

**Samenvattingen**  
**Aardbevingen Groningenveld**

Concept

Februari 2014

## Inhoud

<b>1</b>	<b>Samenvatting Brief EZ 5 februari 2014</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Samenvatting Brief EZ 17 januari</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Samenvatting SodM, Advies Winningsplan 2013/Meet en monitoringsplan NAM</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Toetsing bodemdalingsprognose en hazard TNO</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>Modelberekeningen uit het NAM-winningsplan</b>	<b>12</b>
<b>6</b>	<b>PGV en PGA values KNMI</b>	<b>17</b>
<b>7</b>	<b>Technical addendum bij winningsplan 2013</b>	<b>17</b>
<b>8</b>	<b>Review subsurface modelling</b>	<b>17</b>
<b>9</b>	<b>Models</b>	<b>17</b>

## 1 Samenvatting Brief EZ 5 februari 2014

### *Gebied rondom Loppersum*

Toename compactie bij huidige productiestrategie 3 cm tot een totaal van 42 cm, bij 80% reductie 1,8 cm en bij 100% reductie 1,5 cm. Over drie jaar. Maar niet duidelijk over welk gebied. Met 80% reductie leidt dit tot maximaal 20% reductie in PGA.

Verdere detaillering valt binnen de onzekerheidsmarge.

### *Zuidelijk gebied*

Toename compactie bij huidige productiestrategie 1 cm tot een totaal van 21 cm. Bij nieuwe productiestrategie 1,4 cm. Verhoudingsgewijs een zeer gering effect op het PGA.

Conclusie Kamp: Berekeningen met onzekerheden en foutmarges. Algemeen wel te stellen dat alternatieve productiescenario's hebben weinig effect op de compactie en op daarmee op het aardbevingsrisico.

Vragen: hoe groot is het zuidelijk gebied? Wat is belangrijk in compactie: De totale hoeveelheid of de snelheid van compactie (zie tabel Klaas). En wat betreft de energie die vrijkomt is het oppervlakte ook van belang. Veel compactie op een klein gebied of weinig compactie op een groot gebied genereert dezelfde hoeveelheid energie. Als die opgeslagen wordt in een breukvlak dan is het effect toch hetzelfde.?

2014	54 jr	onaangep	aangepast		toename
max compactie	gem/jr	winplan	winplan		procent
loppersum		cm/jr komende 3 jr	komende 3 jr	per jaar	
39	1,384615	1	1,8	0,6	
max comp					
zuidwest					
20	0,37037	0,33	1,4	0,466667	41,41414

Per 5 miljard m<sup>3</sup>/jaar minder op totaal te produceren geeft in zuidelijk gebied 0,25 cm minder compactie tov aangepast winningsplan.

## 2 Samenvatting Brief EZ 17 januari

Grootste onzekerheid over welk deel van de spanning zich ontladst als aardbeving. Met name na vijf jaar. Nu voldoende duidelijkheid: komende drie jaar rekening houden met 4,1 en versnelling van 0,12g. 10% kans dat dat beiden groter wordt. Geen grote risico's

vitale infra, wel een aantal dijken niet op orde. Sommige huizen gevaar op grote schade. Versterking nodig in het gebied.

- Bij wijziging productiestrategie weinig verschillen in aardbevingsdreiging binnen drie jaar (vertraagde reactie ondergrond). Daarna grote onzekerheden.
- Als GV swingveld blijft dan is 40 bcm min, anders 30 bcm.
- Nulscenario leidt tot afname van seismische dreiging met 38%.
- Per 17 januari 2014 overgaan op reductie produceren clusters rondom Loppersum (jan 1 miljard en rest van jaar 2 miljard m3)
- Tno komt met resultaten doorrekening compactie tgv 80% Loppersumreductie vooraf aan kamerdebat (100% reductie levert 31% minder compactie i.e. compactie is de drijvende kracht achter de aardbevingen).
- TNO komt met resultaten doorrekening compactie voor 6 scenario's D66: totale winning 40, 35 of 30 miljard m3 voor 0% productie Loppersum en 20% productie Loppersum. Gereed vooraf overleg met de Kamer.
- Nam gaat nu na wat het voorgenomen besluit tav productie in de jaren 2014, 2015 en 2016 betekent en wat de consequenties van de beperking bij Loppersum zijn ten aanzien de andere clusters.
- Periode 2014-2015-2016 gebruiken voor verder seismisch en geomechanische onderzoeken (en onderzoek naar de rol en gedrag noordelijke aquifers).
- Nieuw winningsplan juli 2016/besluit 1 jan 2017: onzekerheden mbt aantal en sterkte bevingen en daarbij behorende risico op lange termijn te reduceren.
- EZ laat door brede groep deskundigen een visie ontwikkelen over het bepalen van aardbevingsrisico's en de weging daarvan.
- Gasunie transport services bereidt investeringsvoorstel voor uitbreiding conversie-installaties op korte termijn tbv ministerie EZ (vergunningverlening en bouw rond 2020 gereed).
- Monitoren komende drie jaar schadeafhandelingsproces en proces mbt versterken gebouwen door Tccb
- Afspraak EZ met Provincie en gemeenten (ikv dialoogtafel) tot vorming van een professionele uitvoeringsorganisatie voor schade afhandeling. 30 jan 2014 advies van Wallage en **5.1.2e**
- Verlenging benoeming de heer mr Leendert Klaassen met 1 jaar als onafhankelijk raadsman (mbt schadeafhandelingsproces ).
- Instellen van onafhankelijke instantie mbt schadeherstel, in tussentijd zijn drie deskundigen aangesteld om met burgemeester en onafhankelijk Raadsman schrijnende gevallen te bekijken en beoordelen.
- EZ in overleg met onafhankelijk Raadsman over bekendheid en bereikbaarheid.
- Nam stelt fonds in voor 'speciale situaties' (schrijnende gevallen) met plafond 15 miljoen euro.
- Nam stelt waardedalingregeling in en maakt deze uiterlijk 1 april 2014 bekend. Alleen geldig bij moment van verkoop en voor particuliere woningverkoop. Gaat in vanaf 25 januari 2012 (rapport SodM).
- Nam voert komende vijf jaar preventief bouwkundig versterkingsprogramma uit.
- EZ is in gesprek met NAM over de inzet van een professionele externe organisatie irt versterkingsprogramma.

- Er wordt een Economic board ingesteld om het economisch perspectief van de regio te vergroten via invalshoek stimuleringsprogramma. Bestaat uit een aantal ondernemers.
- EZ werkt samen met de NAM door aan het herstel van vertrouwen in de regio.
- EZ zorgt dat de Eurocode 8, die in aardbevingsgevoelige gebieden kan worden toegepast, naar Nederlandse normen wordt omgezet.
- EZ is in overleg met de beheerders van de infrastructuur over de wijze waarop de aanbevelingen van Deltares zo snel en goed mogelijk uitgevoerd kunnen worden. Inzet om binnen drie jaar uit te voeren.

### 3 Technical addendum

Seismic hazard: potential impact on the built environment. Parameter most used is PGA. PGA's are related to variables like the magnitude, distance between the earthquake and the site of recording. Relationships are called Ground Motion Prediction Equations (GMPE's)

Grootste onzekerheid voor de berekende hazard is de grote onzekerheid is het koppelcoefficient tussen het seismisch moment en de volumespanning als gevolg van compactie.

Ook de keuze van het model die gasdruk omrekenet naar compactie geven grote onzekerheden voor de toekomst.

Gevoeligheidstest laten tevens zien dat de keuze van GMPE en toekomstige ontrekkingen dat er grote verschillen zijn in seismische dreiging. Het blijkt lastig om het effect van geïnduceerde aardbevingen te kunnen voorspellen itt tectonsiche aardbevingen.

De nam is bezig met een model waarin de breuken beter zijn opgenomen.

Echter alle modellen hebben last van het feit dan niet voldoende betrouwbare input beschikbaar is over geïnduceerde aardbevingen. Meer veldgegevens zijn nodig. Ook daar is de Nam mee bezig.

Hierdoor beter kunnen sturen op dreiging. En met meer betrouwbare modelleringen kunnen laten zien de maximal magnitude.

## 4 Samenvatting SodM, Advies Winningsplan

### 2013/Meet en monitoringsplan NAM

Alle vereiste onderwerpen komen in het Winningsplan aan de orde, bij de kwaliteit van verschillende onderdelen plaatst SodM opmerkingen.

Gasvraag (en daarmee het plafond) wordt in een ministerieel besluit (om de 5 jaar) vastgelegd met Gasterra. Vaststelling van het plafond behoort onderdeel van winningsplan, is nu niet zo. Wordt dit gasbesluit nu aangepast aan de hand van de toezeggingen van Kamp?

#### **Bodemdaling**

De Nam heeft verschillende modellen doorgerekend en verschillende productiescenario's. De modellen geven meer verschillen in de uitkomsten dan de scenario's. Onder deskundigen is nog geen consensus over het fysische compactiemodel.

Door de verschillende modellen te vergelijken met de tot nu toe geconstateerde bodemdaling. TNO constateert dat de NAM de porositeit niet gedetailleerd genoeg heeft gemodelleerd, mogelijk een verkeerde ligging van het centrum van de kom is gehanteerd en dat een verkeerde aanname over de waterinstroming in het NW is gehanteerd (of vertraagd depleteren onder gas-water contact).

#### **Seismisch risico**

Nam heeft alleen een hazard analyse (berekening grondversnellingen i.e. potentiële gevaar) en niet een risico-analyse (brengt ook de gevolgen in kaart) in het winningsplan opgenomen. Wel is Arup rapport bijgevoegd. Nam concludeert vervolgens dat zij het veiligheidsrisico als acceptabel beoordeelt. Het is niet duidelijk waar de NAM dit oordeel op baseert. Later in toevoeging doet NAM dat wel volgens de in de Olie en Gaswinning gehanteerde systematiek. Maar de berekeningen zijn niet transparant en het blijft onduidelijk hoe de ALARP genormeerd is/ zou moeten zijn. **Eindconclusie TBB:** gezien de grote onzekerheden die er wel zowel ten aanzien van de seismische hazard (de input voor onderzoeken 1 en 2) als voor de bovengrondse effecten van bevingen voorlopig zullen blijven bestaan is het voor het afwegen van alle risico's en belangen essentieel te weten hoe groot de risico's zijn- ook in vergelijking met bijv. overstromingsrisico's – en of er gelet op de risico's voldoende tijd is om die onzekerheden te reduceren.

Het Sodm concludeert dat door de risico-benadering van de NAM de werkelijke risico's aanzienlijk onderschat worden en dat hun risicobenadering inadequaat is. Het SodM heeft derhalve zelf een risicobeoordeling uitgevoerd. (is ook een apart stuk). Sodm onderschrijft de aanbeveling van de TBB dat NAM op zo kort mogelijke termijn een volledig probabilistische seismisch risicoanalyse uitvoert.

### **Invloed gasproductie op de seismische activiteit.**

De seismische hazard (dreiging) voor de bewoners is van groter belang dan de maximale sterkte van de beving.

TNO: het door NAM gekozen porositeitsmodel (van grote invloed op de bodemdaling en seismiciteit) geeft geen correct beeld van de porositeitsverdeling in het reservoirgesteente.

TNO heeft 0% Loppersum scenario doorgerekend waarbij zij aantoont dat de kans op grotere aardbevingen terugloopt.

Door de model en parameterkeuze van de NAM hebben veranderingen in de productiesnelheid hebben pas op langere termijn (5 tot 7 jaar) effect op de compactie. TNO laat zien dat er wel degelijk op kortere termijn een positief tijdelijke effect is te verwachten van gewijzigde productiestrategie.

Bij de vergelijking tussen de gebruikte compactiemodellen van TNO en NAM ontstaan grote verschillen in compactie en de ruimtelijke verdeling daarvan.

#### *Effect productiescenario's op het seismic hazard*

TNO: de hazard wordt bepaald door de hogere magnitudes die immers in het gehele veld kunnen voorkomen. Hierdoor wordt het cumulatieve hazard voor een groot aantal aardbevingescatalogi geldig voor vrijwel het gehele Groningen veld zonder voldoende differentiatie naar compactie.

Ook is te zien in de plaatjes van de modelberekeningen (pag 21) dat bij de huidige productiestrategie een zone van Hoogezand naar Harkstede een gebied is met een relatief hoge compactie!!!

#### *Effect productiesnelheid*

Onduidelijk is wat het effect is van de productiesnelheid op de seismiciteit. Sodm beoordeelt de door de NAM uitgevoerde analyse als niet valide.

### **Borgingsprotocol**

Nam onderzoekt het instellen van een begeleidingscie monitoring seismisch risico Groningen.

Sodm: beheersing is het voorkomen of beperken van bodembeweging. In die zin overtuigt het borgingsprotocol van de NAM niet. (inmiddels is het advies van 80% reductie dat natuurlijk wel) Maar daarnaast worden ook geen acceptabele grenzen aangegeven en ontbreekt een goede beschrijving hoe het seismisch risico bepaald wordt.

In het Meet en monitoringsplan wordt het veld als 1 geheel benaderd terwijl het Sodm duidelijk verschil ziet tussen seismisch kritische en minder actieve gebieden. Zij stelt

daarom voor om het veld in negen structurele regio's in combinatie met de indeling van het KNMI op basis van monitoringsresultaten.  
(In het KNMI rapport worden vier gebieden onderscheiden)

## 5 Toetsing bodemdalingsprognose en hazard TNO

Ad.1

Statisch model

Voor de huidige toepassing is het porositeitsmodel van NAM niet adequaat. Het inzicht in de onzekerheidsmarge ontbreekt. Het model is niet gebaseerd op specifieke metingen (akoestische impedantie en faciesmodellen).

TNO constateert enkele fenomenen in het model die nu niet goed worden verklaard in termen van geologie en/of modellering.

Er zit discrepantie in gemeten en berekende bodemdaling binnen gebieden in het westen (Bedum) en centrale deel (Delfzijl) van het Groningenveld.

Alle bekende en door seismiek zichtbare breuken zouden meegenomen moeten worden in het porositeitsmodel. Tevens moet de onzekerheidsbandbreedte meegenomen worden.

Vanuit de berekende bodemdaling kan ook een bijbehorende porositeit berekend worden (inverse porositeit). Berekende en geobserveerde bodemdaling kunnen hiermee dichter bij elkaar gebracht worden en discrepanties verklaard.

Dynamisch model

Een aantal omringende aquifers en gasvelden zijn inactief gemaakt in het model. Dit klopt niet met het onderzoek van de gemeente Groningen naar haalbaarheid geothermie. Hier is in de aquifer een grote drukverlaging geconstateerd.

De aquifers in het noorden zijn veel sterker gemaakt om de bodemdaling in het noorden te fitten. De gebruikte waarden zijn geologisch onmogelijk.

De belangrijkste onzekerheid in het dynamische model vormen de aquifers. Een sterke aquifer veroorzaakt een minder grote drukdaling in het model. Dit kan tot een onderschatting van de compactie leiden. De minder grote drukdaling verspreidt zich in de loop der jaren over het gebied in het model.

De waterinjectie rond Borgweer is niet meegenomen in het model.

Modelberekeningen geven aan dat het alleen mogelijk is de drukdaling in het Loppersum gebied te beperken tot 5 bar of lager, met het 30 BCM scenario in combinatie met het verplaatsen van de productie naar het zuidelijk deel van het veld. (Bij 30 BCM, 5 Loppersumclusters op 0 is de drukdaling na vier jaar al meer dan 4 bar.) De productie verplaatsen naar het zuidelijk deel is veel effectiever als de maximum jaarlijkse productie 30 BCM is.

Bodemdalingsmetingen

NAM heeft de primaire waterpassingen van 1978 en 1981 niet meegenomen.

Bij compactiemodellering moeten alleen bodemdalingsmetingen gebruikt worden van de stabiele peilmerken (99% betrouwbaarheid).

Compactiemodellering

Er zijn verschillende modellen:

- Bilineair compactiemodel voor het reservoirgesteente (NAM, 2010);
- Time-Decay model (NAM, 2011);
- Rate Type Compaction Model (De Waal, 1986);
- Gelineariseerd isotachenmodel;

- Aangepast Rate Type Compaction Model gebaseerd op isotachenconcept (TNO-AGE, 2013).

Het Time-Decay model beschrijft een vertraging in de compactie ten gevolge van drukdiffusie in het reservoirgesteente. Het Rate Type Compaction Model beschrijft een verandering van de belastingsnelheid van de geologische snelheid naar de belastingsnelheid door de drukdepletie. Isotachen zijn lijnen van constante belastingsnelheid in het spanning-rek diagram. Het isotachenconcept verenigt het compactiegedrag bij veranderingen in belastingsnelheid met het compactiegedrag bij constant blijvende belasting (kruip).

Op pag. 73 staan de modules van het modelinstrumentarium beschreven. Uit een vergelijking van de modellen kwam dat het aangepast Rate Type Compactie Model de gemeten bodemdaling het beste beschrijft. Met dit model zijn de prognoses voor de bodemdaling in 2025 en 2050 gemaakt. Het model (en ook het gelineariseerde isotachenmodel) reageert instantaan op een verandering in productiesnelheid doordat beide modellen een elastische component hebben.

De maximum nog te verwachten bodemdaling vanaf 2013 tot 2080 is 17 cm. De maximum bodemdaling is 39,2 cm in 2025, 45,3 cm in 2050 en 46,7 cm in 2080.

Het verschil tussen de gemeten en berekende bodemdaling is het meest uitgesproken in het gebied rond Delfzijl, waar een te hoge bodemdaling berekend wordt. Een porositeitsreductie van 15% in het model lost dit probleem op. Geologisch is dit echter onwaarschijnlijk. Het verschil wordt waarschijnlijk veroorzaakt door breuken met een grote offset op korte afstand van elkaar.

Voor alle productiescenario's (0, 10, 20, 30, 40 BCM) lijkt de compactie op elkaar tussen 2013 en 2023 als het berekend wordt met het RTCM model. Het 30bcmA4-scenario geeft tot 31% minder compactie in het centrum van de kom in de periode 2013-2023.

De compactie dient als invoer voor de seismic hazard analyse. NAM stelt de seismische hazard alleen afhankelijk van de compactie in het reservoir.

#### Geomechanische modellering (seismische hazard)

In deze modellering wordt het maximale oppervlak per breuksegment berekend. Met dit oppervlak wordt het seismisch moment en de momentmagnitude berekend. Er wordt vanuit gegaan dat de verschillende breuksegmenten afzonderlijk gereactiveerd kunnen worden.

Er is een duidelijke toename in de magnitudes van de bevingen met toenemende depletie van het reservoir. Het gebied waar aardbevingen geregistreerd worden, groeit mee met het gebied met de meeste compactie.

Op dit moment is er weinig inzicht hoe compactie in een reservoir zich vertaalt naar spanningsveranderingen en seismische en a-seismische verplaatsingen op de breuken. Het hangt sterk af van de geometrie van het reservoir en het omliggende gesteente en de geometrie van de breuken. Daarnaast zijn de geomechanische eigenschappen van het reservoir van belang. Het gebied rond Loppersum wordt gekenmerkt door een relatief hoge breukdichtheid, aanwezigheid van veel NNW-ZZO georiënteerde breuken en een breukverzet variërend van nauwelijks tot enkele honderden meters.

Zowel de differentiële compactie over een breuk als de differentiële compactie binnen reservoircompartimenten aan weerszijden van de breuk leidt tot breukreactivatie en slip.

In 2D-geomechanische modellen wordt de partiticoëfficiënt gebruikt. De partiticoëfficiënt wordt afgeleid op basis van geobserveerde seismiciteit en (gemodelleerde) cumulatieve compactie. De extrapolatie van de partiticoëfficiënt naar grotere compactie is echter onzeker. Op dit moment is er nog geen basis om deze onzekerheden te reduceren.

Er moet meer inzicht komen in de interactie tussen depletie, elastische en plastische compactie van het reservoir en spanningsveranderingen op de breuk.

Seismische hazard analyse

De partiticoëfficiënt vertaalt reservoirmoment naar seismisch moment en is dus in sterke mate bepalend voor de seismische hazard. Op basis van de huidige porositeit en compactiemodel wordt de partiticoëfficiënt overschat.

De seismische hazard analyse is gebaseerd op Monte-Carloberekeningen.

De seismische hazard analyse van de NAM gaat uit van elastische compactie van het reservoirgesteente. Er wordt geen rekening gehouden met permanente plastische deformatie van het gesteente. De aanname dat het gehele reservoirmoment in één keer vrij kan komen als seismisch moment op een breuk lijkt erg overdreven. Er wordt geen rekening gehouden met het feit dat ook schuifspanningen buiten het reservoir gemobiliseerd kunnen worden tijdens een beving.

Als het totale reservoirmoment in één beving vrij zou komen in de vorm van seismische energie (wat zeer onwaarschijnlijk is) dan is de maximale magnitude 6,0 op de schaal van Richter. De kans hierop is echter verwaarloosbaar. Als een constante waarde voor de partiticoëfficiënt gebruikt wordt (i.p.v. een stijging van deze coëfficiënt) dan zou de maximale magnitude 4,0 zijn.

Het reservoirmoment dat nog niet is vrijgekomen in eerdere jaren wordt maar beperkt meegenomen. Hierdoor zijn hogere magnitudes niet uit te sluiten.

Op basis van de seismische hazard moet het seismisch risico berekend worden door de hazard te vermenigvuldigen met de effecten. In het algemeen zal het seismisch risico hoger zijn in meer stedelijke gebieden.

Het is aannemelijk dat scenario 30 bcm A4 leidt tot een lagere seismische hazard vanwege de directe relatie met compactie.

Conclusies

Zie pag. 154 - 158

Brief Kamp 5 feb, op basis van aanvullend TNO-rapport

Maximale compactie ten gevolge van productie winningsplan NAM: 42 cm

Maximale compactie bij een vermindering van de productie met 80%: 40,8 cm

Maximale compactie bij een vermindering van de productie met 100%: 40,5 cm

Een vermindering van de productie rond Loppersum met 80% kan leiden tot maximaal 20% lagere grondversnelling (PGA). Het volledig stopzetten zou een iets groter effect op de PGA hebben.

Door de grotere productie uit het zuidelijk deel wordt verwacht dat de extra compactie in de komende drie jaar hier niet 1 cm maar 1,4 cm bedraagt. De totale compactie is hier nu 20 cm.

In het zuidelijk deel zijn de verwachte grondversnellingen substantieel lager dan in het Loppersungebied. Dit is een rechtstreeks gevolg van de tot nu toe gerealiseerde compactie.

Als de totale productie verlaagd zou worden naar 30 BCM levert dit trouwens 0,7 cm minder compactie t.o.v. de verwachte 1,4 cm.

## 6 Modelberekeningen uit het NAM-winningsplan

Ten behoeve van het voorspellen van bodemdaling tgv aardgaswinning

5.1.2e

Februari 2014

Het winningsplan behandelt 3 compactiemodellen, waarvan 1 model met 2 verschillende waarden voor de compactiecoëfficiënt :

1. Time-decay model
2. Bi-lineair model
3. Isotachenmodel met compactiecoëfficiënt op basis van laboratoriummetingen
4. Isotachenmodel met compactiecoëfficiënt op basis van time-decay model

Voor alle modellen geldt:

Diepte veld (m)	2800
Dikte reservoir (m)	Bereik: 110 m (zuidoostelijk deel) tot 300m in noordwestelijk deel (watervoerend)
Initiële gasdruk (bar)	347
Gasdruk in 2013 (bar)	105
Gasdruk in 2080 (bar)	11
Gemiddelde $C_m$ ( $10^{-5}$ bar <sup>-1</sup> )	0,6

Tabel C1.  
Enkele kentallen ter indicatie van het in dit winningsplan beschreven Groningen veld

Uitkomsten zijn op basis van gelijkblijvende productievolumes. Bij nieuwe putten/additionele compressie is een andere uitkomst mogelijk. *NB: advies Kamp is om productie bij Loppersum te verminderen en elders te verhogen. Geeft dit andere uitkomsten van de modelberekeningen? Is de totale vermindering van productievolumes in 2014 t/m 2016 meegenomen in deze scenario's?*

### 1. Time-decay model:

Model op basis van diffusie mechanisme in reservoir. De resultaten van bodemdalingsmetingen op Ameland en in de Waddenzee laten zien dat de bodemdaling in de beginfase van de productie een zekere vertraging heeft ten opzichte van de drukdaling in het veld. Dit effect speelt ook een rol aan het einde van de productie: de bodemdaling stopt niet direct bij beëindiging van de productie. Een mogelijke verklaring voor deze observatie is dat er een diffusieproces optreedt in het reservoir. Dit wordt ook waargenomen in de bodemdalingsmetingen boven Groningen.

Het exacte fysische proces (of combinatie van processen) dat de waargenomen tijdsafhankelijke

daling veroorzaakt is onbekend. Er zijn echter een aantal mogelijke hypothesen:

- De waarnemingen zijn een artefact dat veroorzaakt wordt door de mogelijk slecht gemodelleerde ruis in de bodemdalingsdata,

- Het vaste korrelskelet van het reservoirgesteente compacteert op een (lange termijn) tijdsafhankelijke manier
- De huidige reservoirmodellen ondervangen niet voldoende de mogelijke drukveranderingen in de onderliggende watervoerende pakketten
- Het gekoppeld poromechanisch gedrag in een materiaal met 'long-tail' distributie van de permeabiliteit.

Al deze mogelijkheden afzonderlijk kunnen het waargenomen anomale gedrag verklaren, waarbij het ook mogelijk is dat combinaties van hypothesen voorkomen.

In eerdere compactiemodelleringen werd een lineair compactiemodel gebruikt. Dit model past goed met de bodemdaling in de beginfase van de productie, maar minder goed met de langer doorgaande bodemdaling aan het einde van de productie. Door toepassing van het diffusiemechanisme past het model voor gasvelden als Ameland en Anjum beter met de metingen voor zowel de beginfase als de eindfase. De diffusie komt uiteindelijk tot uitdrukking in de volumerek van het reservoirgesteente, die vervolgens de bodemdaling veroorzaakt.

De volumerek,  $e_{ii}$ , op een punt,  $x$ , en tijdstip,  $t$ , in het reservoir kan dan worden beschreven door het product van de drukverandering,  $\Delta p$ , en de uniaxiale compactiecoëfficiënt,  $c_m$ , geconvolveerd in tijd,  $*_t$ , met een "time decay" functie:  $\frac{1}{\tau} \exp\left[-\frac{t}{\tau}\right]$  met  $t$  in jaren en  $\tau$  de "time decay" constante.

$$e_{ii}(x, t) = \Delta p(x, t) c_m(x) *_t \frac{1}{\tau} \exp\left[-\frac{t}{\tau}\right]$$

## 2. Bilineair compactiemodel

Laboratoriummetingen van compactie van Rotliegend-gesteente tonen een lineaire relatie tussen poriëndruk en spanning (strain) voor omstandigheden gelijk aan de gasvelden in Nederland. Dit leidt tot een lineaire relatie tussen drukverlaging (depletion) en bodemdaling, er van uitgaande dat de omliggende formaties zich gedragen op een lineaire elastische manier.

Op een bepaald punt (benchmark) ontstaat een knik in het model (bodemdaling versus reservoirdruk). Het model toont 2 rechte lijnen. Deze bi-lineariteit is ook gevonden in andere velden, zoals Ameland en Roswinkel.

Compactiecoëfficiënt is een functie van de porositeit (technical addendum pag 61):

$$C_{mpre} = m_{pre} * \phi + c$$

$$C_{mpost} = m_{post} * \phi + c$$

Dit model was het geaccepteerde compactiemodel tot 2011. Het model voorzag in het meest

eenvoudige antwoord op de versnelde bodemdaling die was waargenomen boven een aantal

Nederlandse gasvelden. Het model bestaat uit twee lineaire compactie 'takken' waarbij een eerste tak met een lagere compressibiliteit bij een bepaalde druk overgaat in een tak met een hogere compressibiliteit. Dit model geeft echter geen verklaring voor de doorgaande bodemdaling die wordt geobserveerd boven het Ameland veld. Deze observatie was de belangrijkste reden om over te gaan op bovenstaande time-decay model.

### 3. Isotachen model

Dit model wordt veel gebruikt binnen de grondmechanica om zettingen te berekenen in slappe grond. TNO heeft de toepasbaarheid van dit model op compactiegedrag van gecementeerde zandsteen verder onderzocht waarbij laboratoriumexperimenten als uitgangspunt zijn genomen. Een aanpassing van het a,b,c-isotachen model heeft geleid tot de definitie van het lineaire isotachen model. Hoewel de lange termijn voorspellende toepasbaarheid van dit model in een werkelijk gecementeerd gas reservoir niet is bewezen, is dit model meegenomen als een mogelijk compactie model.

Voor het lineaire isotachen model zijn twee parametervarianten doorgerekend: één waarbij de  $C_m$  waarden uit laboratoriummetingen aan kernmateriaal als randvoorwaarde zijn gebruikt en een andere waarbij dezelfde porositeit-compressibiliteitsrelatie als bij het time-decay model is aangenomen.

Beide varianten geven een goede passing met de historische bodemdaling.

### 4. Vergelijking van de 4 varianten:

Nog te verwachte additionele bodemdaling 2013-2080:

Time-decay model	ca. 18 cm	
Bi-lineair model	16 cm	
Isotachenmodel met compactiecoëfficiënt van laboratoriummetingen	34 cm	

Isotachenmodel met compactiecoëfficiënt op basis van time-decay model	op basis van grafiek ca. 18 cm.
---	---------------------------------

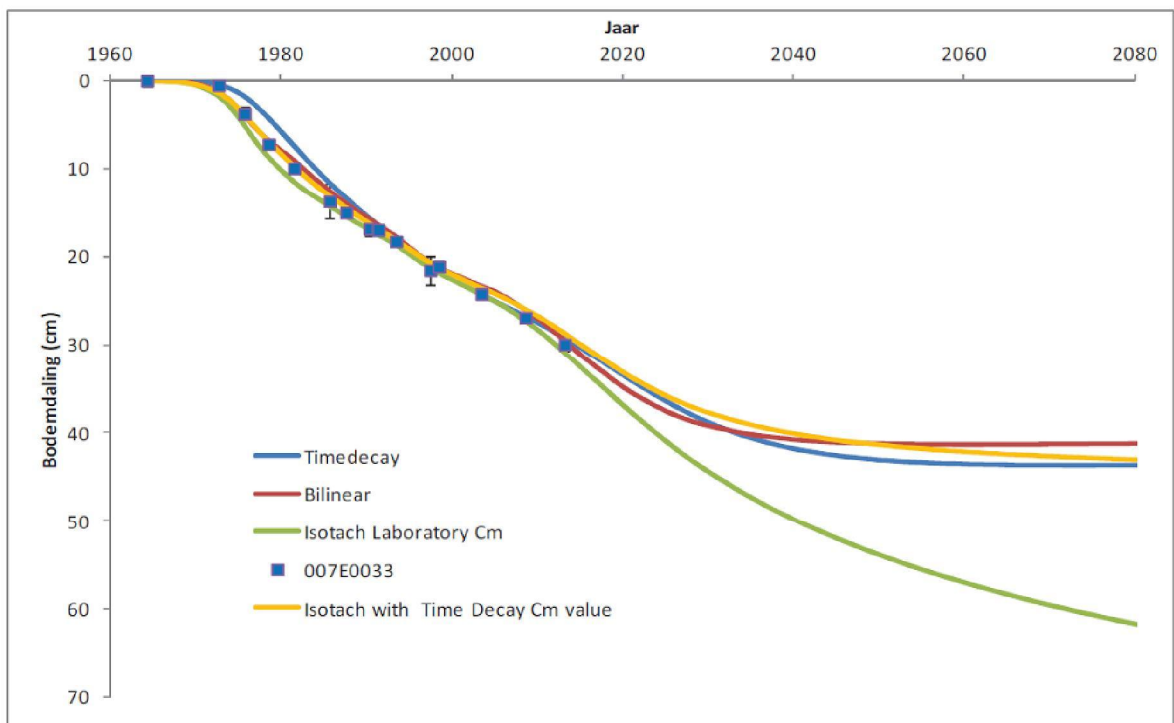
In de eerste 10 jaar is het verschil tussen de 4 varianten, ook in ruimtelijke zin, relatief klein.

*NB: Hier wordt waarschijnlijk de periode 2008-2018 bedoeld, want voor de periode 2013-2023 zie je de groene lijn al weglopen van de anderen.*

Het isotach model met een compactiecoëfficiënt op basis van laboratoriumcondities voorspelt significant meer bodemdaling dan de andere 3 varianten. Het isotach model is gebaseerd op een hogere gesteente compactie coëfficiënt.

*NB: het bi-lineair-model en het isotachenmodel-a zijn beiden gebaseerd op laboratoriummetingen met compactiecoëfficiënten. Waarom dan zulke verschillen? Verder uitzoeken?*

*NBII: Het technical addendum zegt dat alle 3 de compactiemodellen goed passen bij de reeds gemeten bodemdaling na calibratie (pag. 78), dus ook dit model.*



Het time-decay model wordt als meest waarschijnlijk beschouwd van alle modellen, vanwege de goede passing met de metingen in Ameland en Anjum (Winningsplan Ameland 2011, Winningsplan Anjum 2011) en het beperkte aantal (2) vrije parameters. Deze velden zijn verder in hun ontwikkeling en als analoog aangenomen,

onder andere omdat het reservoir uit hetzelfde type zandsteen bestaat als het Groningen reservoir.

*NB: het aantal vrije parameters is beperkt, maar als de invulling van die parameters niet goed is, heeft dit model niet zoveel meerwaarde tov de andere modellen.*

*NBII: Hoe zit het met het Isotach model wv passing met de metingen in Ameland en Anjum? Biliniair compactiemodel past niet goed bij Ameland veld wv doorgaande bodemdaling (zie eerder).*

Op grond van de beschikbare bodemdalingmetingen voor Groningen kunnen andere compactiemodellen echter niet worden uitgesloten. Twee alternatieve compactiemodellen

worden daarom ook beschreven. *Hiermee wordt denk ik bedoeld dat alle modellen in het winningsplan worden behandeld, die reeds gemeten bodemdaling goed voorspellen. Het technical addendum zegt dat alle 3 de compactiemodellen goed passen bij de reeds gemeten bodemdaling na calibratie (pag. 78).*

Onzekerheid van de modelberekeningen:

- De invloed van parametervariëaties binnen de afzonderlijke modellen is niet meegenomen, omdat is aangenomen dat de modelonzekerheid afdoende de onzekerheidsruimte aftast.
- Onzekerheid van de te verwachte totale bodemdaling is gemiddeld ongeveer 45% boven het centrum van het Groningen veld en 20% aan de randen, met een minimum van 2 cm.

---

*NB: ik heb de ruimtelijke variatie niet meegenomen in deze samenvatting. Indien gewenst zet ik dat er nog bij.*

*NB: Actiepunt: leg advies SodM op winningsplan NAM hiernaast (incl. samenvatting review TBO), serieuze kritiek op onzekerheden, porositeitsberekening, etc.*

*NB: het lijkt me dat we overtuigend bewijs moeten hebben waarom de groene variant niet waarschijnlijk is, omdat dit wel een heel slecht scenario is*

## **7 PGV en PGA values KNMI**

## **8 Technnical addendum bij winningsplan 2013**

## **9 Review subsurface modelling**

SGS Horizon heeft het statisch en dynamisch model beoordeeld. Met name op winbaarheid gas en zeker niet op seismiciteit. 29 november 2013

Voor het statisch model is deels standaard software en deels shell software gebruikt.

De aanpak is goed en alle relevante informatie is gebruikt.

Ook het dynamisch model ziet er goed uit maar is niet op detailniveau door SGS beoordeeld. De methodologie wel en die is goed. Aantal opmerkingen: niet alle putten zijn meegenomen en niet allemaal individueel gemodelleerd. Het model brengt de randen van het veld niet goed in beeld en is te optimistisch over de liquid loading phenomena. (Er zal in de toekomst steeds meer water bij het gas komen door condensering en door waterinbraken in het veld.

Daarnaast beoordeling op stikstofinjectie 13 december 2013

Stikstof is beste gas voor injectie hier. Met model FFM kan dit aardig gemodelleerd worden echter te weinig heterogeniteit ingebouwd. Dit leidt volgens SGS tot een te optimistisch beeld over de effectiviteit van stikstofinjectie. (= zwaarder dan aardgas en gaat eronder zitten en duwt het gas dan weer naar de putten).

## **10 Models**

Statisch model beschrijft de distributie van het gas in het veld

Dynamisch model simuleert de beweging van het gas door de productie en daarmee de verlaging van de reservoir druk.

Het dynamische model is gelinkt met oppervlakte netwerk model voor voorspellingen van gasproductie.

Geomechanische model: modeleert het gedrag van het reservoir onder variërende spanningscondities.

Seismologisch model: model dat compactie vertaalt in grondversnellingen.

Seismic hazard: de kans dat een bepaalde waarde van grondversnelling wordt overschreden

Seismisch risico: de kans op door aardbevingen veroorzaakte schade (seismische dreiging maal potentiële effecten)

## 11 Preventieve versterking gebouwen

1. Bepalen risico voor gebouwen
2. Bepalen richtlijnen voor versterking van gebouwen
3. Pva Voor het implementeren van versterkende maatregelen

Ad 1. Inventarisatie van alle 250.000 gebouwen tot 5 km buiten Groningenveld. Uit risicoanalyse blijkt dat er bij zwaardere bevingen gebouwen kunnen instorten.

Ad 2. Drie niveaus van versteviging Level 1. loszittende onderdelen; Level 2; samenhang verbeteren (loszittende bouwk elementen); Level 3 verbeteren bouwk elementen.

Vier Classes gebouwen IV vitale gebouwen; III gebouwen met veel mensen; II woonhuizen en I de agrarische gebouwen.

Input geleverd aan NEN voor NPR

Ad 3. Verstevigingsprogramma begint vanuit hoogste risicogebied en breidt zich daarna uit. Als nieuwe inzichten dan wordt dit bijgesteld. Class IV en III zijn bouwtekeningen opgevraagd door Arup, Class II en I straatinspectie van 1700 gebouwen in Loppersum en daarna prioritering. Class IV en III specifieke bouwkundige analyse en maatwerk afspraken. Class II en I in eerste instantie level 1 maatregelen. Behalve als 'hopeloos' dan direct maatwerk.

Pilot voor level 2 bij Class II met 5 gebouwen. Afronding in 2014.

Bij verstevigingsmaatregelen zullen afspraken met gemeente gemaakt moeten worden om vergunningen te krijgen.

Omdat nog aanbesteed moet worden zijn alle kosten uit rapport gehaald. Die zijn wel bij de NAM bekend.

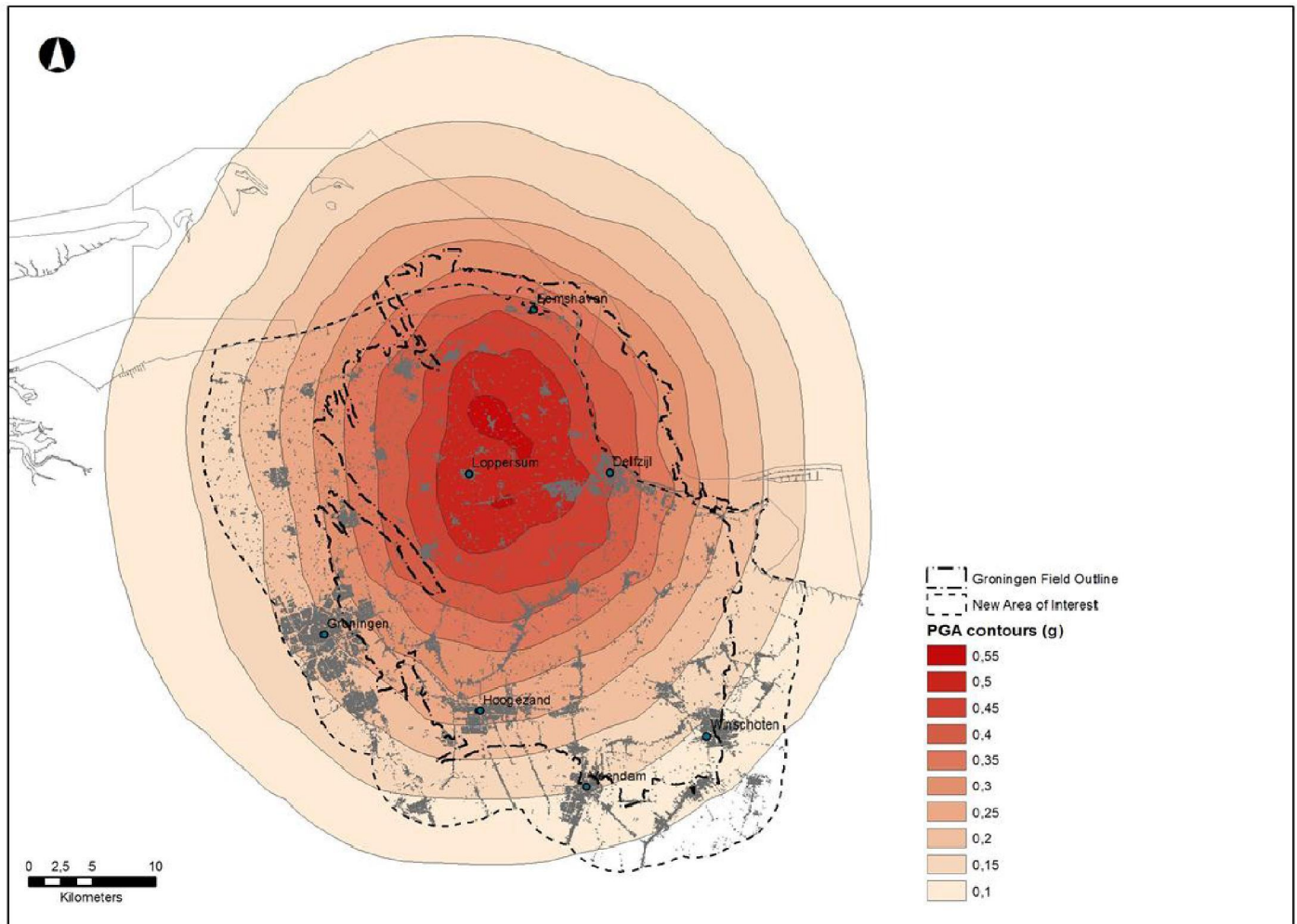
Grens waaronder geen maatregelen nodig zijn is bepaald door Arup met alle onzekerheden. Dit betekent dat mogelijk nog aanpassingen plaats moeten vinden.

### Gebiedsdefinitie

Seismic hazard area defined by PSHA (probabilistic seismic hazard analysis) conducted by shell P&T.

Map PGA with 2% probability of exceedance in the next ten years. (vergelijkbaar met design PGA van Eurocode 8; 10% waarschijnlijkheid van overschrijding in 50 jaar).

Het drempelniveau waarboven verstevigingsmaatregelen nodig zijn ligt tussen een PGA van 0,1g en 0,2g.



#### Uit rapport deltares:

- Bij de voortplanting van de aardbevingsgolven speelt de opbouw van de ondergrond een belangrijke rol. De samenstelling van de toplagen hebben een sterke invloed op de golfeigenschappen op maaiveld.
- bij een sterkere aardbeving (vanaf ongeveer 0,2 g) neemt de kans op verweking volgens de huidige inzichten sterk toe. Voor klei en veenlagen bestaat dit gevaar niet of nauwelijks.
- Als een constructie in zijn eigenfrequentie belast wordt kan resonantie optreden.
- Plaatjes met dikke holocene afzettingen, bovenop pleistoceen meestal veenlaag (basisveen). Onder pleistoceen potklei.
- Sondering in noordoosten van stad genomen (S07D00034) als voorbeeld voor slap ondiep.
- Vs30 is schuifgolfsnelheid; maat voor stijfheid bovenste 30 m) = 184 m/s
- Op basis van spectra onderzoek is een differentiatie voor bodemsoort genomen tussen de 107 m/s en