



> Retouradres Postbus 24037 2490 AA Den Haag

Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.  
T.a.v. de heer ir. G.M.Schotman, directeur  
Postbus 28000  
9400 HH ASSEN

**Staatstoezicht op de Mijnen**

**Bezoekadres**  
Henri Faasdreef 312  
2492 JP Den Haag

**Postadres**  
Postbus 24037  
2490 AA Den Haag

T 070 379 8400 (algemeen)  
F 070 379 8455 (algemeen)

sodm@minez.nl  
www.sodm.nl

**Behandeld door**

Datum 11 november 2015  
Betreft Beoordeling SodM van resultaten NAM-studies naar bodemdaling op langere termijn

**Ons kenmerk**  
15159061

**Uw kenmerk**

**Bijlage(n)**  
2

Geachte heer Schotman,

Op 30 juni 2015 heb ik 16 rapporten van u ontvangen die betrekking hebben op de deelonderzoeken die door NAM zijn uitgevoerd in het kader van de studie naar de fysische achtergronden van de waargenomen tijdsafhankelijke effecten in het bodemdalingsgedrag en de mogelijke gevolgen daarvan voor de bodemdaling op langere termijn. De onderzoeken zijn uitgevoerd op grond van in artikel 14 van het instemmingsbesluit wijziging winningsplannen Moddergat / Lauwersoog / Vierhuizen, artikel 3 van het instemmingsbesluit gewijzigd winningsplan Anjum en artikel 5 van het instemmingsbesluit gewijzigd winningsplan Ameland, alle besluiten van 21 maart 2013. Op 21 september 2015 hebt u nog aanvullende informatie aan mij gezonden.

De aangeleverde rapporten zijn door mijn medewerkers bestudeerd. Bovendien heb ik op 16 oktober 2015 over deze rapporten een advies ontvangen van TNO-AGE (rapport AGE 15-10.058, zie bijlage 1 bij deze brief).

**beoordeling**

In mijn beoordeling van de in juni 2015 aangeleverde rapporten heb ik tevens het oordeel betrokken van de door de Waddenacademie ingestelde wetenschappelijke stuurgroep van nationale en internationale deskundigen. Mijn medewerkers en medewerkers van TNO-AGE hebben daartoe als waarnemers deelgenomen aan de bijeenkomsten van de wetenschappelijke stuurgroep. Ook heb ik voor mijn oordeel gebruik gemaakt van de evaluatie van de uitgevoerde studies door de Waddenacademie en van de aanvullende informatie die door NAM in september 2015 aan mij is aangeleverd (uw email van 21 september 2015). In het algemeen beoordeel ik de tot nu toe verkregen studieresultaten als grondig, zeer relevant en van een wetenschappelijk hoog niveau.

Het onderzoek heeft zich tot nu toe vrijwel geheel gericht op de fysische mechanismen achter het waargenomen bodemdalingsgedrag. De betekenis van de uitkomsten van het onderzoek voor de bodemdaling op langere termijn wordt aangestipt in termen van de snelheid en ruimtelijke schaal, waarmee de onderzochte fysische processen zich *individueel* zouden kunnen voltrekken.

Aan een *integrale* analyse op een *case study* is het onderzoek niet toegekomen. Echter, ik hecht er aan dat ook die *integrale* toetsing van de aannemelijke hypothesen die de uitkomst vormen van de bovengenoemde studies tegen historisch productie en bodemdalingsdata wordt gemaakt. Op basis van een dergelijke analyse is het mogelijk de eventuele gevolgen van de aannemelijke hypothesen voor de toekomstige bodemdaling in het Waddengebied vast te stellen.

Het belang van een dergelijke analyse werd ook al benadrukt in een roadmap (als uitkomst van een gezamenlijke framing sessie eind 2011), een projectplan (maart 2012) en een Terms of Reference (TOR) document (2013), waaraan u zich heeft gecommitteerd.

#### **werkplan NAM**

Uit uw brief van 8 januari 2015 blijkt dat NAM deze mening deelt en voornemens is om de aannemelijke hypothesen, die de uitkomst vormen van studies, te toetsen tegen de historische productie en bodemdalingsdata van het Ameland gasveld; op basis hiervan kan worden vastgesteld welke hypothese (of combinatie van hypothesen) de waarnemingen het beste verklaart. Ook de wetenschappelijke begeleidingscommissie van de studie heeft dat onderschreven: "Hypothesis testing and implementation on a field-case is strongly supported and recommended. The hypotheses to be tested include: the impact of aquifer depletion, the impact of rock salt caprocks, the hypotheses developed in the geodetic sub-project, etc. The committee supports selection of Ameland gas field for hypotheses testing." (Minutes of the 4th St. Com. meeting held on 1 & 2 Dec. 2014 in Utrecht).

Voor het uitvoeren van het vervolgonderzoek zal door u een werkplan worden opgesteld. In uw brief van 8 januari 2015 geeft u aan dat NAM verwacht de bevindingen van de bedoelde toetsing beschikbaar te kunnen hebben binnen 9 maanden na acceptatie van het werkplan door SodM. In mijn reactie van 25 maart jl. heb ik aangegeven deze aanpak acceptabel te vinden, gegeven het lange termijn karakter van de uitgevoerde studies en het feit dat het waargenomen bodemdalingsgedrag nog steeds in lijn is met de voorspellingen daarvan. Bij dezen verzoek ik u voor dit onderzoek het bedoelde werkplan op te stellen en dat uiterlijk 1 februari 2016 aan SodM voor te leggen. Ik verzoek u om de onderwerpen die in bijlage 2 bij deze brief zijn opgesomd (en die onder meer het

resultaat zijn van overleg met de Waddenvereniging) zo veel mogelijk in uw werkplan mee te nemen.

### **toetsen SodM**

Ten aanzien van timing en inhoud van het nog aan te leveren onderzoek geef ik nu alvast aan waaraan ik het werkplan en het onderzoek zal toetsen. Dan kunt hiermee rekening houden bij het opstellen van het werkplan.


1. De tot nu toe door NAM aangeleverde resultaten van de studie hebben meerdere aannemelijke hypothesen opgeleverd voor de verklaring van de waargenomen tijdsafhankelijke effecten in het bodemdalingsgedrag. In het werkplan, dat NAM uiterlijk 1 februari 2016 bij SodM zal indienen, verwacht ik dat NAM nader aangeeft hoe de (combinatie van) hypothesen getest gaan worden en welke methodiek zal worden toegepast om de voorspelde en de waargenomen bodemdaling onder de verschillende scenario's te vergelijken. Ook dient de methodiek beschreven te worden die zal worden gebruikt om de lange termijn effecten onder de diverse scenario's te berekenen. Dit onderzoek moet niet onnodig veel tijd in beslag nemen. Ik verwacht van NAM dat het werkplan zodanig wordt ingericht, dat het onderzoek vóór februari 2017 zal worden voltooid.
2. In overeenstemming met het advies van de wetenschappelijke stuurgroep van nationale en internationale deskundigen die de eerste fase van het onderzoek heeft begeleid dient deze toetsing te worden uitgevoerd tegen de historische productie en bodemdalingsdata van het Ameland veld. Daarbij moet onderzocht worden welke range (van combinaties) van aannemelijke hypothesen het waargenomen bodemdalingsgedrag van het Ameland veld kan verklaren. Hierbij is van belang om te bezien hoe de gevonden relatie zich –op hoofdlijnen- verhoudt tot het waargenomen bodemdalingsgedrag van andere velden die door de NAM in Nederland worden geopereerd.
3. De studie dient aannemelijk te maken dat –op grond van de nieuwe inzichten- de verwachte bodemdaling van de gasvelden Anjum, Moddergat, Nes, Lauwersoog en Vierhuizen, niet zal leiden tot overschrijding van de vastgestelde veilige gebruiksruiimte. Ik ga er ervan uit dat NAM in deze analyse gebruik maakt van het nieuwe, vóór 1-1-2016 vast te stellen rZss scenario, dat tot 2021 een vastgestelde Gebruiksruiimte geeft.
4. De studie dient tevens aannemelijk te maken dat een ingreep op basis van het 'Hand aan de Kraan' principe effectief is wanneer metingen –en de daarop gebaseerde prognoses- onverhoopt aangeven dat er een reële kans is dat de gebruiksruiimte overschreden is of zal worden overschreden (remwegscenario).

Gelet op het feit dat u een kopie van uw eerdere brieven aan de Waddenvereniging hebt gestuurd en de Waddenvereniging vervolgens informeerde naar mijn reactie, stuur ik tevens een afschrift van deze brief aan de Waddenvereniging.

**ten slotte**

Ik reken erop dat NAM zich inspant om het vervolgonderzoek naar de bodemdaling op langere termijn, zoals uiteengezet in deze brief, voortvarend uit te voeren.

Met vriendelijke groet,

  
H.A.J.M. van der Meijden, MBA  
Inspecteur-generaal der Mijnen

Bijlagen:

1. TNO rapport, Evaluatie TNO-AGE resultaten onderzoek bodemdaling Waddenzee, rapport AGE 15-10.058
2. Previously discussed items to be considered for incorporation in LTS phase II

Retouradres: Postbus 80015, 3508 TA Utrecht

Staatstoezicht op de Mijnen  
Postbus 24037  
2490 AA 'S GRAVENHAGE



**Datum**  
16 oktober 2015

**Onze referentie**  
AGE 15-10.058

**Blad**  
1/5

**Onderwerp**

Evaluatie TNO-AGE resultaten onderzoek bodemdaling Waddenzee

Geachte heer Harry van der Meyden,

Hierbij bieden we u de evaluatie aan van de resultaten van het onderzoek naar de waargenomen tijdsafhankelijke effecten in het bodemdalingsgedrag van de Waddenzee.

Hoogachtend,

Hoofd Adviesgroep Economische Zaken

**Datum**  
16 oktober 2015

**Onze referentie**  
AGE 15-10.058

**Blad**  
2/5

## Inleiding

Bij het instemmingsbesluit wijziging winningsplan Ameland 2013 (met kenmerk DGETM-EM/12043020) is de volgende voorwaarde opgenomen:

- *De Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V. voert ten genoegen van de inspecteur-generaal der mijnen vóór 1 juli 2015 een nadere studie uit naar de fysische achtergronden van de waargenomen tijdsafhankelijke effecten in het bodemdalings-gedrag en de mogelijke gevolgen daarvan voor de bodemdaling op langere termijn*

De resultaten van die studie zijn in juni 2015 door de NAM opgeleverd aan SodM, vervat in een overzichtsrapport [1] en 12 vakinhoudelijke rapporten [2] t/m [13]. Zoals aangegeven in het werkplan van TNO-AGE, en op verzoek van SodM, heeft TNO-AGE een beknopte evaluatie opgesteld van de eindresultaten van deze studie.

## Reikwijdte van het uitgevoerde onderzoek

De onderzoeksopdracht bestond uit twee onderdelen:

- 1) de fysische mechanismen achter het waargenomen bodemdalingsgedrag begrijpen;
- 2) de gevolgen van 1) aangeven voor de bodemdaling op langere termijn.

TNO-AGE constateert, dat het onderzoek zich vrijwel geheel heeft gericht op onderdeel 1). Onderdeel 2) wordt aangestipt in termen van de snelheid en ruimtelijke schaal, waarmee de onderzochte fysische processen zich individueel zouden kunnen voltrekken. Aan een integrale analyse op een *case study* is het onderzoek niet toegekomen. TNO-AGE ondersteunt het voornemen om een dergelijke *case study* alsnog te gaan uitvoeren in een volgende fase van het onderzoek.

## Analyse pakket vakinhoudelijke rapporten

De 12 vakinhoudelijke onderzoeksrapporten kunnen worden ingedeeld in de volgende vier groepen:

- a) tijdsafhankelijke fysische mechanismen;
- b) vertaling van compactie naar bodemdaling;
- c) het doen van metingen;
- d) het vergelijken van modellen.

Deze vier groepen worden hierna besproken

- a) *Tijdsafhankelijke fysische mechanismen*

De onderstaande tabel geeft een overzicht van de onderzochte fysische mechanismen, met de betreffende onderzoeksrapporten en hun belangrijkste kenmerken.

Datum  
16 oktober 2015

Onze referentie  
AGE 15-10.058

Blad  
3/5

<i>mechanisme</i>	<i>waar?</i>	<i>type</i>	<i>auteur</i>	<i>referentie</i>
drukdiffusie	gasreservoir	model	NAM	[3]
		model	Heriot-Watt	[2]
	aquifers	model	NAM	[9]
compactie	reservoirgesteente	meting lab	Shell Rijswijk	[4] + [5]
zoutkruip	overburden	model	UU	[8]

Drukdiffusie in de aquifers en zoutkruip in de overburden zijn onderzocht in een voor Ameland relevante modelvorm. Voor beide wordt geconcludeerd, dat zij niet als enige het waargenomen tijdsafhankelijke bodemdalingsgedrag kunnen verklaren. Dit is in lijn met de conclusie die in rapporten van NAM en van TNO uit 2011 is getrokken, namelijk dat het gedrag in het geval van Ameland naar alle waarschijnlijkheid een combinatie is van tijdsafhankelijke effecten binnen het reservoir, aanliggende aquifers en de overliggende steenzoutformatie.

Het laboratorium-onderzoek aan de Moddergat-3 kern heeft zeer waardevolle informatie opgeleverd over het compactiegedrag van het reservoirgesteente onder gesimuleerde in situ condities. De kern is genomen uit een reservoir, dat geologisch sterk analoog aan Ameland mag worden verondersteld. De betreffende rapporten ([4] en [5]) leggen echter geen relatie tussen het gemeten compactiegedrag en eerder voorgestelde gedragsvergelijkingen.

*b) Vertaling van compactie naar bodemdaling*

De rapporten [7] en [10] handelen niet over tijdsafhankelijke fysische mechanismen, maar gaan in op de vertaling van (hypoplastisch) compactiegedrag naar bodemdaling via analytische technieken. Zij hebben een theoretisch karakter en zullen in een volgende fase nader geverifieerd moeten worden aan velddata.

*c) Het doen van metingen*

Het rapport [6] handelt over verbeterde technieken voor het analyseren van resultaten van in situ compactiemetingen. Het gaat hier om de meettechniek met radioactieve kogels, zoals uitgevoerd in het Groningen veld. Het is echter de vraag of deze techniek kan worden toegepast in Ameland of de andere Waddenzee velden: gedeveerde boorgaten laten deze techniek waarschijnlijk niet toe. Modernere meettechnieken met behulp van fibre optics (zoals nu ook in Groningen wordt toegepast) ligt meer voor de hand.

De rapporten [11] en [12] geven handreikingen voor verbeterde meettechnieken aan oppervlak en de analyse van die gegevens.

*d) Het vergelijken van modellen*

Rapport [13] presenteert een op Baysiaanse theorie gebaseerde methodiek om voorgestelde modelvarianten onderling te vergelijken en te wegen naar de mate waarin zij een verklaring geven voor de waarnemingen.

**Datum**  
16 oktober 2015

**Onze referentie**  
AGE 15-10.058

**Blad**  
4/5

TNO-AGE is een voorstander van dergelijke technieken. Echter, zoals eerder aangegeven zullen de voor te stellen modelvarianten bij voorbaat een combinatie van meerdere fysische mechanismen moeten bevatten. Technieken als 'experimental design' zijn mogelijk geschikt om een voldoende breed spectrum aan model(combinatie)varianten op te bouwen.

### **Bevindingen TNO-AGE**

Ten opzichte van de kennis in 2011 is op onderdelen verdieping tot stand gebracht.

Het spectrum van mogelijke fysische mechanismen is voldoende breed onderzocht, in elk geval als test set voor in een volgende fase uit te voeren veldtest.

Van de 12 geleverde vakinhoudelijke rapporten handelen er 6 over de fysische mechanismen.

Met name het laboratoriumonderzoek aan het mechanisch gedrag van reservoirgesteente afkomstig uit een aardgasvoorkomen, dat sterk geologisch analoog is aan dat van het Ameland veld, heeft belangrijke nieuwe gegevens opgeleverd. Helaas is geen relatie gelegd met gedragsvergelijkingen.

De rapporten bevestigen eerdere conclusies, dat het tijdsafhankelijke bodemdalingsgedrag van het Ameland veld door meerdere fysische mechanismen wordt veroorzaakt.

De 6 overige vakinhoudelijke rapporten moeten worden gezien als hulpmiddelen, in te zetten in een volgende fase van het onderzoek, i.c. een veldstudie.

### **Overwegingen TNO-AGE m.b.t. vervolgonderzoek**

Het plan bestaat om een veldstudie uit gaan voeren op het Ameland gasveld als test case. Met een dergelijke studie kan ook invulling worden gegeven aan onderdeel 2) van de oorspronkelijke opdracht, namelijk het aangeven van de gevolgen voor de bodemdaling op langere termijn.

De dataset van hoogtemetingen boven het Ameland veld heeft geen bijzonder goede ruimtelijke spreiding: het netwerk bevindt zich langs de as van het eiland Ameland; in het Wad bevindt zich een aantal GPS-stations, maar naar de kant van de Noorzee zijn praktisch geen meetpunten. In overweging wordt gegeven om het Anjum gasveld ook in de veldstudie te betrekken: dat veld heeft sterke geologische analogie met Ameland (sterke oorspronkelijke overdruk, gelegen binnen de Lauwerzee Trog) en waarschijnlijk een betere bedekking met hoogte-metpunten.

Belangrijke tussenstap is het calibreren van gedragsvergelijkingen (compactie-modellen) op de uitgevoerde laboratorium-metingen.

De veldstudie op Ameland en/of Anjum zal naar het zich laat aanzien een vorm van 'experimental design' vergen om te komen tot combinaties van modellen gebaseerd op de onderzochte fysische mechanismen.

De kans bestaat, dat er geen voldoende 'unieke' oplossing uit deze veldstudie(s) naar voren komt om een beeld van de toekomstige ontwikkeling te krijgen. Het resultaat zal dan een relatief grote onzekerheidsbandbreedte hebben.



**Datum**  
16 oktober 2015

**Onze referentie**  
AGE 15-10.058

**Blad**  
5/5

De onzekerheid kan potentieel worden verkleind door de onderliggende effecten te ontrafelen: een aanpak kan zijn te kijken naar velden, waar 1 van de fysische mechanismen geen rol speelt. Zo zou Annerveen kunnen dienen als een geval, waar geen overdruk aanwezig was bij het begin van de drukdepletie. Groningen zou kunnen dienen als een geval, waarin zoutkruip in goede benadering geen invloed heeft op de tijdafhankelijkheid van de bodemdaling.

### Referenties

- [1] Wadden Sea Long term Subsidence Studies –Overview report (NAM)
- [2] Anomalous Pressure Diffusion in Heterogeneous Porous Media (Heriot-Watt University)
- [3] Derivation of a Scale Dependent Pressure Diffusion equation (NAM)
- [4] Mechanical characterization of Permian reservoir sandstone from the Moddergat-3 well in the Dutch Wadden Area, met appendix (Shell Rijswijk)
- [5] Geomechanical experiments on Ten Boer rock samples from well Moddergat-3 (Shell Rijswijk)
- [6] In-situ compaction measurements using gamma ray markers ( NAM)
- [7] Implications of Hypoplastic Compaction Laws on Subsidence Modeling (NAM)
- [8] Long-term subsidence study of the Ameland gas field: time-dependence induced by rocksalt flow  
(Rijksuniversiteit Utrecht)
- [9] Update of methodology of predicting gas- and aquifer pressures in the Waddenzee development area  
(NAM)
- [10] Subsidence and Compaction Volumes (NAM)
- [11] Research and Development Project for Geodetic Deformation Monitoring (TUD en NAM)
- [12] Description of GPS uncertainties within the Long Term Study on Anomalous Time Dependent Subsidence (National Oceanographic Centre – Liverpool)
- [13] A Bayesian framework for validating and comparing models for prediction of surface displacements due to reservoir compaction (Shell Rijswijk)

## **Bijlage 2**

### **Previously discussed items to be considered for incorporation in LTS phase II**

General remark: Results of the current geomechanical research regarding the Groningen gas field have to be taken into account

#### **Data Quality, Uncertainty and Statistics**

1. Selection of appropriate approach, how to discriminate between alternatives
2. Method for objective appraisal on input data and parameters for the subsidence modelling
3. Application to Ameland field case

#### **Constitutive Laws**

4. Assessment of the various constitutive laws i.r.t. the laboratory results
5. Assessment of the implications of discrete reservoir behaviour (including results from discrete element modelling)

#### **Validation and Testing**

6. Recommendation for "real time monitoring" procedure (including software) that provides a rapid measure of whether acceptable prediction measures have been exceeded

Additional items for consideration for LTS phase II identified during discussions between NAM, Waddenvereniging and SodM during September 2015

1. Release of all data and methods relevant for subsidence calculations including the pre-2004 pressure data for Ameland (Note: NAM will consider to release the data for other onshore production areas as well)
2. Derivation of subsidence and compaction directly from double difference height measurements in the field (between benchmarks)
3. Use of measured subsidence in reservoir simulation history matches
4. Brainstorm on best method for approach and functioning of a Technical Committee during the execution of LTS phase 2 (similar to what was done during the Harlingen study by Vermilion)
5. Problem analysis brainstorm session prior to the start of LTS phase 2
6. Consider implications of neglecting gravity and anisotropy in the present modelling
7. Brainstorm/discussion on the planned geomechanical laboratory measurements to be carried out on the new Groningen (Zeerijp) core
8. Use of Geertsma-van-Opstal vs Geertsma nucleus of strain solution vs other Green functions to relate reservoir compaction and surface subsidence including consequences for bowl shape
9. Implementation of the b-method of testing to test/compare geomechanical subsidence predictions against geodetical subsidence measurements