen deskundigheid voorhanden is, zal de assurance plaatsvinden door externe experts.

De interne assurance wordt aangevuld door onafhankelijke (externe) assurance. Voor de werkzaamheden met betrekking tot petroleum engineering is SGS Horizon ingehuurd om een onafhankelijke toetsing van het ondergrondse werk uit te voeren (geologie en reservoir engineering).

5.1.1 Deskundigen en instituten

NAM heeft contact opgenomen met externe instituten die beschikken over relevante deskundigheid en kennis om de voorgenomen onderzoeken te verrichten en assurance te verzorgen voor intern uitgevoerde studies. De belangrijkste deskundigen die hiervoor zijn benaderd zijn:

- Ian Main, professor Seismologie en Gesteentefysica aan de Universiteit van Edinburgh. De vakgebieden van professor Main zijn: processen die leiden tot catastrofale breukverschijnselen, van aardbevingen, gesteentebreuk en vulkaanuitbarstingen tot bezwijkende bouwmaterialen en bruggen, en het kwantificeren van de hieruit voortvloeiende dreiging.
- Julian Bommer, civiel ingenieur en voormalig professor aan het Imperial College London, gespecialiseerd in de karakterisering en voorspelling van grondbewegingen van aardbevingen. Hij heeft meer dan 100 artikelen in vakbladen gepubliceerd over seismische dreiging en risico, die meer dan 3.500 keer zijn geciteerd op het Web of Science. Als adviseur op het gebied van seismische dreigings- en risicoschatting, heeft hij zitting gehad in de Seismic Advisory Board voor de Panama Kanaal Autoriteit, reviews verzorgd van hazardstudies voor kerninstallaties in Abu Dhabi, Californië, Roemenië en het Verenigd Koninkrijk (voor het Office for Nuclear Regulation) en leiding gegeven aan locatiespecifieke studies voor kerncentrales in Brazilië en Zuid-Afrika, alsmede voor de DOE Hanford Site in de staat Washington.
- Rui Pinho, civiel ingenieur met als specialisatie seismische analyse, analyse en aanpassing van constructies in aardbevingsgevoelige gebieden, een terrein waarop hij bijna 250 artikelen heeft gepubliceerd. Naast het vervullen van academische functies aan het Imperial College London en de Universiteit van Pavia, was hij ook medeoprichter van Seismosoft, de toonaangevende ontwikkelaar en aanbieder van engineeringsoftware voor aardbevingen. Daarnaast was hij secretaris-generaal van het Global Earthquake Model, een publiek-private organisatie zonder winstoogmerk die belast is met het ontwikkelen van tools, methoden en normen voor het inschatten van seismische risico's op mondiale, regionale en lokale schaal.
- Helen Crowley, civiel ingenieur met een MSc- en PhD-grad in Aardbevingsengineering. Zij heeft meer dan 10 jaar ervaring met onderzoek en advisering op het gebied van seismische fragiliteit, risicoschatting en schadevaststelling en heeft ruim 120 publicaties op haar naam. In een periode van 5 jaar heeft Crowley de functie van risico-coördinator voor het Global Earthquake Model vervuld. Ook heeft ze een aantal prijzen ontvangen, waaronder de 2012 EERI Shah Prize for

Innovation in Earthquake Engineering en de 2009 European Geosciences Union Plinius Medal voor “voortreffelijke bijdragen op het vlak van risicoinschatting van aardbevingen en beperking van seismische risico's”.

- Ellen Rathje, Warren S. Bellows Centennial Professor aan de Department of Civil, Architectural, and Environmental Engineering van de Universiteit van Texas in Austin, VS. Haar onderzoeksinteresse omvat analyse van seismische site response, seismische hellingsstabiliteit, veldverkenning na aardbevingen en remote sensing van geotechnische verschijnselen. Rathje heeft meer dan 100 artikelen over deze onderwerpen gepubliceerd en heeft het onderzoek van ruim 30 promovendi begeleid. Haar onderzoek wordt gefinancierd door de Amerikaanse Geological Survey, de Amerikaanse Nuclear Regulatory Commission, de Amerikaanse National Science Foundation en het VN-ontwikkelingsprogramma.
- Florian Lehner is wetenschappelijk adviseur en onderzoeksmedewerker aan de faculteit Geodynamica en Sedimentologie aan de Universiteit van Wenen. Hij heeft ongeveer 30 jaar functies vervuld in het onderzoekslaboratorium van Shell, waarbij hij reservoir engineering, structurele geologie en geomechanica heeft bestudeerd. In de jaren tachtig van de vorige eeuw was hij universitair docent Engineering aan de Brown University in de VS. Lehner is docent en honorair hoogleraar Geologie aan de Universiteit van Salzburg, Oostenrijk, en was gastdocent aan de Universiteit van Bonn (1996/97), de École Polytechnique Palaiseau (1997/98), de École Normale Supérieure, Parijs (2001) en de Kyoto University Graduate School (2002). Zijn onderzoeksinteresses zijn mechanica en chemomechanica van poreuze media, door spanning geïnduceerde seismische time-lapse verschijnselen rond depleterende reservoirs, de vorming van buigverbindingen in meerlaagse reeksen en modellering van structuren die veroorzaakt zijn door bewegingen van (zout)substraat.
- Teng-fong Wong 黃庭芳, is professor en directeur van het Earth System Science Programme, faculteit Wetenschappen, aan de Chinese Universiteit van Hongkong. Hij behaalde een MS in Toegepaste wiskunde aan Harvard University en een PhD (Geofysica) aan MIT. Wong is universitair docent aan de Department of Geosciences van de State University of New York in Stony Brook. Zijn onderzoeksgebieden en huidige researchinteresses omvatten experimentele gesteentevervorming, gesteentefysica toegepast op energiebronnen, aardbevingsmechanica en milieuhydrologie. Hij heeft verschillende onderscheidingen en prijzen ontvangen, waaronder de Louis Néel Medal van de Europese Geowetenschappelijke Unie (op het gebied van gesteentemagnetisme, gesteentefysica en geomaterialen) en de SUNY Chancellor's Award for Excellence in Scholarship and Creative Activities.
- Peter Stafford is universitair hoofddocent aan de faculteit Engineering, Department of Civil and Environmental Engineering, en is fellow van het Willis Research Network en tevens RCUK fellow/docent in Modelling Engineering Risk. Eind 2007 werd hij benoemd voor de afdeling Structures en inmiddels is hij actief betrokken bij het onderwijs aan zowel studenten als promovendi. Zijn onderzoeksachtergrond is primair engineering seismologie, hoewel hij als bouwkundig en geotechnisch ingenieur ook ervaring heeft als professioneel adviseur. De huidige onderzoeksinteresses van dr. Stafford betreffen probabilistische methoden in engineering

seismologie en aardbevingsengineering alsook meer algemene civieltechnische toepassingen. Zijn lopende werkzaamheden behelzen onderzoek naar de ontwikkeling van methodieken voor schaderamingen bij aardbevingen, probabilistische seismische dreigings- en risicoinschattingen en de ontwikkeling van empirische grondbewegingsmodellen.

- Benjamin Edwards is een docent en senior onderzoeker van seismische dreiging bij de Swiss Seismological Service (SED), ETH Zürich. Hij is gespecialiseerd in het modelleren en voorspellen van grondbewegingen bij aardbevingen: van seismische bronnen en golfvoortplanting tot locatiespecifieke versterking en demping. Onlangs heeft Edwards gewerkt als grondstoffendeskundige voor het Zwitserse PEGASOS-project, een seismische risicoinschatting voor kerncentrales in Zwitserland, en momenteel maakt hij deel uit van de SED - een groep deskundigen op het gebied van sterke grondbewegingen van de Zwitserse federale nucleaire veiligheidsinspectie.
- Chris Spiers is professor Aardmaterialen - en hoofd van het Hoge Druk en Temperatuurlaboratorium - aan de afdeling Aardwetenschappen in de Faculteit Geowetenschappen van de Universiteit Utrecht. Hij is gespecialiseerd in onderzoek naar de mechanische en transporteigenschappen van gesteenten onder condities die kenmerkend zijn voor de korst en mantel van de aarde en de effecten die interacties van vloeibaar gesteente hebben op deze eigenschappen. Prof. Spiers heeft een BSc en PhD behaald aan het Imperial College London. Als Miller Fellow heeft hij een aantal jaren daarna gewerkt aan de Universiteit van California in Berkeley, voordat hij de overstap naar Nederland en de Universiteit Utrecht maakte, waar hij het Hoge Druk en Temperatuurlaboratorium opzette. Zijn onderzoekinteresses variëren van de stroming van vaste stoffen en mechanisch schadegedrag van korst- en mantelgesteenten (van gesteentezout en carbonaten tot olivijn) tot het frictie- en herstelgedrag van breuken, natuurlijke en geïnduceerde aardbevingsnucleatie, het compactiegedrag van zand en zandsteen, tot de effecten van CO₂ op het mechanische gedrag van reservoirgesteenten, afdichtende lagen, kolenlagen en aardgas houdend schaliegesteente - in de context van zowel geologische opslag van CO₂ als betere productiemethoden voor koolwaterstoffen.

5.2 Externe kwaliteitsborging

5.2.1 Scientific Advisory Committee (SAC) Groningen

Het ministerie van Economische Zaken heeft een Scientific Advisory Committee (SAC) (voorheen Klankbordcommissie) opgezet. Het Scientific Advisory Committee (SAC) Groningen bewaakt en toetst de onderzoeken die worden uitgevoerd door NAM of haar opdrachtnemers in het kader van de ontwikkeling van het Groningen Winningsplan (FDP) 2016. De rol van het SAC is de kwaliteit, volledigheid en onpartijdigheid van deze onderzoeken te borgen.

Het Scientific Advisory Committee (SAC) Groningen bestaat uit werkgroepen voor verschillende vakgebieden en staat onder leiding van een stuurcommissie. De SAC werkgroepen zijn opgericht voor diepe ondergrond/geomechanica, seismologisch model, grondbewegingsvoorspelling, seismische dreiging en fragiliteit/risico. De SAC zal worden ingeschakeld om de externe toetsing van

onderzoeksactiviteiten te verzorgen. Deskundigen van SodM, KNMI, TNO-AGE en andere kennisinstituten zullen worden uitgenodigd om deel te nemen aan de SAC als waarnemers.

5.2.2 Monitoringcommissie van de dialoogtafel

Om de communicatie en afstemming met de lokale bevolking in Groningen te verbeteren is er een dialoogtafel opgericht. De dialoogtafel heeft een monitoringcommissie in het leven geroepen om ervoor te zorgen dat zij wordt geïnformeerd over de voortgang bij seismische monitoring. Momenteel bestaat de commissie uit vier leden:

- Margot Philippart van de gemeente Groningen,
- Alrita Borst van Veiligheidsregio Groningen,
- Joop Kruize van de Vereniging Groninger Bodem Beweging (GBB) en
- Derwin Schorren, eveneens van de Vereniging Groninger Bodem Beweging (GBB).

NAM zal de monitoringcommissie op de hoogte houden van de voortgang bij het inrichten van de monitoringprojecten en de resultaten van deze projecten. Tegelijkertijd zal NAM van de commissie inzicht krijgen in de behoefte aan informatie hierover in de regio.

De eerste bijeenkomst is op 9 juli gehouden en de volgende vergadering staat gepland voor 23 oktober 2014. Deze bijeenkomsten werden ook bijgewoond door vertegenwoordigers van SodM, KNMI en TNO-AGE.

5.3 Aanvullende onderzoeken

5.3.1 Onderzoeken in de scopingfase

Er zijn enkele onderzoeken buiten NAM, maar wel met ondersteuning van NAM, verricht. Deze onderzoeken vullen het data acquisitie- en studieprogramma aan dat door NAM wordt uitgevoerd.

Onderzoeksprogramma MIT (Massachusetts Institute of Technology)

MIT heeft twee onderzoeksvoorstellen ingediend, die door NAM worden ondersteund:

- Project 1: Seismische analyse van historische gegevens van het Groningenveld (Mike Fehler)
- Project 2: Geomechanisch en geodetisch onderzoek naar seismische versus aseismische deformatie in Groningen
 - Geodetische analyse (Tom Herring)
 - Geomechanische analyse (Brad Hager)

NISP – National Induced Seismicity Program

De wetenschappelijke partners KNMI, RUG, TNO, TUD en UU hebben een vijfjarig National Induced Seismicity Program (NISP) voorgesteld. Dit om de fundamentele basis te leggen die nodig is voor verbeterde dreigingsinschattingen van geïnduceerde seismiciteit en om strategieën te ontwikkelen voor risicobeperking op basis van ondergrondse technologie.

NISP bestaat uit 6 werkpakketten:

- WP1 - programmabeheer
- WP2 - inzicht in fysica
- WP3 - beeldvorming en modelparameterisering
- WP4 - monitoring en dreigingsinschatting
- WP5 - beperkingsopties en
- WP6 - verspreiding

Onderzoeksprogramma NORSAR

Het Norsar-Gassnova-project “analyseert de mogelijkheden van geïnduceerde seismiciteitsmonitoring voor CO₂-opslag”. NAM draagt de data bij van de diepe geofoonputten. De deelname van NAM betreft de activiteiten voor geïnduceerde seismiciteit van het onderzoeksprogramma en is niet gekoppeld aan CO₂-opslag.

De onderzoeken die door NAM worden onderbouwd met data zijn:

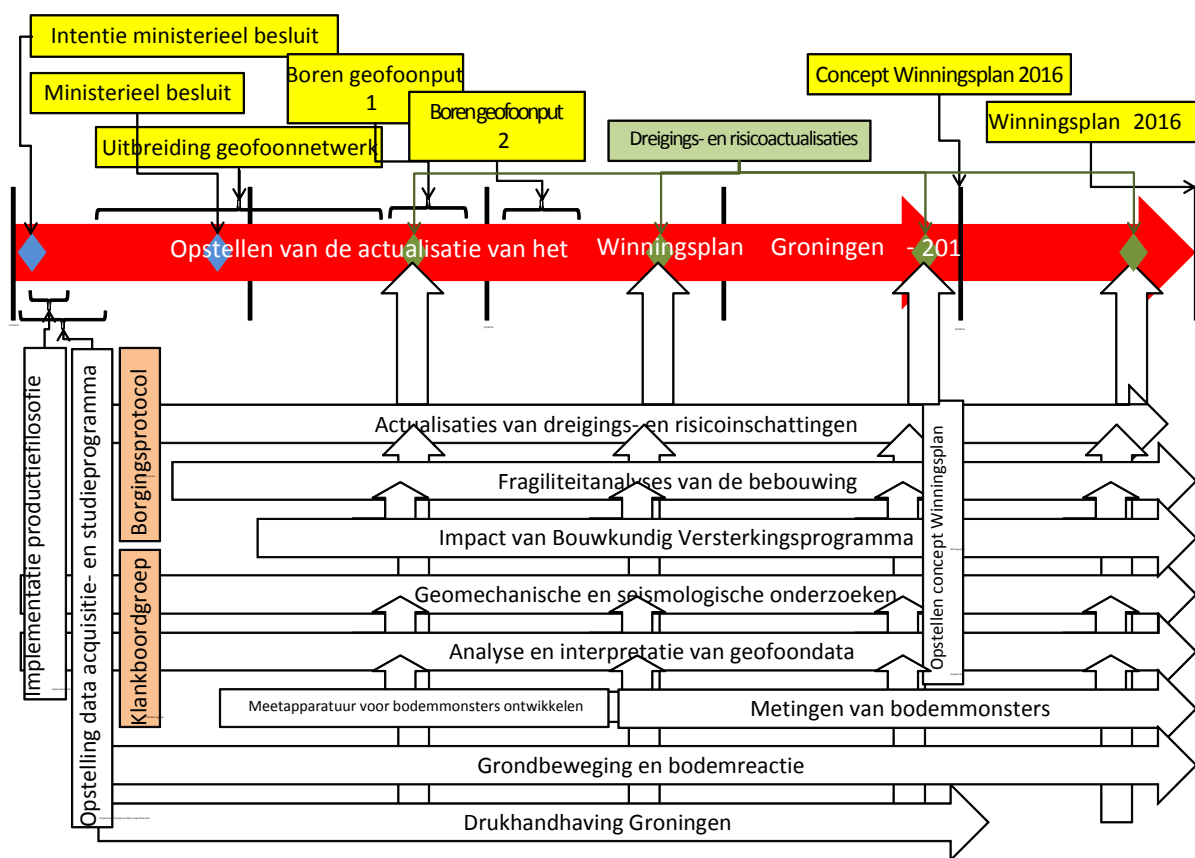
- WP1: Verbeterde detectie en plaatsbepaling van seismische gebeurtenissen in complexe 3D snelheidsmodellen
- WP2: Karakteristieken en interpretatie van seismische gebeurtenissen
- WP3: Seismisch netwerkontwerp

Het NORSAR-project wordt gefinancierd door de Noorse overheid en partners uit de sector. NAM levert data van de diepe geofonputten aan als bijdrage in natura aan het programma.

6 Planning

De actualisatie van het Winningsplan voor Groningen moet voor 1 juli 2016 worden ingediend. Dit bepaalt de tijdlijn voor de onderzoeksactiviteiten. Om voldoende tijd in te ruimen voor de participatie van belanghebbenden, zal op 1 januari 2016 een concept actualisatie van het Winningsplan zijn opgesteld.

Hieronder is een planning op hoog niveau weergegeven.



Figuur 6.1 Planning op hoog niveau voor het data acquisitie- en studieprogramma ten behoeve van een dreigings- en risicoinschatting voor de actualisatie van het Winningsplan 2016.

De planning op hoog niveau geeft ook de belangrijkste informatie en onderzoeksresultaten van de dreigings- en risicoinschatting aan. Met name de metingen van bodemmonsters zullen van invloed zijn op het geomechanische werkplan, net als de analyse van de geofoongegevens. Belangrijk is de actualisatie van de fragiliteit van de bebouwing met de impact van het bouwkundig versterkingsprogramma. Uiteindelijk dragen alle onderzoeken bij aan de tweejaarlijkse actualisaties van de dreigings- en risicoinschatting.