

Review TBO rapportage onderzoek 6

Technische Begeleidingscommissie Ondergrond (TBO),
Den Haag, Utrecht, de Bilt, 9 december 2013

Joost Haenen	Voorzitter Technische Begeleidingscommissies
Bernard Dost	KNMI
Karin van Thienen-Visser	TNO
Barthold Schroot	EBN
Hans de Waal	SodM

Technische Begeleidingscommissie Ondergrond

1. Inleiding

In deze notitie beschrijft de Technische Begeleidingscommissie Ondergrond (TBO) de resultaten van het reviewproces voor de rapportage van NAM over onderzoek 6, getiteld “Report to the Technical Guidance Committee (TBO) on Production Measures”. Dit rapport bestaat uit twee delen:

- “Report on Production Measures – Part 1: Depletion Scenario’s and Hazard Analysis”, gedateerd oktober 2013¹
- “Report on Production Measures – Part 2: Pressure Maintenance”, gedateerd oktober 2013²

Vraagstelling

Onderzoek 6 maakt onderdeel uit van de 11 onderzoeken die de Minister van Economische Zaken heeft aangekondigd in zijn brief aan de Tweede Kamer van 11 februari 2013. In die brief spreekt de minister over een “onderzoek naar alternatieve winningstechnieken om aantal en maximum bevingen te verkleinen (inclusief effecten van productiebeperking)”.

De bovengenoemde rapportage van NAM beschrijft dit onderzoek maar doet ook verslag van vervolgstudies die betrekking hebben op de vraagstelling van onderzoek 5, bijvoorbeeld ten aanzien van de verwachte compactie en seismische hazard.

Proces

De TBO is sinds mei 2013 periodiek geïnformeerd over de voortgang en de (tussentijdse) resultaten van de studies die in het kader van de onderzoeken 5 en 6 plaatsvonden. Zo zijn er drie grote workshops georganiseerd, waarop deelstudies zijn gepresenteerd en bediscussieerd. Voor het geomechanische werk en de productiescenario’s geldt echter dat een groot deel van het werk en de resultaten daarvan pas in de laatste zes weken beschikbaar zijn gekomen en niet of nauwelijks zijn gedeeld met de TBO voorafgaand aan de rapportage. Bovendien geeft NAM aan dat belangrijke onderdelen van de rapportage moeten worden gezien als ‘*work in progress*’ dat nog slechts zeer beperkt resultaten heeft opgeleverd. Als gevolg van de geringe tijd en dientengevolge een beperkt begrip van de gehanteerde modellen en aannames, is deze review minder diepgaand dan de review van onderzoek 5. Overigens heeft NAM zelf ook slechts een beperkt aantal conclusies getrokken op basis van onderzoek 6.

Inhoud

In paragraaf 2 worden de bevindingen van NAM in het kort beschreven. In paragraaf 3 geeft de TBO haar oordeel over het werk en de resultaten, voor zover dat op basis van de huidige rapportage en de bij de TBO aanwezige kennis van het onderliggende werk mogelijk is. In paragraaf 4 volgen de conclusies van de TBO over onderzoek 6. De review eindigt met een paragraaf waarin de TBO voor de onderzoeken 5 en 6 gezamenlijk tot een eindoordeel komt.

¹ De TBO heeft deze rapportage ontvangen op 13 november 2013.

² De TBO heeft deze rapportage ontvangen op 1 november 2013.

Technische Begeleidingscommissie Ondergrond

2 Bevindingen van NAM

In deel 1 van de rapportage over onderzoek 6 wordt aandacht besteed aan:

- a. productiescenario's voor het Groningenveld
- b. reservoircompactie
- c. de seismische hazard
- d. geomechanische modellering
- e. een plan voor gegevensverzameling en nader onderzoek in de komende periode

Deel 2 beschrijft de mogelijkheid om de druk in het reservoir op niveau te houden door de injectie van stikstof.

2.2.1 Deel 1: Depletiescenario's en hazard analyse

a. Productiescenario's

Op dit moment stuurt NAM bij de depletie van het Groningenveld op het zo beperkt mogelijk houden van drukverschillen: geprobeerd wordt de druk in het veld overal zo veel mogelijk gelijk te houden. NAM heeft onderzocht welke maatregelen genomen zouden kunnen worden, die bijdragen aan het minimaliseren van de seismiciteit. Sommige van deze maatregelen kunnen beschouwd worden als alternatieve productiescenario's. De genoemde maatregelen zijn:

1. een alternatieve productiefilosofie die eruit bestaat dat voorrang gegeven gaat worden aan productie uit het zuidelijk deel van het veld en zo weinig mogelijk gas wordt geproduceerd uit het noordelijk deel, waar de seismiciteit het grootst is. Daardoor loopt de reservoirdruk in het noorden de komende jaren langzamer terug en wordt de compactie daar beperkt. NAM stelt dat deze maatregel een tijdelijk positief effect zal hebben op de seismiciteit rond Loppersum.
2. het reduceren van het jaarlijkse productieniveau voor het gehele veld. NAM heeft in de hazard analyse naast het *base case* scenario (het handhaven van het tot nu voorgenomen productieprofiel) andere scenario's doorgerekend, waarin de productie wordt beperkt tot respectievelijk maximaal 40 en 30 miljard kubieke meter (bcm) per jaar. Daarnaast is gekeken naar de effecten van het stopzetten van de productie.
3. de depletie van enkele randblokken aan de westkant het veld, waar de druk nu relatief hoog is, met als doel het drukverschil met de rest van het veld te reduceren, onder de verwachting dat dit de seismiciteit zal verminderen. Extra putten in deze randblokken zijn daarvoor nodig.
4. Het op peil houden van de reservoirdruk (*'pressure maintenance'*) door het injecteren van een vloeistof of een gas. Deze maatregel is onderzocht in deel 2 van de rapportage.

b. Compactie

NAM heeft voor negen verschillende productiescenario's gekeken naar de ontwikkeling van de cumulatieve compactie van het veld, die in het model van NAM de belangrijkste bepalende factor voor seismiciteit is. In eerste instantie wordt een vergelijk gepresenteerd tussen die

Technische Begeleidingscommissie Ondergrond

negen scenario's onderling, waarbij alle negen gebruik maken van het door NAM geprefereerde *time-decay* compactiemodel. Vervolgens worden voor één enkel productiescenario (nl. door produceren volgens het *market demand* profiel) drie verschillende compactiemodellen (fysische relaties tussen de opgelegde spanning en de resulterende volumeverandering) vergeleken: een bilineair model, een *time-decay* model en een lineair isotach model. In de rapportage heeft NAM een *time-decay* model als *base case* gebruikt. In onderzoek 5 werd een (bi)lineaire model als *base case* gebruikt. NAM concludeert dat de onzekerheid die wordt geïntroduceerd door het gebruik van verschillende compactiemodellen groter is dan de spreiding in de uitkomsten ten gevolge van het gebruik van verschillende door de NAM doorgerekende productiescenario's.

c. De seismische hazard

In aanvulling op de rapportage van onderzoek 5 heeft NAM nu ook gekeken naar de seismische hazard in de komende drie en vijf jaar, zoals door de TBO in de review van onderzoek 5 was aanbevolen. De resultaten van de Probabilistische Seismische Hazard Analyse zien er in de *base case* als volgt uit:

Hazard:	50% kans op overschrijding			10% kans op overschrijding			2% kans op overschrijding		
	10 jaar	5 jaar	3 jaar	10 jaar	5 jaar	3 jaar	10 jaar	5 jaar	3 jaar
PGA:	0,06g	0,03g	0,02g	0,33g	0,18g	0,12g	0,67g ³	0,42g	0,3g

Deze hazard analyse kent grote epistemische onzekerheden, die vooral samenhangen met de partiticoëfficiënt, de gebruikte Ground Motion Prediction Equations (GMPEs) - dat zijn de empirische verbanden tussen de sterkte van een beving en de grondversnelling op een bepaalde afstand van het epicentrum - en de compactie van het reservoir. Met een 'logic tree' benadering heeft NAM de relatieve impact van deze belangrijkste factoren op de geschatte hazard onderzocht. De conclusie is dat de partiticoëfficiënt de grootste bijdrage levert aan de onzekerheid.

De probabilistische seismische hazard analyse is uitgevoerd voor 19 scenario's. De belangrijkste variabelen in deze scenario's zijn:

- Compactiemodel: in de berekeningen zijn een *time-decay* en een isotachmodel gebruikt en (ter vergelijking) in één scenario een bilineair model.
- Productiescenario's: gekeken is naar het huidige productieprofiel (genoemd *market demand*), naar scenario's met maximaal respectievelijk 40 en 30 bcm productie per jaar en naar het scenario van het stopzetten van de productie.
- Productiefilosofie: naast de huidige filosofie, waarbij de drukverschillen binnen het veld zo klein mogelijk worden gehouden, zijn scenario's doorgerekend waarbij een alternatieve filosofie wordt gehanteerd, nl. het primair uit het zuiden van het veld winnen.

³Dit cijfer wijkt af van het getal dat in de rapportage over onderzoek 5 werd genoemd (0,57g). Dat komt doordat hier het *time decay* compactiemodel is gehanteerd, waar in onderzoek 5 het lineaire model werd gebruikt.

Technische Begeleidingscommissie Ondergrond

Daarnaast worden in de scenario's verschillende aannames gemaakt over de ontwikkeling van het veld (extra putten en compressie) en twee verschillende mogelijkheden met betrekking tot de sterkte van de aquiferdruk in het noordwesten (zogenaamde 'geologische' scenario's). NAM rapporteert dat vrijwel al deze scenario's, bij een gegeven compactiemodel, voor de komende tien jaar een vergelijkbare seismische hazard opleveren (binnen een 5% bandbreedte). Er zijn slechts twee scenario's die een substantieel lagere hazard laten zien: het scenario waarin de productie wordt beëindigd en een scenario van productieverlaging tot 30 bcm per jaar. In dit laatste scenario wordt ook uitgegaan van de KHM₁-ontwikkeling (*hook up*, 2^e en 3^e fase van compressie).

Het stopzetten van de productie verlaagt de seismische hazard (2% in de komende tien jaar) tot 0,41g, een reductie met 38%. Het scenario met de KHM₁-ontwikkeling verlaagt de hazard met 12% tot 0,58g voor een overschrijdingskans van 2% voor de komende tien jaar.

d. Geomechanische modellering

NAM presenteert voorlopige resultaten van 2D- en 3D *finite element* geomechanische modelleringen, met behulp waarvan is gekeken naar de rol die breuken spelen bij de seismische activiteit in Groningen. Daarbij wordt berekend hoeveel energie bij een beweging langs een breuk vrij kan komen. Daarmee zou de onzekerheid ten aanzien van de partiticoëfficiënt aan de bovenkant begrensd kunnen worden. De eerste inzichten worden door NAM als hoopgevend gekwalificeerd en geven richting aan het programma voor gegevensverzameling en verder onderzoek.

e. Een plan voor gegevensverzameling en nader onderzoek in 2014

Dit plan richt zich primair op het reduceren van de belangrijkste onzekerheden rond de compactie en de partiticoëfficiënt, op het verkrijgen van meer geomechanisch begrip, op de GMPEs en op de bepaling van de b-waarde. Daarnaast zal NAM opties onderzoeken om de seismiciteit te reduceren, vooral op door middel van stikstofinjectie (de haalbaarheid van deze optie verder onderzoeken) en stress management. Het verzamelen van meer en betere gegevens, bv. met een uitgebreid net van geofoons, maakt onderdeel uit van het plan.

2.2.2 *Deel 2: Stikstofinjectie*

In deel 2 is de mogelijkheid om stikstof in het veld te injecteren onderzocht, waarmee de druk in het veld op een constant niveau kan worden gehouden. Omdat daarmee de verdere compactie wordt beperkt, leidt dit in de door NAM gehanteerde modellen tot een grote beperking van de seismiciteit.

NAM tekent daarbij aan dat deze optie zeer grote investeringen en hoge operationele kosten met zich meebrengt en vanwege de omvang van de stikstof productie een enorme impact op de omgeving zal hebben. De optie scoort om die reden bij NAM niet hoog, maar zal toch verder worden onderzocht. Als uit nadere studie blijkt dat het project uitvoerbaar is, zal niet voor 2018 met de injectie van stikstof kunnen worden begonnen.

Technische Begeleidingscommissie Ondergrond

3 Beoordeling door de TBO

In deze paragraaf geeft de TBO haar oordeel over de inhoud van de rapportage en de conclusies die NAM daaruit trekt.

3.1 *Proces*

De rapportage van onderzoek 6 is (in twee delen) pas op 1 en 13 november aangeleverd. Het was van meet af aan duidelijk dat vooral de resultaten van de door Exxon uitgevoerde geomechanische modellering, die onderdeel vormde van onderzoek 5, op zijn vroegst begin november beschikbaar zouden zijn. NAM heeft ervoor gekozen deze resultaten mee te nemen in de rapportage over onderzoek 6. Een aanzienlijk deel van de rapportage over de geomechanische modellering betreft overigens een beschrijving van lopend onderzoek met slechts enkele tussenresultaten. De met de TBO afgesproken planning voor het opleveren van de resultaten van de scenario-analyses werd hierdoor niet gerealiseerd. Een uitgebreide analyse en review waren daardoor in de voor de TBO beschikbare tijd niet meer mogelijk.

Ook voor rapportage over de verschillende productiescenario's en de nadere analyse van de seismische hazard geldt dat door de opgetreden vertraging de tijd voor een uitgebreide analyse door de TBO ontbrak. Ook hier zijn de resultaten te laat ontvangen om daar bijvoorbeeld nog diepgaand met NAM over te kunnen spreken, wat voor een goed begrip van de rapportage noodzakelijk was geweest, of om onafhankelijke eigen berekeningen te kunnen (laten) uitvoeren.

Alleen de inhoud van deel 2 (stikstofinjectie) is eerder met de TBO gedeeld.

3.2 *Inhoud*

3.2.1 *Deel 1: Depletiescenario's en hazard analyse*

a. Productiescenario's

Met betrekking tot de verschillende in het rapport besproken scenario's merkt de TBO allereerst op dat onduidelijk is waarop de selectie van de doorgerekende scenario's is gebaseerd. Zo noemt de tabel op pagina 37 een C20 scenario (productiebeperving tot 20 bcm per jaar); de keuze om dit scenario niet door te rekenen wordt niet gemotiveerd. Verder suggereert tabel 2.2 dat 22 scenario's zijn beschouwd (*'have been assessed'*), terwijl er elders (o.a. in tabel 4.3) van 19 scenario's wordt gesproken. Ook is verwarrend dat over twee varianten van een geologisch model wordt gesproken (G1 en G2 genoemd in sectie 2.4), maar dat alleen scenario's met model G1 worden gepresenteerd en besproken in de rapportage. Dit is des te opvallender, gegeven het feit dat sectie 2.4 suggereert dat met model G2 een betere fit met de bodemdalingsgegevens wordt verkregen.

Het is de TBO niet duidelijk of NAM onderzocht heeft welk productiescenario het grootste effect heeft op de seismische hazard.

Overigens is het rapport niet overal intern consistent v.w.b. de naamgeving van de scenario's.

In Hoofdstuk 2 laat NAM verschillen zien in de ontwikkeling van de drukverdeling in het reservoir tussen scenario's van productie volgens de huidige productiefilosofie en scenario's

Technische Begeleidingscommissie Ondergrond

volgens de alternatieve productiefilosofie (die preferent productie in het zuiden inhoudt, maar ook productie in het noorden toelaat). De TBO is van oordeel dat het serieus in overweging nemen van de alternatieve productiefilosofie de moeite waard is. Daarbij zou ook gekeken moeten worden naar de mogelijkheid de productie gedurende de komende jaren in het noorden geheel te stoppen.

De TBO heeft alleen gekeken naar de effecten van de productiescenario's in de komende 3-5 jaar, aangezien de onzekerheden daarna teveel toenemen om nog conclusies te kunnen trekken.

b. Compactie

Hoofdstuk 3 laat in grafieken de cumulatieve compactie zien voor 11 verschillende scenario's. Op twee na zijn deze scenario's alle gebaseerd op NAM's voorkeursmodel, een *time-decay* compactiemodel. Met betrekking tot de parameterkeuze merkt de TBO op dat onduidelijk is welke relaxatietijd is gebruikt. NAM noemt vijf jaar (met een onzekerheid van plus of min vijf jaar) als beste fit met de geobserveerde bodemdaling. Als er bijvoorbeeld een tijdsconstante van vijf jaar wordt gehanteerd, worden de gevolgen van veranderingen (in druk) niet zichtbaar vóór er vijf jaar zijn verstreken. Sterker nog: de volledige effecten van productieverlaging of productieverhoging worden over een nog langere periode uitgesmeerd. De TBO merkt op dat door de gekozen tijdsconstante en de kleine drukverschillen in het veld de verschillende productiescenario's vergelijkbare cumulatieve compactievolumes opleveren (binnen 10 miljoen m³). Na 2023 worden de verschillen nog kleiner omdat de scenario's dan volledige drukdaling toestaan in het gehele veld. De enige twee scenario's die significant andere cumulatieve compactievolumes geven, zijn het stop scenario (dat overigens niet in de figuren is weergegeven) en het stikstof injectie scenario.

Het basis compactiemodel (*time-decay*) wordt vergeleken met het bilineaire compactiemodel en het isotach compactiemodel. De verschillen in cumulatieve compactievolumes tussen deze modellen zijn aanzienlijk (20 miljoen m³ in 2023 en oplopend tot 175 miljoen m³ in 2080). Hierbij wordt de aantekening gemaakt dat het isotach model gekalibreerd is aan laboratorium gegevens, in tegenstelling tot de andere compactiemodellen, waardoor een goede vergelijking tussen de verschillende compactiemodellen en het effect hiervan op de seismische hazard niet goed mogelijk is. Als de lab data voor het isotach model op dezelfde manier zouden worden opgeschaald als in het *time-decay* model, zal de compactie volgens de TBO significant lager uitvallen. Meer algemeen zou de TBO graag zien dat de in de modellen gehanteerde parameters, zoals compressibiliteit, Poisson ratio en *rigid basement*, worden geëxpliciteerd. De TBO is van mening dat nader bezien moet worden of - bij gelijke parameters in de modellen - de conclusie van NAM, dat het effect van de verschillende productiescenario's op de compactievolumes klein is vergeleken bij het effect van de verschillende compactiemodellen, blijft staan. De conclusie van NAM dat het isotach model (met de gekozen parameters) niet betrouwbaar zou zijn vanwege de slechte overeenkomst met observaties in het stop scenario en de op lab schaal gebaseerde parameters, is naar de mening van de TBO niet onderbouwd.

De TBO merkt ten slotte op dat NAM in de grafieken de gemiddelde te verwachten waarde (de *expectation*) laat zien, maar de onzekerheden niet aangeeft. Voor eventuele conclusies is het

Technische Begeleidingscommissie Ondergrond

relevant te weten hoe de verschillen tussen de compactiemodellen zich verhouden tot die marge.

c. Seismische hazard

In onderzoek 5 is een lineair elastisch compactiemodel aangenomen. In het rapport over onderzoek 6 is een *time-decay* compactiemodel gebruikt. In dit model zit een karakteristieke tijdschaal van vijf jaar met een onzekerheid van vijf jaar. Resultaten laten een met ca. 20% verhoogde waarde zien (ten opzichte van de rapportage over onderzoek 5) voor de maximum PGA voor de komende 10 jaar. De in Hoofdstuk 4 gepresenteerde figuren maken alleen voor het *time-decay* compactiemodel een goede vergelijking mogelijk van de seismische hazard voor perioden van 3, 5 en 10 jaar.

Resultaten voor een overschrijdingskans van 2% in 10 jaar kunnen vergeleken worden met een overschrijdingskans van 1% in vijf jaar. Er wordt echter geen corresponderende waarde voor de periode van drie jaar gegeven.

De invloed van epistemische onzekerheid is onderzocht door een aantal scenario's te berekenen met variaties in de meest invloedrijke parameters in een zogenaamde '*logic-tree*'. Dit betekent een wezenlijk andere aanpak en een goede aanvulling op onderzoek 5, waar alleen de aleatorische (statistische) onzekerheid is meegenomen. De *logic tree* kan alleen worden gebruikt om relatieve gevoeligheden af te schatten. Resultaten geven duidelijk aan dat een gebrek aan kennis vooral van belang is bij de partiticoëfficiënt, gevolgd door de GMPE en het compactiemodel. Dit is geen verrassende uitkomst, maar laat wel goed zien waar de focus moet liggen bij verdere verbetering van de modellering.

In de *logic-tree* benadering worden naast een lineair-elastisch en een *time-decay* compactiemodel nog twee andere compactiemodellen meegenomen: een bilinear model en een isotach model. Zeer illustratief voor de overheersende bijdrage van de partiticoëfficiënt aan de epistemische onzekerheid zijn de figuren 4.6-4.9 waar de effecten van de verschillende compactiemodellen in de hazard berekening zichtbaar gemaakt worden.

De TBO merkt op dat figuur 4.13 tot verwarring zou kunnen leiden vanwege de keuze van de schaal van de horizontale as in termen van PGA. De in de figuur getoonde PGA-waarden representeren niet de seismische hazard in absolute zin, maar tonen slechts relatieve verschillen. De (absolute) seismische hazard wordt getoond in figuur 4.4.

De seismische hazard die wordt berekend met gebruik van het basis (*time-decay*) compactiemodel is voor de verschillende productiescenario's vrijwel gelijk (PGAs binnen een bandbreedte van 0.10g). Uitzondering hierop zijn het productiestop scenario, het stikstof-injectiescenario en het scenario dat kiest voor de alternatieve productiefilosofie (preferent winnen in het zuiden) gecombineerd met een beperking van de jaarlijkse productie tot 30 bcm.

De huidige hazard analyse (met de rol van de partiticoëfficiënt daarin) leidt tot soms verrassende resultaten. Zo wordt bijvoorbeeld in de alternatieve productiefilosofie gas bij voorrang vanuit het zuidelijk deel van het veld gewonnen. Aangezien hier tot nu toe relatief weinig cumulatieve compactie is opgetreden, is de partiticoëfficiënt daar nog klein, waardoor daar geen verhoging in de seismische hazard te zien is als gevolg van de verhoogde depletie.

Technische Begeleidingscommissie Ondergrond

De cumulatieve compactie in het Loppersum gebied is al vrij hoog (en dus is daar een grotere partiticoëfficiënt), waardoor een minder grote drukdaling in dit deel een grote invloed heeft op het de seismische hazard (verlaging van de PGA met 0,1g). De alternatieve productie filosofie en andere productiescenario's lijken hierdoor weinig effect te hebben op de seismische hazard. De onzekerheid in de partiticoëfficiënt door een gebrek aan kennis speelt bij dit gebrek aan onderscheidend vermogen in termen van seismische hazard een belangrijke rol. Een onderbouwde keuze voor het optimale productiescenario in termen van een beperkt seismische hazard kan in de ogen van de TBO op dit moment niet gemaakt worden. De TBO onderschrijft dan ook de noodzaak om op basis van nader onderzoek en meer gegevens de fysische mechanismen achter de partiticoëfficiënt beter te begrijpen en te werken aan betere compactiemodellen. Met behulp daarvan kan vervolgens meer worden gezegd over de verschillen in seismische hazard tussen verschillende productiescenario's.

d. Geomechanische modellering

NAM heeft tweedimensionale (2D) en driedimensionale (3D) *finite element* geomechanische modellen ontwikkeld, waarmee de hoeveelheid slip tijdens de depletie wordt bekeken. Met behulp van dergelijke modellen kan geprobeerd worden de fysica in de statistische hazard analyse te verbeteren. De ontwikkeling van deze modellen is een belangrijke stap voorwaarts, maar zoals NAM terecht constateert zijn ze kwalitatief nog onvoldoende om er op dit moment al conclusies aan te kunnen verbinden.

De TBO merkt in dat verband op dat in deze modellen wordt aangenomen dat alle *slip* seismisch plaatsvindt. In het algemeen wordt verondersteld dat ook aseismische *slip* een belangrijke rol speelt. Daar staat tegenover dat de modellen statisch zijn, waardoor dynamische gedrag niet wordt gemodelleerd en ook geen *stress drop* is aangebracht. Het is daarom niet te zeggen of de resulterende *slip* over- of onderschat wordt.

De 2D geomechanische studie geeft generieke inzichten in breukgeometrieën en *slip*. De resultaten zijn echter, zoals ook wordt gesteld, niet één op één te vertalen naar Groningen. Het Zechstein zoutpakket zit bijvoorbeeld niet in het model, terwijl dit een potentieel grote impact heeft op de resultaten.

Het 3D geomechanische werk dat wordt gepresenteerd betreft een eerste model, dat zoals NAM ook stelt nog gekalibreerd en verbeterd zal moeten worden. Alle voorlopige conclusies die uit dit werk naar voren komen m.b.t. de verschillende productiescenario's alsook de voorspellingen van toekomstige seismiciteit (in de vorm van seismische energie die vrijkomt) moeten in dit licht worden gezien. De *fit* tussen de gedissipeerde energie op de breuken en seismische energie in het 3D model wordt bereikt met behulp van aanpassing van drie instelbare parameters. De TBO merkt op dat er andere mogelijke combinaties van parameters zijn (met een even goede *fit*), die een andere voorspelling van de toekomst zouden geven. Daarnaast is het bereikte resultaat afhankelijk van de hoeveelheid breuken die in het model zitten. In de sub-modellen worden 40 respectievelijk 37 breuken (de meest kritische) meegenomen. Er is echter een veelvoud van breuken die in het model niet zijn meegenomen. De berekende *slip* zal toenemen met het aantal breuken wat meegenomen wordt in de modelering. Daarnaast is bekend dat er ook subseismische breuken (d.w.z. niet zichtbaar op reflectie-seismische afbeeldingen van de ondergrond) bestaan, waardoor nooit alle breuken

Technische Begeleidingscommissie Ondergrond

(en dus ook nooit alle opgetreden slip) gemodelleerd kan worden.

e. Plan voor nader onderzoek en gegevensverzameling

In hoofdstuk 6 van de rapportage beschrijft NAM het onderzoeksprogramma voor 2014. Het reduceren van de onzekerheid die samenhangt met de partiticoëfficiënt is het speerpunt van dat programma, in lijn met de bevindingen van onderzoek 6 en de aanbevelingen van de TBO naar aanleiding van onderzoek 5. Ten behoeve van de gedetailleerde geomechanische modellering die daarvoor nodig is, zijn betere en meer gegevens nodig over de precieze locatie van de aardbevingen en het karakter van de bevingen. Met het oog daarop wordt het gefoon-netwerk uitgebreid, o.a. met gefoons op reservoirdiepte in het gebied rond Loppersum. De TBO onderschrijft het belang hiervan, met het oog op het aanzienlijk reduceren van de onzekerheid over de ontwikkeling van de seismiciteit op langere termijn. De TBO heeft ook met instemming kennis genomen van de andere elementen van het onderzoeksprogramma, in het bijzonder:

- het verbeteren en valideren van de compactiemodellen met (verbeterde) metingen;
- update van het porositeitsmodel, in het licht van nieuwe gegevens over de bodemdaling;
- golfvorm-modelering en inversie om fysica en geologische kennis in de GMPEs te brengen;
- onderzoek naar stress management van het veld, bijvoorbeeld door verdere studies naar de stabiliteit van breuken.

De TBO mist in het onderzoeksprogramma nog altijd een studie naar de relatie tussen de productiesnelheid en seismiciteit en specifiek naar de mogelijke effecten van tijdsafhankelijke spanningsrelaxatie daarop.

De TBO heeft kennis kunnen nemen van de review op deel 1 van de rapportage door professor Ian Main (University of Edinburgh) van 14 november 2013. Zij ziet in deze review op belangrijke punten een bevestiging van de hiervoor gepresenteerde beoordeling. In het bijzonder waar prof. Main

- constateert dat het niet mogelijk is om alle details die tot specifieke conclusies leiden te controleren, omdat de rapportage “*high level*” is en heel compact;
- opmerkt dat de geomechanische modellen weliswaar een goede match laten zien met de historische data, maar dat daarbij een groot aantal parameters een rol speelt waarmee tot gespeeld kan worden. Maar er zijn falsifieerbare voorspellingen van het gedrag van het reservoir gemaakt, die in de toekomst zullen helpen bij het kiezen van de juiste modellen en parameter waarden, naarmate nieuwe gegevens beschikbaar komen;
- opmerkt dat het nuttig was geweest als er meer aandacht in de rapportage was besteed aan de ratio voor de productiescenario's die in beschouwing zijn genomen.

3.2.2 *Deel 2: Stikstofinjectie*

Het op peil houden van de reservoirdruk in het Groningen veld zal, met enige vertraging, de compactie en bodemdaling tot staan brengen. Dit heeft ook in de ogen van de TBO de potentie om de seismiciteit in het veld op zijn minst sterk te reduceren.

In het rapport wordt een keuze gemaakt voor stikstofinjectie. Hierbij wordt injectie met andere gassen (zoals CO₂) of water als te duur of anderszins moeilijk of onmogelijk terzijde geschoven. Als gekeken wordt naar het projectvoorstel voor stikstofinjectie, zoals dat op

Technische Begeleidingscommissie Ondergrond

hoofdpijnen in de rapportage wordt beschreven, wordt duidelijk dat ook die optie duur en technisch niet eenvoudig is. De benodigde installaties voor de productie van stikstof, op een schaal die nog nergens ter wereld gerealiseerd is, brengen enorme investeringen met zich mee (NAM verwacht kosten van in totaal € 6 à 10 mrd) en zijn niet voor 2018 te realiseren.

Bovendien zou een dergelijk project vanwege die schaal een grote impact op de omgeving hebben en veel elektriciteit verbruiken, waarvoor ca. één vijfde van de resterende gasreserves in het Groningenveld gebruikt zouden moeten worden.

In de ogen van de TBO kan de optie van stikstof injectie alleen in beeld komen als alternatief voor het stopzetten van de productie. Dat zijn immers de scenario's die, zij het met vertraging, de compactie in het reservoir tot staan brengen en daarmee ook de seismische hazard vrijwel geheel kunnen wegnemen. Het zijn ook de twee scenario's die enorme financiële en economische gevolgen met zich meebrengen, inclusief de externe effecten op omgeving en milieu.

Het is de TBO niet duidelijk of een variant met gedeeltelijke injectie van stikstof, waardoor de drukverlaging in het veld vertraagd wordt, een bijdrage zou kunnen leveren aan het reduceren van de seismische hazard. NAM heeft deze variant niet meegenomen in het onderzoek.

4 Conclusies

4.1 Algemeen

De rapportage van NAM over onderzoek 6 bevat tevens aanvullingen op of veranderingen van de rapportage over onderzoek 5. Ook heeft NAM daarin een aantal van de aanbevelingen die de TBO deed in de review van de rapportage over onderzoek 5 opgevolgd. Voor de conclusies van de TBO over onderzoek 5 wordt verwezen naar het document 'Review TBO rapportage onderzoek 5' van 24 november 2013. Daar waar NAM's rapportage 'Report to the Technical Guidance Committee (TBO) on Production Measures' tot bijstellingen of nieuwe conclusies van de TBO leiden, zijn deze verwoord in het onderstaande eindoordeel.

4.2 Conclusies over onderzoek 6

1. NAM heeft vier denkbare maatregelen onderzocht, die mogelijk de geïnduceerde seismiciteit zouden kunnen terugbrengen. Slechts één daarvan is gericht op het streven naar het minimaliseren van drukverschillen, wat tot nu toe de productiefilosofie van NAM was. De andere drie zijn gericht op het beperken van compactie in het gehele veld of in voornamelijk het noordelijk deel van het veld. Hieruit blijkt dat NAM weliswaar compactie van het reservoir als meest bepalende factor voor de seismiciteit ziet, maar dat dit niet betekent dat drukverschillen aan de randen van het veld of over interne breuken binnen het veld niet ook van belang kunnen zijn.
2. De 19 productiescenario's waarvoor NAM de seismische hazard heeft berekend, laten in vrijwel alle gevallen slechts beperkte verschillen in hazard zien. Dat is mede het gevolg van het feit dat in het *time-decay* compactiemodel de verschillen pas met een vertraging van tenminste vijf jaar zichtbaar worden. Er zijn drie scenario's die - ten opzichte van de *base case* - tot een wat grotere reductie van de seismiciteit leiden. Behalve voor het

Technische Begeleidingscommissie Ondergrond

- scenario van het stopzetten van de productie en voor het scenario van stikstofinjectie geldt dit voor het adopteren van de alternatieve productiefilosofie (preferent winnen in het zuiden) in combinatie met het verminderen van de productie.
3. Een onderbouwde keuze voor het optimale productiescenario in termen van een beperkt seismische hazard kan in de ogen van de TBO op dit moment niet gemaakt worden.
 4. De TBO is van oordeel dat het serieus in overweging nemen van de alternatieve productiefilosofie, die inhoudt dat gedurende enkele jaren met voorrang uit het zuiden van het veld gewonnen gaat worden, de moeite waard is. Dit zou kunnen passen in een benadering waarin maatregelen voor de korte termijn gepaard gaan met nader onderzoek dat een verantwoord besluit voor de langere termijn mogelijk moet maken. Daarbij zou ook gekeken moeten worden naar de mogelijkheid de productie gedurende die jaren in het noorden geheel te stoppen, een scenario waar NAM nog niet naar heeft gekeken.
 5. De grootte van de partiticoëfficiënt en de ontwikkeling ervan in de tijd zijn in belangrijke mate bepalend voor de ontwikkeling van de seismiciteit. De TBO deelt de conclusie van NAM dat de huidige statistische analyse laat zien dat het waarschijnlijk is dat deze coëfficiënt toeneemt. De mate waarin dit het geval zal zijn is echter zeer onzeker, omdat een goed fysisch begrip van de empirisch bepaalde partiticoëfficiënt ontbreekt. De logic tree benadering laat zien dat de partiticoëfficiënt de grootste bijdrage levert aan de onzekerheid in de hazard analyse. 3D geomechanische modellering kan helpen een bovengrens voor deze coëfficiënt te bepalen.
 6. Er bestaat nog geen consensus over het fysisch model dat de afhankelijkheid van de compactie van de drukdaling in de tijd het beste beschrijft (het compactiemodel). Hiervoor bestaan verschillende hypothesen die op basis van de huidige bodemdalingsmetingen alle valide kunnen zijn. De TBO vindt het belangrijk om in de verschillende compactiemodellen met dezelfde parameters te werken, waardoor de verschillen naar verwachting kleiner zullen worden. Vervolgens is het belangrijk om naar een scala van compactiemodellen te kijken die de bodemdaling, binnen de fouten, even goed representeren.
 7. Het nu ontwikkelde 3D geomechanisch model ziet de TBO als een eerste stap voor het verkrijgen van meer geomechanisch inzicht. De in de rapportage gepresenteerde voorlopige resultaten roepen echter nog teveel vragen op om er al conclusies aan te verbinden.
 8. De enorme kosten, het verlies van een groot volume aan aardgas en de schaal van de industriële activiteiten en daarmee de impact op het landschap, maken het op dit moment moeilijk voorstelbaar dat stikstofinjectie een acceptabel alternatief productiescenario gaat vormen.

4.3 Eindoordeel over onderzoeken 5 en 6

Gedurende het jaar 2013 zijn grote stappen gezet in het verkrijgen van meer begrip van de seismiciteit in het Groningen veld. Toch is gebleken dat nog veel onbekend is en meer onderzoek nodig is. Een handicap is dat er relatief weinig bekend is - uit relevant onderzoek elders ter wereld - over gasvelden vergelijkbaar met het Groningenveld. Dat heeft ten eerste te maken met unieke aspecten van het Groningenveld (één van de grootste gasvolumina ter

Technische Begeleidingscommissie Ondergrond

wereld, een huidige drukdepletie van ca. 200 bar en een dicht meetnetwerk dat het mogelijk maakt alle bevingen sterker dan 1,5 te registreren). Ten tweede zijn er belangrijke lacunes in kennis die samenhangen met het feit dat internationaal onderzoek over aardbevingen zich veelal richt op sterkere (tektonische) aardbevingen en dat daardoor bijvoorbeeld empirische verbanden niet per se geldig zijn voor de lichtere (geïnduceerde) aardbevingen typisch voor Groningen. Dit alles leidt tot grote onzekerheidsmarges in vrijwel alle uitkomsten van de onderzoeken.

De TBO is van oordeel dat de onderzoeken met voldoende onafhankelijkheid zijn opgezet en uitgevoerd en de toets der wetenschappelijke kritiek in het algemeen kunnen doorstaan. Wel wordt aangetekend dat vooral voor het goed beschouwen, doorrekenen en vergelijken van de verschillende denkbare scenario's de tijd ontbrak. Dat gold ook voor grondige besprekingen, o.a. over de keuze van achterliggende parameters, met de TBO.

De TBO acht het van groot belang dat de komende jaren meer onderzoek wordt uitgevoerd, dat onder meer gebruik maakt van de nieuw te vergaren gegevens. Verder is het van belang dat NAM in overleg met derden een uitgebreid en hoog kwalitatief meetprogramma uitvoert en de resultaten daarvan deelt met onafhankelijke partijen. Op deze wijze wordt niet alleen al het mogelijke gedaan om op basis van meer kennis en inzichten eventuele maatregelen in de toekomst te onderbouwen, maar kan bovendien de bovengeschetste unieke situatie rondom het Groningen veld worden benut om tot een wereldwijd gezien unieke kennispositie op het gebied van geïnduceerde seismiciteit te komen.

Het onderzoek gedaan door NAM in het afgelopen jaar berustte in hoge mate op het uitwerken van het idee dat de hoeveelheid compactie van het reservoir (en daarmee de volumeverandering) de sleutel kan vormen tot het doen van voorspellingen van de ontwikkeling van seismiciteit. Immers, door de beschikbaarheid van een zeer gedetailleerd geologisch 3D model van de ondergrond van Groningen en een grote hoeveelheid productiecijfers en drukgegevens vergaard in meer dan 50 jaar, kan in principe door middel van een reservoirsimulator de compactie bij een gegeven productiescenario goed worden voorspeld. Niettegenstaande de waardering van de TBO voor deze aanpak en voor de kwaliteit van de analyses, plaatst de TBO hierbij enkele kanttekeningen.

- Die voorspelbaarheid van de compactie is afhankelijk van de kwaliteit van het gebruikte compactiemodel. Hierover is het laatste jaar veel discussie gevoerd. Het lijkt erop dat deze discussie nu wel tot convergentie gaat leiden, maar consensus is er nog niet. Er resteert nog een belangrijke mate van onzekerheid; verschillende modellen verklaren alle de metingen tot nu toe en bij alle modellen kan gekozen worden voor verschillende waarden van de parameters. Verwacht wordt dat onderzoek en de extra gegevens die vanaf 2014 beschikbaar komen in de komende jaren tot aanzienlijke reductie van deze onzekerheid zullen leiden.
- De gekozen benadering impliceert dat de reservoircompactie vertaald kan worden naar seismiciteit. Het onderzoek gebruikt voor deze vertaling de zogenaamde partiticoëfficiënt. Er is veel discussie gevoerd over deze factor. Een goed fysisch begrip van de factor ontbreekt, bovendien laten de statistische analyses zien dat de factor niet

Technische Begeleidingscommissie Ondergrond

constant is in de tijd. Hierdoor rijst de vraag waar die verandering van de partiticoëfficiënt in de tijd precies van afhangt.

- Het is gewenst om verder onderzoek te doen naar de afhankelijkheid van de partiticoëfficiënt van andere factoren dan de compactie, zoals de breukdichtheid en de compactiesnelheid.
- Het is verstandig om open te blijven staan voor andere ideeën dan het trachten te voorspellen van de seismiciteit via de route van compactie alleen. Differentiële compactie en breuken zijn waarschijnlijk van grote invloed op de seismiciteit. Op dit moment is nog niet duidelijk of full field 3D geomechanische modeleringen ooit tot betrouwbaarder resultaten zullen kunnen leiden.

De TBO is van mening dat er, gezien de grote onzekerheden voor de verdere toekomst, op dit moment alleen voldoende zekerheid bestaat over de seismische hazard in de komende drie tot vijf jaar. Nader onderzoek en verdere verzameling van gegevens zijn nodig om ook voor de langere termijn voldoende zekerheid voor besluitvorming te verkrijgen.

De onderzoeken hebben geen hard antwoord kunnen geven op de oorspronkelijke vraag van de minister m.b.t. de maximale magnitude. Een statistische analyse van NAM laat zien dat de kans op het optreden van een beving met $M > 4,9$ in de komende tien jaar 10% zou zijn. Daarbij is de aanname dat de tot dusver waargenomen trend zich voortzet, hetgeen niet geheel zeker is. Bovendien maakt die statistische analyse geen gebruik van kennis over breuken. Er zijn wel pogingen ondernomen om de maximale magnitude te berekenen uit informatie over breuken, maar de uitkomsten van die berekeningen zijn sterk afhankelijk van de aannames die gemaakt moeten worden. De onderbouwing van de aannames is volgens de TBO zwak. Al met al is de inschatting van de TBO op basis van wat nu bekend is, dat de kans dat de maximaal waarschijnlijke magnitude boven de 5 zal liggen klein is. Op basis van de nu beschikbare data en kennis kunnen bevingen met een magnitude hoger dan 5 echter niet volledig worden uitgesloten. Ook op dit punt zal het beschikbaar komen van meer gegevens in de komende jaren de onzekerheid kunnen reduceren.