

**Gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en
Vierhuizen**
Resultaten uitvoering Meet- en regelcyclus 2011

NAM B.V.

<i>EP Document Nummer.:</i>	EP201203206219	<i>Owner:</i>	UIE/T/D
<i>Revision No.:</i>	1		
<i>Document Date:</i>	1/4/2012	<i>Security:</i>	

The copyright of this document is vested in Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V., Assen, The Netherlands. All rights reserved. Neither the whole, nor any part of this document may be reproduced, stored in any retrieval system or transmitted in any form or by any means (electronic, mechanical, reprographic, recording or otherwise) without the prior written consent of the copyright owner.

Samenvatting

Ten behoeve van de gaswinning vanaf de mijnbouwlocaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen heeft de minister van Economische Zaken in 2006 ingestemd met het winningsplan Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen (kenmerk: ET/EM/6047343 d.d. 26 juni 2006). In 2011 heeft de NAM een wijziging ingediend voor dit Winningsplan (wijziging winningsplan Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen), alsmede wijzigingen voor de winningsplannen Anjum en Ameland.

Als onderdeel van de voorschriften behorende bij het voornoemde winningsplan is een Meet- en regelprotocol opgesteld¹, waarmee de Inspecteur Generaal der Mijnen (IGM) heeft ingestemd bij brief van 2 februari 2007. NAM heeft in 2012 een wijziging van dit protocol plus de bijbehorende technische bijlage ingediend.

Op 5 februari 2007 is de gaswinning vanaf de locatie Moddergat uit de voorkomens Nes en Moddergat gestart. In juni 2008 is het voorkomen Vierhuizen in productie genomen terwijl de voorkomens Lauwersoog Oost en West in het vierde kwartaal van 2008 in productie zijn genomen.

Volgens het meetplan Waddenzee zijn in 2011 GPS metingen uitgevoerd op 14 peilmerken van de clusters in de kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag. De continue GPS metingen op de locaties boven de gasvelden Anjum en Moddergat, die respectievelijk in juni en december 2006 zijn gestart (nog voor aanvang van de productie in Nes en Moddergat), zijn in 2011 voortgezet.

Voor de wijziging van de winningsplannen in 2011 zijn de geologische modellen van de gasvelden Ameland, Ezumazijl, Vierhuizen, Anjum, Metslawier, Nes, Moddergat en Lauwersoog-C, -W en -O herzien en aangepast. Gedetailleerde dynamische reservoir simulatie modellen zijn opnieuw gebouwd en met de gemeten gasproductie, reservoirdrukgegevens en geodetische informatie gekalibreerd. Ook is de geomechanische modellering gewijzigd en opnieuw gekalibreerd. Kalibratie met de gemeten bodemdaling sinds de start van de productie in 1997 in Anjum is uitgevoerd voor het hele gebied, waarbij de metingen in de Waddenzee boven de velden Nes, Moddergat en Lauwersoog-C, -O en -W ook zijn meegenomen.

Gebaseerd op geologische en reservoirsimulatie analyses zijn naast het meest waarschijnlijk reservoirdruk depletie scenario (basis scenario) twee mogelijke extreme scenario's (laag en hoog) opgesteld. Met behulp van deze scenario's en de onzekerheid in de bodemdaling veroorzaakt door het Ameland-Oost voorkomen is de onzekerheid in de gemodelleerde bodemdaling in de Waddenzee bepaald.

In het lage scenario is er geen drukdaling in mogelijke watervoerende pakketten (immobiel water) en een hoge GIIP ("gas initially in place") aangenomen voor de Wadden voorkomens. Het basis scenario gaat ook uit van dezelfde aquifer situatie maar met de verwachte GIIP voor de Wadden voorkomens. Het hoge scenario gaat uit van drukdaling in de Nes en Moddergat aquifers en de verwachte GIIP voor de Wadden voorkomens. Een minimum bodemdalingsscenario in Pinkegat wordt verkregen wanneer het lage scenario van Ameland-Oost wordt gecombineerd met het lage scenario van de Wadden voorkomens. In het maximum scenario worden de twee hoge scenario's met elkaar gecombineerd.

¹ Meet- en regelprotocol Winning Waddenzeegas vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. Nederlandse Aardolie Maatschappij BV. EP200612202122.

Voor modellering van de bodemdaling veroorzaakt door de gasproductie van de Ameland voorkomens wordt het geomechanische bodemdalingsmodel volgens het gewijzigde winningsplan 2011 gebruikt. Dit geomechanisch model laat een goede passing zien tussen meting en model, zowel op het Ameland eiland als in de Waddenzee.

Samenvattend kan worden geconcludeerd:

- Volgens het meetplan Waddenzee zijn in 2011 GPS metingen uitgevoerd op 14 peilmerken van de clusters in de kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag.
- De continue GPS metingen op de locaties boven de gasvelden Anjum en Moddergat, die respectievelijk in juni en december 2006 zijn gestart (nog voor aanvang van de productie in Nes en Moddergat), zijn in 2011 voortgezet.
- Voor de modellering van de bodemdaling ten gevolge van de gas productie van de Ameland velden is in de rapportage uitgegaan van het geomechanische model dat is gebruikt voor het in 2011 ingediende winningsplan "wijziging winningsplan Ameland" (Referentie 7). Dit geomechanisch model laat een goede passing zien tussen meting en model, zowel op het Ameland eiland als in de Waddenzee en wordt in meer detail beschreven in Referentie 2.
- Naast het basis scenario zijn een minimum en maximum scenario doorgerekend. Deze scenario's houden rekening met de onzekerheid in zowel de bodemdaling voor de Wadden voorkomen als de bodemdaling boven de Ameland en Anjum voorkomens. Alle scenario's leiden tot bodemdalingssnelheden die binnen de gebruiksruimte blijven. Met een geplande totale gasproductie zoals aangegeven in het gewijzigde winningsplan Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen uit 2011, zal in het basis scenario de belasting inclusief relatieve zeespiegelstijging (actualisatie 2011) de gebruiksruimte van de kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag pas na 2035 overschrijden. In het hoge scenario zal dat omstreeks 2034 gebeuren.

Inhoud

1.	Inleiding	5
2.	Deelprocessen.....	6
2.1.	Metten (stap 1).....	6
	Vlakdekkende metingen.....	6
	Reservoir monitoring.....	6
2.2.	Analyseren meetgegevens (stap 2).....	6
	Kwaliteitscontrole en bodemdalingsberekening.....	6
	Resultaat bodemdalingsanalyse	7
	Waddenzee voorkomens.....	7
	Continue GPS metingen.....	7
2.3.	Verifiëren prognose (stap 3).....	7
	Kalibratie dynamisch reservoir simulatiemodellen nieuwe Waddenzeevelden.....	7
	Modellering bodemdaling	9
2.4.	Berekenen volume en gemiddelde daling (stap 4)	11
	Bepaling volume en gemiddelde daling	11
	Onzekerheid gemodelleerde bodemdaling.....	12
	Bodemdalingsvolume voor bepaling belasting rapportagejaar 2010 met onzekerheid	14
	Actuele en voorspelde bodemdalingssnelheid en belasting.....	15
2.5.	Indien nodig aanpassen productie (stap 5)	17
2.6.	Actualiseren (stap 6).....	17
	Bodemdaling GPS locaties op Moddergat en Ameland	19
3.	Kwaliteitsborging.....	22
4.	Conclusies.....	23
5.	Referenties.....	24
	Bijlage 1. Gemodelleerde en gemeten bodemdaling 2010.....	25

1. Inleiding

Voor het jaar 2011 is een Meet- en regelcyclus uitgevoerd zoals beschreven in het Meet- en regelprotocol. Dit document bevat een beschrijving van de resultaten van de 6 deelprocessen van de Meet- en regelcyclus. De volgende tabellen en figuren zijn, zoals in het Protocol beschreven, in deze rapportage opgenomen:

1. Twee figuren met de contouren van de gemodelleerde bodemdaling door gaswinning in combinatie met de op peilmerken uit hoogteverschilmetingen berekende bodemdaling. (Figuur 1 en Figuur 2).
2. Tabellen met de jaarlijkse toename van het bodemdalingsvolume (inclusief onzekerheid) per voorkomen per kombergingsgebied voor de jaren 2007 t/m 2014 (Tabel 2.3 en Tabel 2.4).
3. Een tabel met de bodemdalingssnelheid (per jaar; S) en belasting (gemiddelde bodemdalingssnelheid per 6 jaar; B) per kombergingsgebied (Zoutkamperlaag en Pinkegat) tot 2042 (Tabel 2.6)
De in een bepaald jaar gerapporteerde belasting B wordt berekend voor de situatie op 1 januari van dat jaar. Voor de rapportage in 2012 (over het jaar 2011) wordt op deze manier een B voor 1 januari 2012 berekend.
4. Grafieken met de bodemdalingsbelasting voor de kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag vanaf start productie op de locatie Moddergat tot 2042 (Figuur 3 & Figuur 4) .
5. Voor de voorkomens in het winningsplan Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen:
 - Drukdata per put op reservoirniveau en productie data van het rapportagejaar (Tabel 2.1).
 - Geplande productie per voorkomen (jaarprofiel; Tabel 2.7).
6. Gemeten en geprognoseerde bodemdaling op de permanente GPS locaties (Ameland, Moddergat en Anjum), inclusief onzekerheid (Figuur 7, Figuur 8, Figuur 9)

N.B. In de grafieken van de belasting per kombergingsgebied wordt de verwachte zeespiegelstijging getoond. In 2011 is door KNMI /TNO een nieuwe prognose opgesteld en overgenomen door de minister in 2012. Met de gewijzigde prognose voor de zeespiegelstijging is c.q. wordt in het vervolg rekening gehouden bij de bepaling van (G).

2. Deelprocessen

Op basis van verzamelde data uit 2011 is opnieuw een Meet- en regelcyclus doorlopen. Bij de uitvoering van deze Meet- en regelcyclus worden de volgende 6 deelprocessen uitgevoerd: 1. meten, 2. analyseren meetgegevens, 3. verifiëren prognose, 4. berekenen volume en gemiddelde daling, 5. indien nodig aanpassen productie en 6. actualiseren. Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van deze 6 deelprocessen voor het rapportagejaar 2011.

2.1. Meten (stap 1)

Vlakdekkende metingen.

Op basis van het in 2010 ingediende meetplan Waddenzee zijn in 2011 GPS metingen in de Waddenzee uitgevoerd. De GPS metingen op het Wad zijn in Referentie 4 beschreven. De resultaten van de permanente GPS metingen zijn maandelijks aan SodM gerapporteerd.

Reservoir monitoring.

In 2011 hebben er geen drukmetingen plaatsgevonden. Tabel 2.1 toont de cumulatieve gasproductie per voorkomen op 31 december 2011.

Velden	Cumulatieve productie (10^6 m^3)	Productie volgens 2011 winningsplan in 2011 (10^6 m^3)	Gemeten productie in 2011 (10^6 m^3)
Nes	3121	750	989
Moddergat	2146	504	520
Lauersoog-C	-	-	-
Lauersoog-West	755	135	186
Lauersoog-Oost	921	259	313
Vierhuizen-Oost	958	357	189
Totaal	7901	2005	2197

Tabel 2.1 Cumulatieve productie per voorkomen tot 31/12/2011

2.2. Analyseren meetgegevens (stap 2)

Kwaliteitscontrole en bodemdalingsberekening

De GPS metingen zijn volgens de in Referentie 4 beschreven GNSMART methodiek geanalyseerd. Hierbij wordt een zestal permanente stations als vaste (statische) referentie gebruikt. De coördinaten van deze stations zijn voorafgaand aan de 2011 campagne in een aparte analyse over een periode van zes weken bepaald. De lange termijn beweging van deze stations net zo als de invloed van geconstateerde relatieve bewegingen op de hoogten van de monitoringstations is onderzocht in Referenties 5

Resultaat bodemdalingsanalyse

Waddenzee voorkomens.

De met GPS bepaalde hoogteverschillen zijn met behulp van het NLGEO2004 geoidemodel van ellipsoidische naar orthometrische hoogteverschillen geconverteerd (Referentie 4). Vanwege het verschil in meetmethode tijdens de nulmeting (waterpassing/hydrostatisch) en de 2011 herhalingsmeting (GPS) staan de peilmerkbewegingen met referentiejaar 1986 (Figuur 1) gedeeltelijk onder invloed van de onzekerheid van dit geoidemodel. De peilmerkbewegingen uit hebben hier geen last van, omdat analyse van de nulmeting (2006) en de herhalingsmeting (2011) volgens dezelfde methodiek is uitgevoerd.

Voor de interpretatie van Figuur 2 moet voor de in 2006 door NAM nieuw geplaatste waddenpeilmerken rekening gehouden worden met de in 2008 geconstateerde relatieve instabiliteit van deze peilmerken (hypothese uit M&R rapport 2008, initiële gemiddelde zetting van de NAM peilmerken van gemiddeld 5mm). Uit het in 2008 en 2009 uitgevoerd stabiliteitsonderzoek blijkt:

- de relatieve stabiliteit van de peilmerken voor de periode 2008-09 is gemiddeld 0,4mm (voor de periode 2006-2008: 5mm).
- de tussen 2008 en 2009 geconstateerde relatieve peilmerkbewegingen per cluster vallen grotendeels binnen de meetruis.

Terwijl de uitkomsten van de vastgestelde gegevens op een systematisch, eenzijdig effect (zakking) t.o.v. een bestaand, stabiel referentievlak duiden, is op grond van de lage magnitude van het effect de initiële peilmerkbeweging op de NAM clusters voor het gemak als een Gaussische (normaalverdeelde) foutenbron behandeld (met uitzondering van de 4 cm afwijking op M008).

Continue GPS metingen

Als onderdeel van het Meet- en regel protocol worden continue GPS metingen uitgevoerd op de locaties AME en Moddergat. Daarnaast heeft NAM ook een (tijdelijke) continue GPS meetinstallatie geïnstalleerd op de locatie Anjum. Deze metingen hebben een signaalfunctie voor het bepalen van de noodzaak voor aanvullende vlakdekkende metingen.

Tabel 2.2 geeft de analyse van de continue GPS metingen op de locaties AME, Moddergat en Anjum. De onzekerheden zijn bepaald m.b.v. de methode beschreven in Referentie 4. De bodemdaling in tijd wordt in de Figuur 7, Figuur 8 en Figuur 9 getoond.

Locatie	Absolute daling van 05/02/07 t/m 31/12/2011 [mm]	Gem. snelh. vanaf 01/01/11 (1 jaar) [mm/jaar]
Ameland	33	7.4 [1 σ = 0.6 mm/jaar]
Moddergat	10	2.8 [1 σ = 0.6 mm/jaar]
Anjum	18	2.8 [1 σ = 0.7 mm/jaar]

Tabel 2.2 Gemeten daling en dalingssnelheid op de locaties m.b.v. continue GPS metingen

2.3. Verifiëren prognose (stap 3)

Kalibratie dynamisch reservoir simulatiemodellen nieuwe Waddenzeevelden

Oorspronkelijk is de dynamische modellering van de Wadden voorkomens uitgevoerd met behulp van een twee dimensionaal (droog gas) model. Gebruikmakend van het

driedimensionale reservoir simulatie model van het analoge gasveld Anjum werd een analytische techniek toegepast om de drukdaling in de aquifers te simuleren. Voor de velden Nes en Moddergat waren reeds meer gedetailleerde drie dimensionale (meerfase) reservoir simulatie modellen geconstrueerd. In 2009-2010 heeft er een herinterpretatie plaatsgevonden van de seismiek en zijn naast bovengenoemde Waddenzeevelden ook voor de velden Ameland, Anjum en Metslawier nieuwe geologische modellen opgezet. Voor alle velden is nu voldoende productie en druk data beschikbaar om zinvolle gedetailleerde 3 dimensionale dynamische modellen van de reservoirs te genereren en deze te kalibreren.

Deze reservoir simulatie modellen zijn gebaseerd op het gedetailleerd heterogeen geologisch model waarin veel aandacht is besteed aan parameters die een effect hebben op bodemdaling. Het geologische model beschrijft de distributie van reservoir eigenschappen zoals geobserveerd in de putten.

De dynamische modellen zijn gebruikt voor een gedetailleerde onzekerheid analyse (een zogenaamd experimenteel ontwerpmethod). Met behulp van de experimenteel ontwerpmethod worden gericht een aantal parameters in het model gevarieerd. Hierdoor wordt inzicht verkregen in het effect van deze parameters en combinatie van deze parameters op bijvoorbeeld bodemdaling. Voorbeelden van deze parameters zijn onder andere: porositeit (volume), permeabiliteit, capillaire druk (effect op water en gassaturatie), grootte en sterkte van de watervoerende laag.

In combinatie met de gemeten data is deze methode gebruikt om uit te zoeken welke combinaties van parameters mogelijk zijn en welke niet. Op basis hiervan zijn een aantal scenario's gekozen die waarschijnlijk worden geacht en goed overeenkomen met alle meetgegevens. De gebruikte meetgegevens zijn onder andere: dagelijkse gas en water productie, putmondruk en drukdata op reservoir niveau gemeten tijdens putttesten (SPG en FBU). De putmondruk is gebruikt om de druk op reservoir niveau te berekenen tijdens de productie.

De geconstrueerde 3 dimensionale reservoir simulatie modellen zijn een significante verbetering ten opzichte van voorgaande modellen aangezien hiermee ook de drukdaling van de watervoerende laag beter kan worden gesimuleerd. De hoeveelheid drukdaling in de aangrenzende watervoerende pakketten wordt voornamelijk begrensd door geodetische informatie. Deze informatie toont aan dat er niet of nauwelijks drukdaling plaats vindt in deze pakketten. De goede overeenkomst met de gemeten data geeft vertrouwen dat deze modellen realistisch zijn en een goede basis zijn voor voorspellingen van de reservoirdruk daling die de basis is voor de modellering van opgetreden en toekomstige bodemdaling.

De resultaten voor de drie dynamische modellen worden hieronder kort beschreven.

Anjum en Metslawier

Het dynamische model geeft een goede passing met de gemeten data. Vanwege de lange productie geschiedenis, resulterend in een uitgebreide hoeveelheid gemeten data, is de onzekerheid in de gasvolumes en toegepaste veldparameters relatief klein.

Nes en Moddergat

Voor Moddergat blijkt dat er alleen een goede overeenkomst met gemeten data gemaakt kan worden door middel van een oost-west breuk die geen of nauwelijks communicatie tussen het noordelijk en zuidelijke blok toestaat. Aangezien het veld Moddergat wordt

geproduceerd via het noordelijk blok (via put MGT-1B, Moddergat veld), houdt dit in dat het zuidelijk deel van het veld veel minder in druk is gedaald.

De resultaten van het reservoir simulatiemodel van de velden Nes en Moddergat geven zeer goede overeenkomst met de gemeten data. De range in gasvolume bedraagt voor Nes $17 - 22 \cdot 10^9 \text{ m}^3$, voor Moddergat is de range $7 - 10 \cdot 10^9 \text{ m}^3$.

Voor Moddergat is er een high GIIP scenario gebruikt om de low case subsidence te analyseren deze high GIIP case wordt voornamelijk gevormd door de high case voor de diepte kaart en heeft een GIIP van $23 \cdot 10^9 \text{ m}^3$

Gezien de jonge levensfase voor deze velden kan niet met zekerheid worden bepaald of de watervoerende pakketten rondom deze velden gaan depletieren. Deze onzekerheid wordt ondervangen d.m.v. scenario's. Het hoge scenario gaat ervan uit dat de watervoerende pakketten meedepletieren.

Lauwersoog -West en -Oost.

Ook voor de velden Lauwersoog -W en -O komen de resultaten van het reservoir simulatie (dynamische) model zeer goed overeen met de gemeten data. Op basis van de resultaten van het dynamisch model is het contrast tussen lage en hoge permeabiliteit lagen in het geologisch model vergroot. Dit is geverifieerd en in lijn met een ondergrondse productie instroom meting (PLT) in put LWO-3.

De gasvolumes in het reservoir worden gezien als de parameters die het meeste effect hebben op bodemdaling. Realisaties met respectievelijk relatief hoge en lage GIIP worden mogelijk geacht en zijn daarom doorgerekend voor het maken van voorspellingen. Voor Lauwersoog Oost is deze range in gasvolume $5,5 - 10 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ en voor Lauwersoog West is de range $3,6 - 4,2 \cdot 10^9 \text{ m}^3$.

Voor Lauwersoog Oost is er een high GIIP scenario gebruikt om een low case subsidence te analyseren deze high GIIP case wordt hoofdzakelijk gevormd door de high case voor de diepte kaart en heeft een GIIP van $24 \cdot 10^9 \text{ m}^3$

Vierhuizen Oost

Voor Vierhuizen Oost zijn er nog geen drukdata op reservoir niveau gemeten. Met gebruik van de voorhanden zijnde data is er een goede match bereikt in het driedimensionale reservoir model. Het statische GIIP volume is $1,96 \cdot 10^9 \text{ m}^3$. Voor het dynamische modelleren is er uitgegaan van $1,39 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ wat een zoals gezegd goede "history-match" geeft.

Modellering bodemdaling

De bodemdaling is uitgevoerd zoals beschreven in Referentie 2.

De belangrijkste aanpassingen zijn:

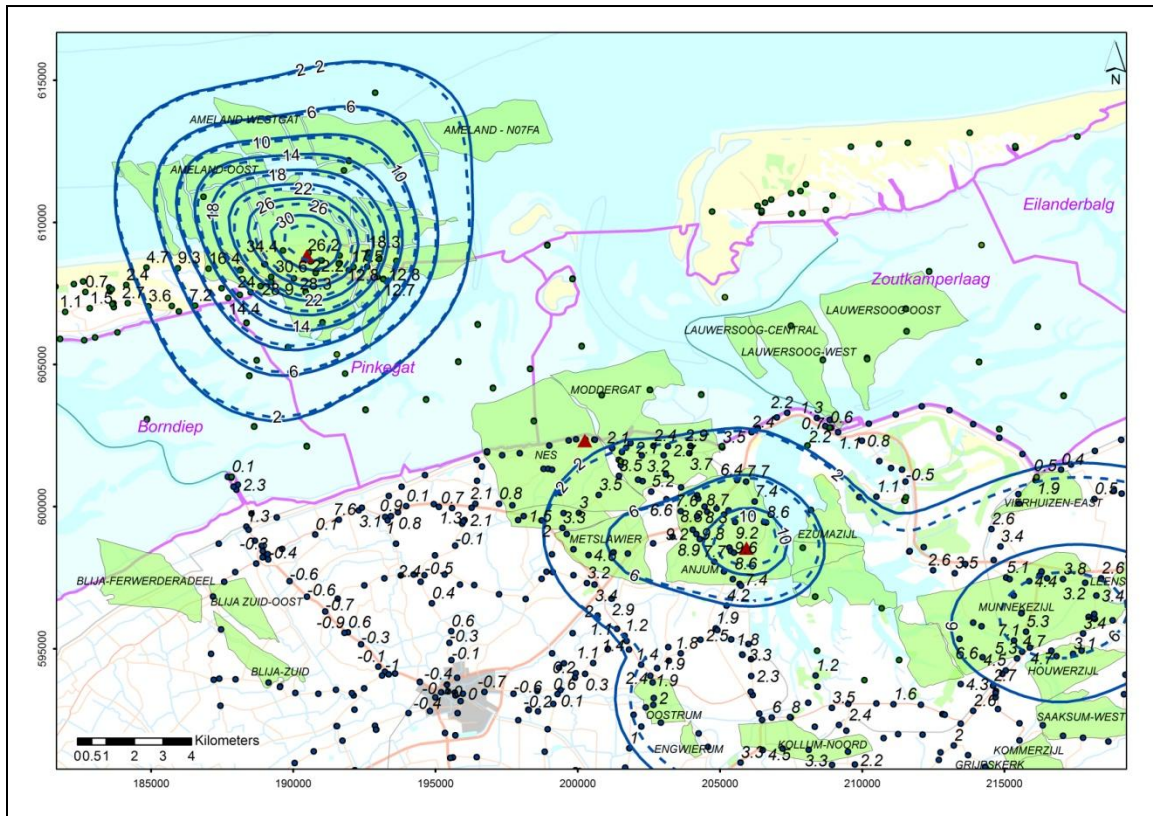
- actualisering van het geologische en dynamische reservoir model van het gebied.
- het inbrengen van een op diffusie gebaseerd compactiemechanisme voor het reservoir.
- het inbrengen van een kruip mechanisme in de steenzout laag boven het reservoir.

Alle bodemdalingberekeningen zijn uitgevoerd met het eindige elementen programma "Geomec", een Shell applicatie die gebaseerd is op DIANA (<http://tnodiana.com/>). Meer

informatie over de gewijzigde geomechanische modellen is terug te vinden in Referentie 2.

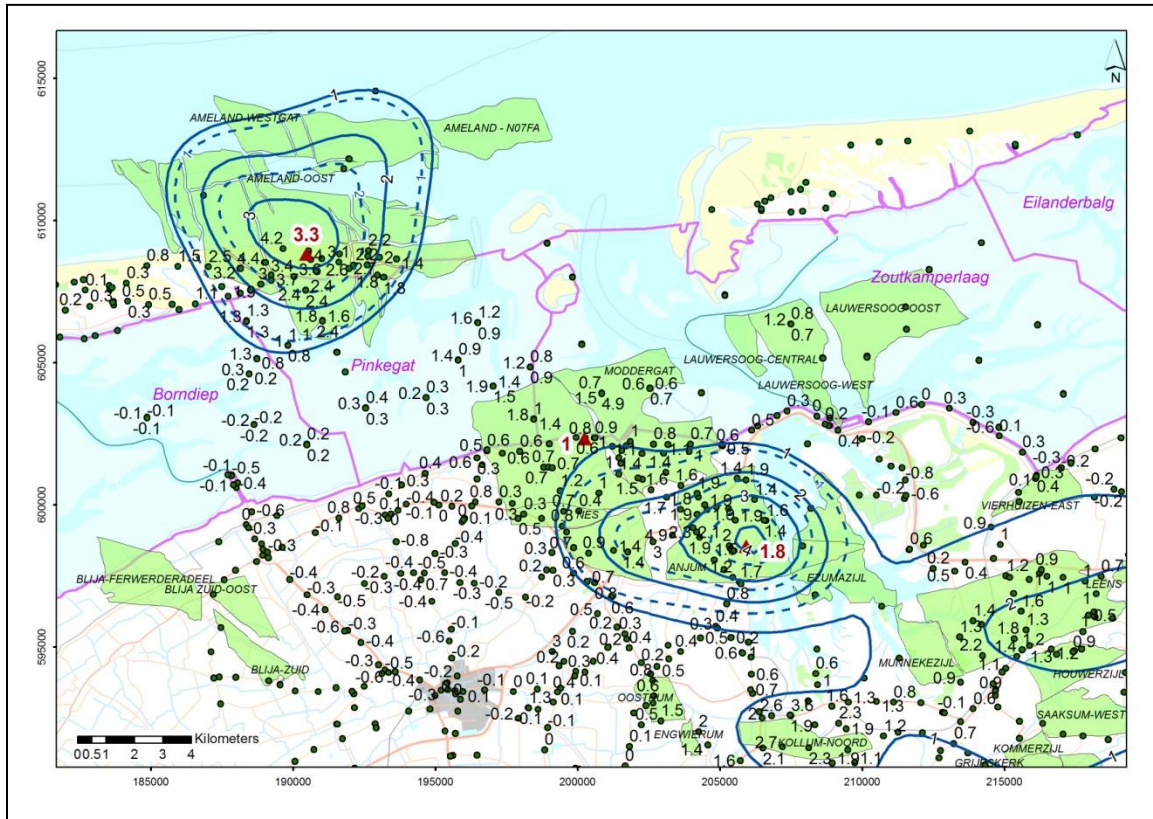
Figuur 1 toont de resultaten van de metingen uit 2011 als bodemdaling op de peilmerken in vergelijking met de contouren van de gemodelleerde bodemdaling.

De contouren weergegeven met een doorgetrokken lijn geven de bodemdaling weer die is gemodelleerd met de nieuwe parameters en modellen terwijl als vergelijking de contouren met de gestreepte lijn de gemodelleerde bodemdaling voor 2010 weergeven met de parameters en modellen zoals toegepast in de Meet- en regelrapportage van 2010 (Referentie 3).



Figuur 1 Totale bodemdaling door gaswinning t/m 2011 (sinds start productie). In blauw de contouren van de gemodelleerde bodemdaling (gestreepte contouren geven de bodemdaling zoals beschreven in de M&R 2010). De punten met label representeren de peilmerken met in 2011 gemeten hoogteverschillen sinds start productie. Boven de gasvelden Ameland-Oost, Nes/Moddergat en Anjum zijn op 3 posities continue GPS metingen uitgevoerd (rode driehoek). Bodemdaling in cm.

Figuur 2 toont de gemeten en gemodelleerde daling in 2011 sinds de nulmetingen van 2006. De contouren weergegeven met een doorgetrokken lijn geven de bodemdaling weer die is gemodelleerd met de nieuwe parameters en modellen terwijl als vergelijking de contouren met de gestreepte lijn de gemodelleerde bodemdaling voor 2010 weergegeven met de parameters en modellen zoals toegepast in de Meet- en regelrapportage van 2010.



Figuur 2 Totale bodemdaling door gaswinning in 2011 sinds nulmetingen in 2006. In blauw de contouren van de gemodelleerde bodemdaling volgens de aangepaste/gekalibreerde geomechanische modellen (gestreepte contouren geven de bodemdaling weer zoals getoond in de M&R 2010). De punten met label representeren de peilmerken met in 2011 gemeten hoogteverschillen sinds start productie van de waddenvelden in 2006. Bodemdaling in cm.

Voor de leesbaarheid zijn beide figuren in A4 formaat in bijlage 1 getoond.

2.4. Berekenen volume en gemiddelde daling (stap 4)

Bepaling volume en gemiddelde daling

Met behulp van de gekalibreerde geomechanische modellen zijn zowel het reeds opgetreden dalingsvolume in de betreffende kombergingsgebieden als de nog in de toekomst te verwachten jaarlijkse toename daarvan bepaald. Door de jaarlijkse volumetoename te delen door het kombergingsoppervlak wordt de gemiddelde bodemdalingssnelheid (mm/jr) per kombergingsgebied S (met bijbehorende onzekerheid) berekend.

Als basis voor de kombergingsgrenzen gelden de GIS bestanden van de grenzen van de kombergingsgebieden, die door RIKZ aan NAM zijn geleverd. Deze grenzen zijn door RIKZ voor de Bodemdalingstudie Waddenzee 2004 toegepast (Referentie 1). Hierbij zijn de oppervlakten voor respectievelijk de kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag $60 \times 10^6 \text{ m}^2$ en $148 \times 10^6 \text{ m}^2$.

Uit de gemiddelde bodemdalingssnelheid S wordt de belasting B , d.w.z. de bodemdalingssnelheid gemiddeld over 6 jaar, bepaald. De in een bepaald jaar gerapporteerde waarde van de belasting B geldt op 1 januari van dat jaar en is het zesjaarlijks gemiddelde over de periode die zich uitstrekt van drie jaar daarvoor tot drie jaar daarna.

Onzekerheid gemodelleerde bodemdaling.

Gebaseerd op geologische en reservoir simulatie analyses zijn voor de Wadden voorkomens de volgende mogelijke reservoirdruk depletie scenario's opgesteld:

- Basis scenario, hierbij bevatten de voorkomens de meest waarschijnlijke GIIP en is het water niet mobiel, dat wil zeggen geen drukdaling in de watervoerende lagen.
- Laag scenario, hierbij bevatten de voorkomens de hoge GIIP en is het water niet mobiel. Het productieprofiel is het hetzelfde als het profiel dat gebruikt is in het basis scenario. Door de hogere GIIP zal echter de bodemdalingssnelheid lager zijn.
- Hoog scenario, uitgangspunt van dit scenario is het basisscenario (verwachte GIIP), maar voor de voorkomens Nes en Moddergat depletieren de watervoerende lagen.

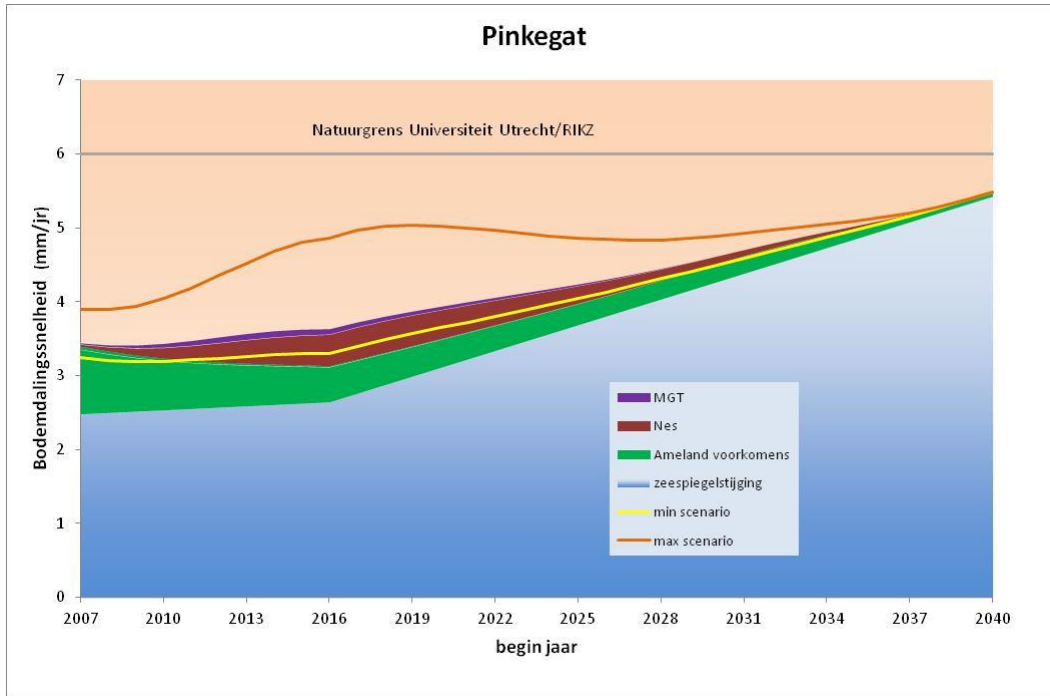
Voor elk van deze mogelijk reservoirdruk depletie scenario's kon een acceptabele reservoir simulatie kalibratie worden verkregen met de gemeten reservoirdrukken en gas- en waterproductie sinds de start van de gas productie van de betreffende gasvelden.

De geomechanische parameters zijn voor alle scenario's constant gehouden. Er is een vaste relatie gebruikt voor de C_m als functie van de porositeit, die gebaseerd is op een polynoom regressie van de op kernmonsters gemeten C_m en porositeit.

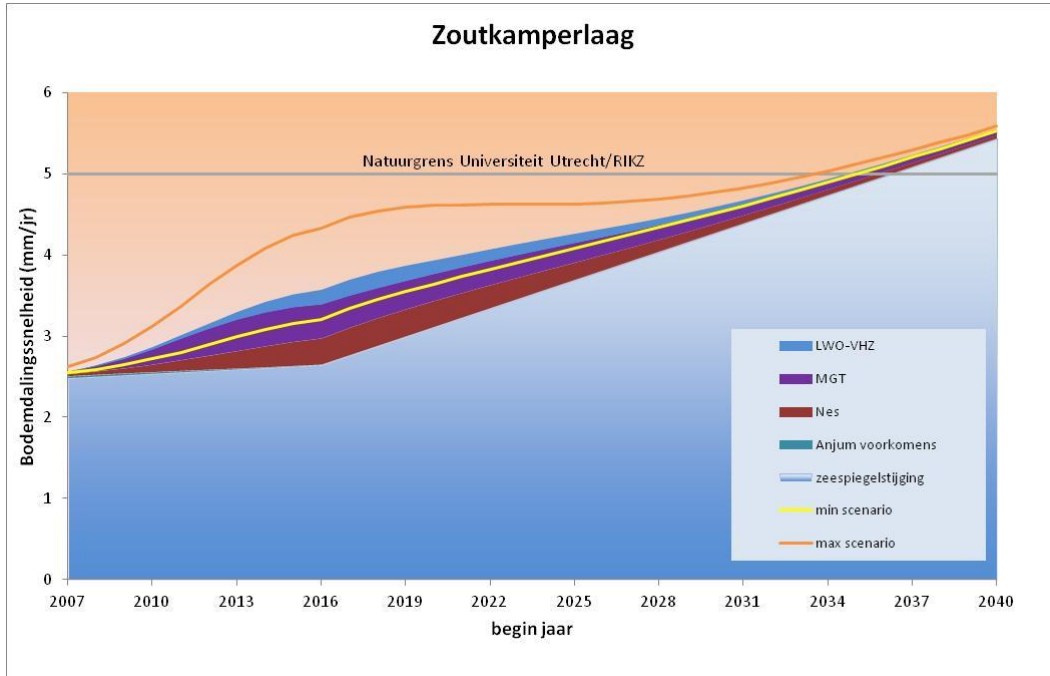
Ook voor de Ameland voorkomens is, naast het verwachte scenario, een hoog en laag scenario gedefinieerd (zie Referentie 7). De combinatie van het hoog scenario voor Ameland met het hoge scenario voor de Wadden voorkomens geeft het maximum scenario voor de bodemdaling in met name Pinkegat. Het minimum scenario gaat uit van een combinatie van de lage scenario's.

De bodemdalingssnelheid voor deze scenario's is getoond in Figuur 3 en Figuur 4.

Gezien de relatief kleine bodemdalingsvolumes en hiervan afgeleide bodemdalingssnelheden van de velden Lauwersoog-C, Lauwersoog-West, Lauwersoog-Oost en Vierhuizen (in verhouding tot Nes en Moddergat) zijn deze vier velden in desbetreffende figuren en tabellen samengevoegd als LWO-VHZ. In de modelberekeningen zijn deze velden wel afzonderlijk meegenomen.



Figuur 3 Voorspelde belasting voor het basis scenario voor het kombergingsgebied Pinkegat. Minimum en maximum scenario's zijn als lijnen weergegeven.



Figuur 4 Voorspelde belasting voor het basis scenario voor het kombergingsgebied Zoutkamperlaag. Minimum en maximum scenario's zijn als lijnen weergegeven.

Voor de berekening van de verwachte bodemdaling in de toekomst en het bijbehorende volume en bodemdalingssnelheden is uitgegaan van het basis scenario. Om de

onzekerheid voor de volumes en bodemdalingssnelheden te bepalen is gebruik gemaakt van het hoge en lage scenario. Deze onzekerheid is gerapporteerd in de Tabel 2.3 t/m Tabel 2.6.

Bodemdalingsvolume voor bepaling belasting rapportagejaar 2010 met onzekerheid

Tabel 2.3 en Tabel 2.4 tonen de door gaswinning veroorzaakte bodemdalingsvolumina met bijbehorende onzekerheid per voorkomen voor de jaren J-3 t/m J+2 waarbij J-1 het rapportagejaar (2011) is. Voor de volledigheid zijn ook de resultaten voor het jaar 2007 en 2008 getoond. De volgende afkortingen voor de voorkomens zijn gebruikt in de tabellen:

NES: Nes
 MGT: Moddergat
 LWO-VHZ: combinatie van de velden Lauwersoog-C, Lauwersoog-West, Lauwersoog-Oost en Vierhuizen-Oost

Pinkegat			
	Ameland voorkomens	NES	MGT
Jaar	volume(onzekerheid)	volume(onzekerheid)	volume(onzekerheid)
2007	50 (40 - 73)	1 (0 - 2)	1 (0 - 1)
2008	45 (36 - 67)	2 (1 - 10)	2 (1 - 2)
2009	41 (32 - 61)	6 (3 - 19)	2 (1 - 2)
2010	38 (30 - 57)	11 (5 - 26)	3 (1 - 6)
2011	36 (28 - 54)	13 (8 - 36)	5 (1 - 8)
2012	35 (27 - 51)	17 (10 - 51)	5 (2 - 8)
2013	33 (25 - 49)	21 (12 - 65)	5 (3 - 8)
2014	31 (24 - 46)	24 (16 - 77)	5 (3 - 8)

Tabel 2.3 Jaarlijks bodemdalingsvolume in Pinkegat voor Ameland en Anjum voorkomens en voor de Wadden voorkomens met tussen haakjes de bandbreedte tussen de hoge en lage scenario's (onzekerheid). Volumina en bandbreedte (onzekerheid) in duizend m3.

Zoutkamperlaag				
Jaar	Anjum voorkomens	NES	MGT	LWO-VHZ
2007	3 (3 - 4)	1 (0 - 2)	1 (0 - 2)	
2008	3 (3 - 4)	8 (6 - 14)	11 (6 - 20)	3 (2 - 6)
2009	3 (3 - 4)	12 (6 - 24)	16 (8 - 29)	5 (3 - 6)
2010	2 (2 - 3)	14 (8 - 26)	34 (16 - 60)	6 (3 - 9)
2011	2 (2 - 2)	18 (12 - 32)	48 (23 - 88)	8 (4 - 12)
2012	1 (1 - 2)	27 (16 - 57)	62 (34 - 114)	9 (4 - 11)
2013	1 (1 - 1)	36 (19 - 79)	70 (41 - 128)	11 (6 - 13)
2014	0 (0 - 0)	44 (21 - 90)	71 (38 - 129)	17 (14 - 23)

Tabel 2.4 Jaarlijks bodemdalingsvolume Zoutkamperlaag voor de Anjum voorkomens en voor de Wadden voorkomens met tussen haakjes de bandbreedte tussen het hoge en lage scenario (onzekerheid). Volumina en bandbreedte (onzekerheid) in duizend m3.

Het effect ten gevolge van de productie van Ameland op de bodemdaling in het kombergingsgebied Zoutkamperlaag is verwaarloosbaar.

Onderstaande Tabel 2.5 geeft de bodemdalingssnelheid S voor het rapportagejaar 2011 en belasting B op 1-1-2012. De onzekerheidsbandbreedte wordt gegeven door de combinatie van hoge en lage scenario's die gedefinieerd zijn voor de verschillende voorkomens.

Zoutkamperlaag		Pinkegat	
S (onzekerheid)	B (onzekerheid)	S (onzekerheid)	B (onzekerheid)
0,51(0,28 - 0,91)	0,58(0,32 - 1,06)	0,92(0,64 - 1,62)	0,94(0,65 - 1,76)

Tabel 2.5 Bodemdalingssnelheid en belasting (mm/jr) met onzekerheid (bandbreedte) per kombergingsgebied in het rapportagejaar 2011.

Actuele en voorspelde bodemdalingssnelheid en belasting

Tabel 2.6 toont de prognose van de bodemdalingssnelheid per kombergingsgebied per jaar (S) ten gevolge van de gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen in combinatie met de bodemdalingssnelheid door de reeds voor 2007 gestarte gaswinning in dit gebied. Ook is de op basis van deze waarden berekende belasting B weergegeven, waarbij $B(J) = (S(J-3) + S(J-2) + \dots + S(J+2)) / 6$.

Jaar	Zoutkamperlaag		Pinkegat		Gebruiksruimte G	
	S (onzekerheid)	B (onzekerheid)	S (onzekerheid)	B (onzekerheid)	Zoutkamp erlaag	Pinkegat
2004	0,02(0,02 - 0,02)		1,13(0,91 - 1,59)		2.57	3.57
2005	0,02(0,02 - 0,02)		1,03(0,83 - 1,46)		2.55	3.55
2006	0,02(0,02 - 0,03)		0,94(0,78 - 1,36)		2.53	3.53
2007	0,03(0,03 - 0,05)	0,08(0,06 - 0,14)	0,89(0,69 - 1,28)	0,95(0,75 - 1,40)	2.52	3.52
2008	0,17(0,15 - 0,27)	0,14(0,09 - 0,24)	0,86(0,65 - 1,32)	0,91(0,70 - 1,38)	2.50	3.50
2009	0,25(0,13 - 0,43)	0,23(0,13 - 0,39)	0,86(0,63 - 1,37)	0,89(0,67 - 1,40)	2.48	3.48
2010	0,38(0,20 - 0,66)	0,33(0,19 - 0,59)	0,88(0,62 - 1,48)	0,89(0,65 - 1,48)	2.46	3.46
2011	0,51(0,28 - 0,91)	0,46(0,27 - 0,83)	0,92(0,64 - 1,62)	0,91(0,65 - 1,61)	2.44	3.44
2012	0,67(0,38 - 1,24)	0,58(0,32 - 1,06)	0,96(0,66 - 1,83)	0,94(0,65 - 1,76)	2.43	3.43
2013	0,80(0,45 - 1,50)	0,71(0,40 - 1,29)	1,00(0,67 - 2,03)	0,96(0,66 - 1,91)	2.41	3.41
2014	0,90(0,49 - 1,64)	0,82(0,47 - 1,48)	1,02(0,68 - 2,19)	0,98(0,66 - 2,05)	2.39	3.39
2015	1,00(0,58 - 1,77)	0,89(0,52 - 1,62)	1,02(0,67 - 2,30)	0,99(0,66 - 2,15)	2.37	3.37
2016	1,02(0,64 - 1,82)	0,93(0,56 - 1,69)	1,00(0,65 - 2,31)	0,98(0,65 - 2,19)	2.35	3.35
2017	0,94(0,59 - 1,74)	0,93(0,57 - 1,70)	0,95(0,62 - 2,23)	0,95(0,63 - 2,18)	2.24	3.24
2018	0,89(0,57 - 1,68)	0,92(0,58 - 1,67)	0,90(0,59 - 2,11)	0,92(0,60 - 2,12)	2.12	3.12
2019	0,85(0,55 - 1,56)	0,88(0,56 - 1,60)	0,85(0,55 - 1,98)	0,87(0,57 - 2,02)	2.01	3.01
2020	0,80(0,52 - 1,43)	0,83(0,53 - 1,50)	0,80(0,51 - 1,83)	0,82(0,53 - 1,89)	1.89	2.89
2021	0,76(0,50 - 1,34)	0,78(0,51 - 1,40)	0,74(0,47 - 1,68)	0,77(0,49 - 1,75)	1.77	2.77
2022	0,71(0,47 - 1,24)	0,73(0,48 - 1,28)	0,69(0,44 - 1,53)	0,71(0,46 - 1,60)	1.66	2.66
2023	0,66(0,44 - 1,12)	0,68(0,45 - 1,17)	0,63(0,40 - 1,38)	0,66(0,42 - 1,45)	1.54	2.54
2024	0,60(0,41 - 0,99)	0,63(0,42 - 1,06)	0,57(0,37 - 1,22)	0,60(0,39 - 1,30)	1.43	2.43
2025	0,54(0,37 - 0,87)	0,57(0,39 - 0,95)	0,51(0,33 - 1,07)	0,55(0,35 - 1,16)	1.31	2.31
2026	0,48(0,34 - 0,77)	0,52(0,36 - 0,84)	0,46(0,30 - 0,93)	0,50(0,32 - 1,02)	1.19	2.19
2027	0,43(0,31 - 0,68)	0,46(0,33 - 0,74)	0,42(0,28 - 0,81)	0,45(0,29 - 0,90)	1.08	2.08
2028	0,38(0,28 - 0,60)	0,41(0,30 - 0,65)	0,38(0,25 - 0,71)	0,41(0,27 - 0,79)	0.96	1.96
2029	0,34(0,25 - 0,52)	0,36(0,27 - 0,57)	0,35(0,23 - 0,63)	0,38(0,25 - 0,69)	0.85	1.85
2030	0,29(0,22 - 0,46)	0,32(0,24 - 0,50)	0,33(0,22 - 0,56)	0,34(0,23 - 0,61)	0.73	1.73
2031	0,26(0,20 - 0,40)	0,28(0,22 - 0,44)	0,31(0,20 - 0,50)	0,31(0,21 - 0,53)	0.61	1.61
2032	0,23(0,18 - 0,35)	0,25(0,20 - 0,39)	0,27(0,18 - 0,43)	0,28(0,19 - 0,46)	0.50	1.50
2033	0,20(0,17 - 0,31)	0,22(0,18 - 0,34)	0,23(0,16 - 0,35)	0,24(0,16 - 0,38)	0.38	1.38
2034	0,18(0,15 - 0,27)	0,20(0,16 - 0,30)	0,18(0,13 - 0,27)	0,20(0,14 - 0,31)	0.27	1.27
2035	0,16(0,14 - 0,24)	0,18(0,15 - 0,26)	0,13(0,10 - 0,18)	0,16(0,12 - 0,23)	0.15	1.15
2036	0,15(0,12 - 0,21)	0,16(0,13 - 0,23)	0,09(0,08 - 0,12)	0,12(0,10 - 0,17)	0.03	1.03
2037	0,13(0,11 - 0,19)	0,14(0,12 - 0,21)	0,06(0,06 - 0,07)	0,09(0,08 - 0,12)	0.00	0.92
2038	0,12(0,10 - 0,17)	0,13(0,11 - 0,19)	0,04(0,04 - 0,05)	0,07(0,07 - 0,08)	0.00	0.80
2039	0,11(0,10 - 0,16)	0,12(0,10 - 0,17)	0,04(0,04 - 0,05)	0,05(0,05 - 0,06)	0.00	0.69
2040	0,10(0,09 - 0,14)	0,11(0,09 - 0,15)	0,05(0,04 - 0,05)	0,05(0,05 - 0,05)	0.00	0.57
2041	0,10(0,08 - 0,13)	0,10(0,09 - 0,14)	0,05(0,05 - 0,05)	0,05(0,05 - 0,05)	0.00	0.45
2042	0,09(0,08 - 0,12)	0,09(0,08 - 0,13)	0,06(0,05 - 0,06)	0,05(0,05 - 0,05)	0.00	0.34

Tabel 2.6 bodemdalingssnelheid (onzekerheid), belasting en gebruiksruimte voor de kombergingsgebieden Zoutkamperlaag en Pinkegat (mm/jaar) op basis van het productie profiel volgens Tabel 2.7 en inclusief de bodemdalingssnelheid veroorzaakt door de Anjum en Ameland-Oost voorkomens.

2.5. Indien nodig aanpassen productie (stap 5)

Tabel 2.7 toont de jaarlijkse productie (miljoen m³) per voorkomen. Totale productie is overeenkomstig de in 2011 ingediende wijziging winningsplan Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen.

Uitgaande van het basis scenario en de productie volgens Tabel 2.8 volgen waarden voor de bodemdalingssnelheid S en de resulterende belasting B die niet leiden tot overschrijding van de gebruiksruimte eerder dan het jaar 2035 (zie Tabel 2.6).

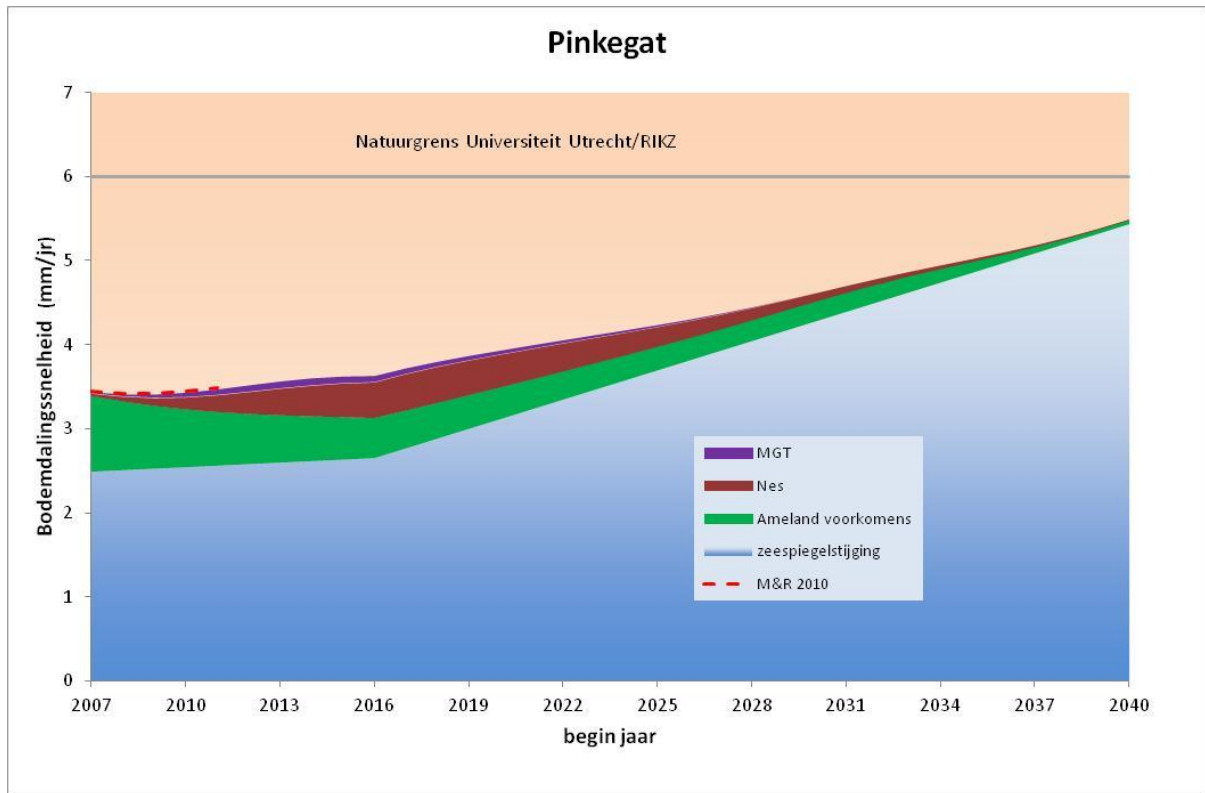
Jaar	Moddergat	Nes	Lauwersoog- Oost	Lauwersoog- West	Lauwersoog- C	Vierhuizen- Oost
2007	382	340	-	-	-	-
2008	312	485	42	85	-	168
2009	453	540	271	300	-	309
2010	479	767	295	184	-	292
2011	520	989	313	186	-	189
2012	419	1175	237	163	13	358
2013	321	1589	201	132	17	355
2014	256	1550	164	104	3	267
2015	209	1351	137	89	3	35
2016	174	1180	114	79	3	15
2017	144	1033	97	47	3	15
2018	184	943	87	60	3	-
2019	191	856	82	78	16	-
2020	161	753	73	62	26	-
2021	138	662	66	54	20	-
2022	121	577	60	49	8	-
2023	108	504	55	46	3	-
2024	97	441	52	43	3	-
2025	88	383	49	40	3	-
2026	54	337	48	40	2	-
2027	22	303	49	40	3	-
2028	21	265	46	35	2	-
2029	-	230	43	24	2	-
2030	-	200	40	29	2	-
2031	-	175	38	25	2	-
2032	-	161	30	26	2	-
2033	-	164	9	24	2	-
2034	-	145	6	24	2	-
2035	-	128	6	23	2	-

Tabel 2.7 Gerealiseerde (2007 - 2011) en voorgenomen productie (miljoen m3) per voorkomen.

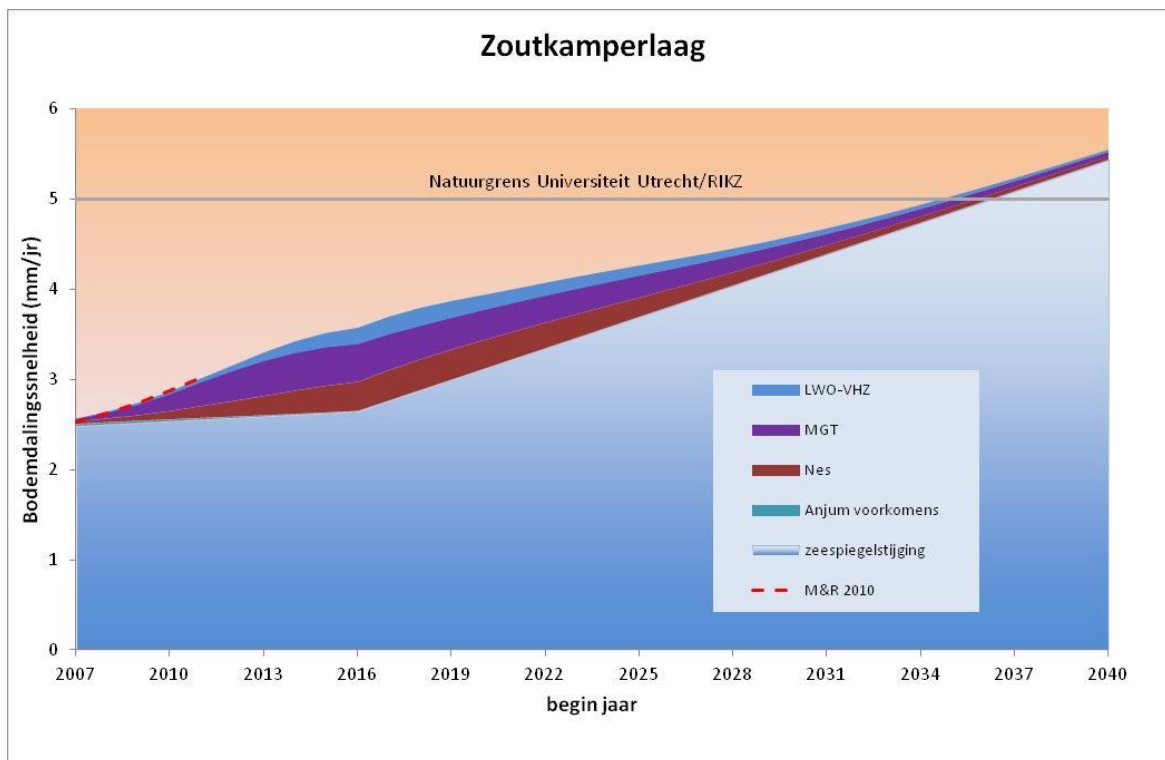
2.6. Actualiseren (stap 6)

Figuur 5 en Figuur 6 tonen de geactualiseerde verwachte belastingen voor de kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag volgens het in tabel 2.8 getoonde productie scenario. De belasting inclusief relatieve zeespiegelstijging (actualisatie 2011) zal de gebruiksruimte van de kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag niet eerder dan in 2035 overschrijden. In de grafieken is steeds de belasting in een bepaald jaar door een veld, dat op 1 januari van dat jaar nog niet in productie is, gelijk aan nul gesteld. Dit is gedaan om presentatietechnische redenen en niet volledig in

overeenstemming met de waarden zoals gepresenteerd in tabel 2.8. In de figuren is tevens de belasting zoals gerapporteerd in de Meet- en regelcyclus rapportage 2010 (M&R 2010) voor de jaren 2007 t/m 2011 weergegeven.



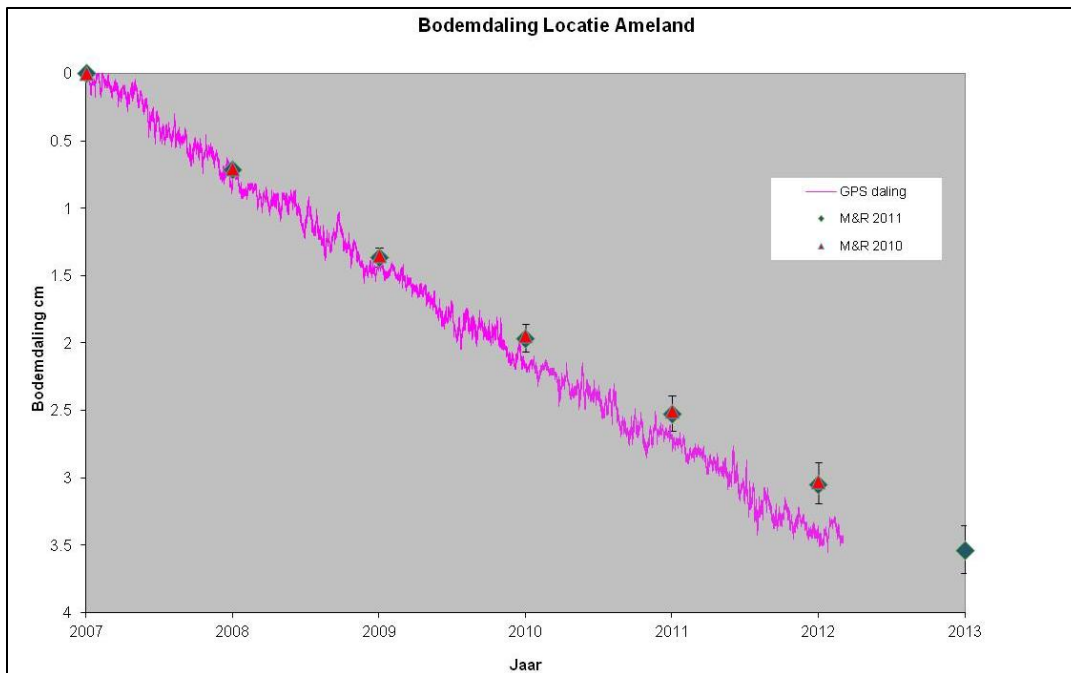
Figuur 5 Voorspelde belasting inclusief Zeespiegelstijging voor het kombergingsgebied Pinkegat. Voor de modellering van de bodemdaling tengevolge van de gaswinning van Ameland is het meest recente geomechanische model toegepast. De rood gestreepte lijn geeft berekende belasting aan zoals gerapporteerd in de Meet- en regelcyclusrapportage 2010.



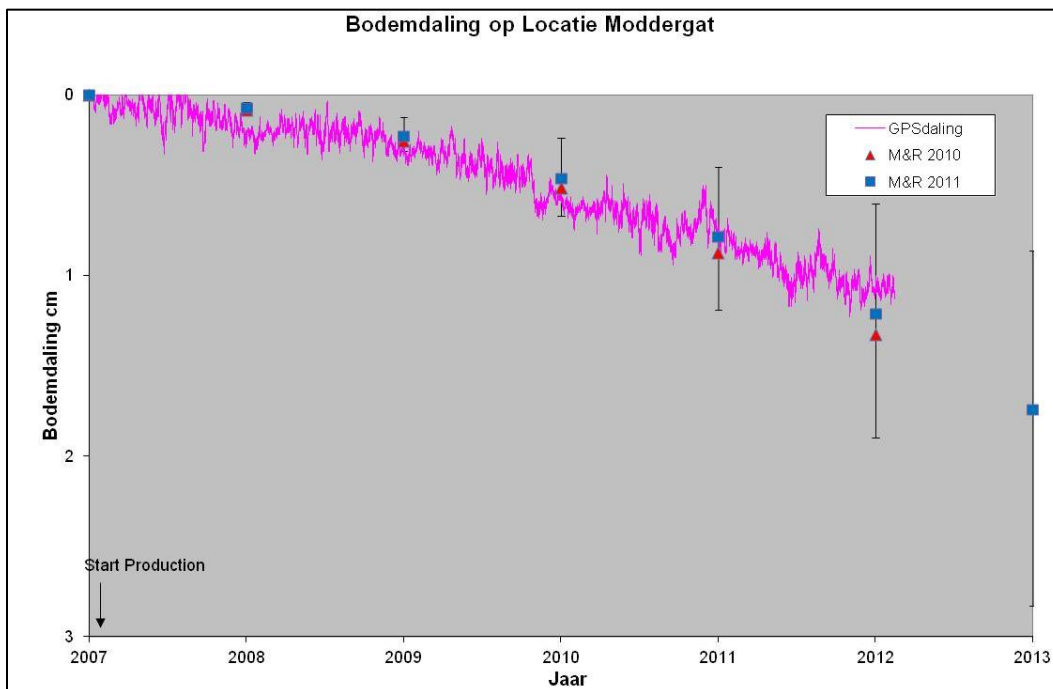
Figuur 6 Voorspelde belasting inclusief Zeespiegelstijging + autonome daling voor het kombergingsgebied Zoutkamperlaag. De rood gestreepte lijn geeft berekende belasting aan zoals gerapporteerd in de Meet- en regelcyclusrapportage 2010.

Bodemdaling GPS locaties op Moddergat en Ameland

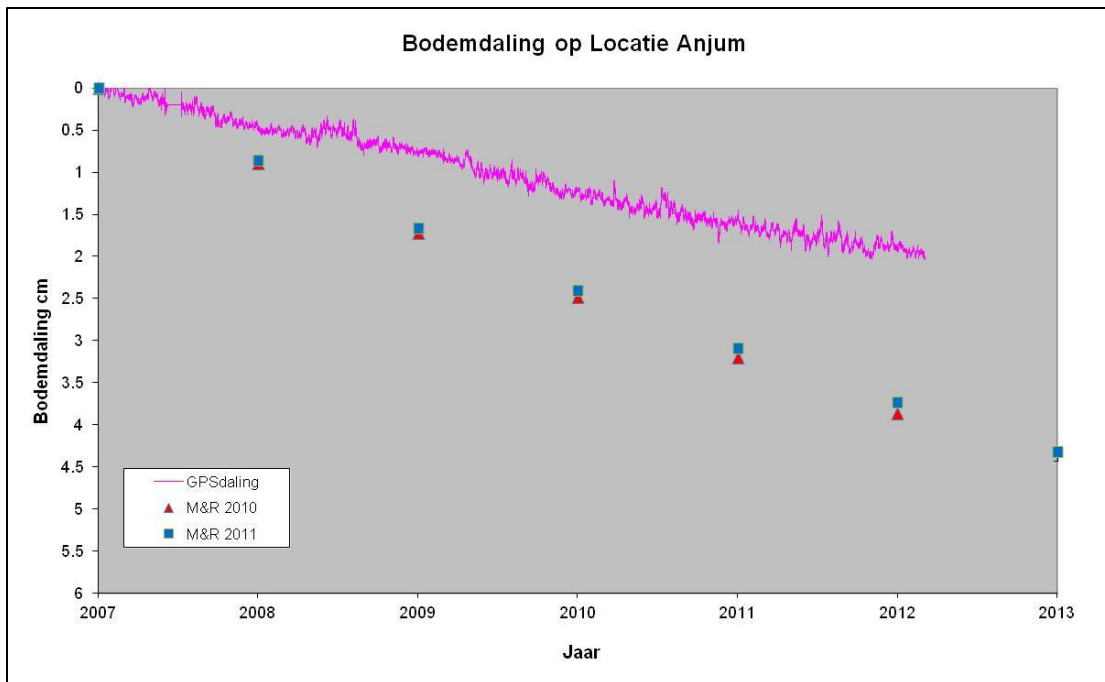
Figuur 7, Figuur 8 en Figuur 9 geven de geprognosticeerde daling tot en met 2013 plus de gemeten daling vanaf begin 2007 op de GPS locaties grafisch weer. Afwijkingen tussen het model en het GPS punt worden voornamelijk veroorzaakt door de keuze om de kalibratie te optimaliseren voor het minimale verschil op basis van alle meetpunten.



Figuur 7 Voorspelde en gemeten (GPS) bodemdaling locatie Ameland (coördinaten: X-RD:190474.978, Y-RD: 608822.469). De onzekerheidsbandbreedte wordt gegeven door de voorspelling van respectievelijk het hoge en lage scenario. De voorspelde bodemdaling op basis van de Meet- en regelcyclus rapportage 2010 is aangegeven in rood.



Figuur 8 Voorspelde en gemeten (GPS) bodemdaling locatie Moddergat (coördinaten: X-RD: 200244.559, Y-RD: 602329.794). De onzekerheidsbandbreedte wordt gegeven door de voorspelling van respectievelijk het hoge en lage scenario. De voorspelde bodemdaling op basis van de Meet- en regelcyclus rapportage 2010 is aangegeven in rood.



Figuur 9 Voorspelde en gemeten bodemdaling (GPS) locatie Anjum (coördinaten: X-RD: 205931.145, Y-RD: 598546.039). De onzekerheidsbandbreedte wordt gegeven door de voorspelling van respectievelijk het hoge en lage scenario. De voorspelde bodemdaling op basis van de Meet- en regelcyclus rapportage 2010 is aangegeven in rood.

3. Kwaliteitsborging.

De beheersing van de milieuaspecten gerelateerd aan de winningsactiviteiten van het Waddengas is volledig geïntegreerd in de bedrijfsvoering van de NAM (het Corporate Management System - CMS). Dit systeem is onderworpen aan externe certificatie (ISO 14001).

De volgende activiteiten zijn hiervoor in 2010 uitgevoerd:

Systeem-eis	Uitgevoerde en geplande activiteiten
Inventarisatie milieuaspecten	In de milieuaspecten inventarisatie van de Asset Land zijn bij het aspect "Verstoring van bodem en diepe ondergrond" de Waddenzee-activiteiten opgenomen
Toewijzen verantwoordelijkheden	Het Hand Aan de Kraan (HAK) team heeft gedurende het jaar haar beheer uitgevoerd volgens de taken gesteld in de CMS rolbeschrijving.
Monitoring, metingen en rapportages	Bodemdalings- en biotiekmetingen zijn uitgevoerd volgens plan
Interne Controle	Vergunningscompliance checks, veldbezoeken en process safety reviews zijn gedurende 2011 in de Asset Land uitgevoerd.

4. Conclusies.

- Volgens het meetplan Waddenzee zijn in 2011 GPS metingen uitgevoerd op 14 peilmerken van de clusters in de kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag.
- De continue GPS metingen op de locaties boven de gasvelden Anjum en Moddergat, die respectievelijk in juni en december 2006 zijn gestart (nog voor aanvang van de productie in Nes en Moddergat), zijn in 2011 voortgezet.
- Voor de modellering van de bodemdaling ten gevolge van de gas productie van de Ameland velden is in de rapportage uitgegaan van het geomechanische model dat is gebruikt voor het in 2011 ingediende winningsplan “wijziging winningsplan Ameland” (Referentie 7). Dit geomechanisch model laat een goede passing zien tussen meting en model, zowel op het Ameland eiland als in de Waddenzee en wordt in meer detail beschreven in Referentie 2.
- Naast het basis scenario zijn een minimum en maximum scenario doorgerekend. Deze scenario's houden rekening met de onzekerheid in zowel de bodemdaling voor de Wadden voorkomen als de bodemdaling boven de Ameland en Anjum voorkomens. Alle scenario's leiden tot bodemdalingssnelheden die binnen de gebruiksruimte blijven. Met een geplande totale gasproductie zoals aangegeven in het gewijzigde winningsplan Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen uit 2011, zal in het basis scenario de belasting inclusief relatieve zeespiegelstijging (actualisatie 2011) de gebruiksruimte van de kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag pas na 2035 overschrijden. In het hoge scenario zal dat omstreeks 2034 gebeuren.

5. Referenties

Referentie 1 Bodemdalingstudie Waddenzee 2004 – Vragen en onzekerheden opnieuw beschouwd. Rapport RIKZ / 2004.025.

Referentie 2 NAM (2012) Gaswinning Moddergat/Lauwersoog/Vierhuizen: Technische bijlage (bijlage 3) behorend bij het geactualiseerde Meet- en Regelprotocol d.d. 1 april 2012. EP201201210893

Referentie 3 Gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauweroog en Vierhuizen. Resultaten uitvoering Meet- en Regelcyclus 2010; Rapport EP201109210410, september 2011

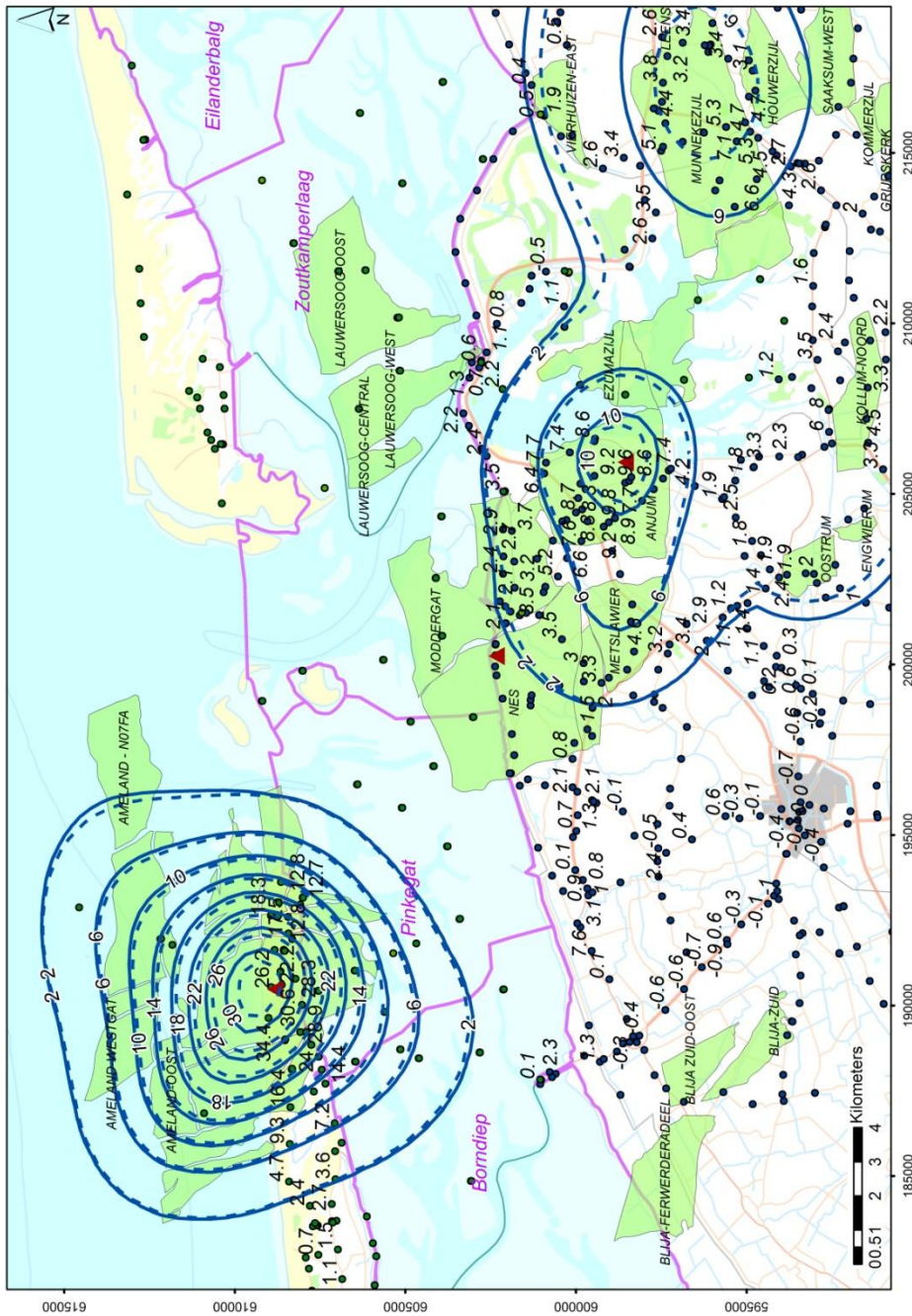
Referentie 4 GPS Survey NAM Waddenzee v. 1.16. 06-GPS B.V., 01/2012.

Referentie 5 Check reference station coordinates NAM project Waddenzee. 06 GPS B.V., 06/2011.

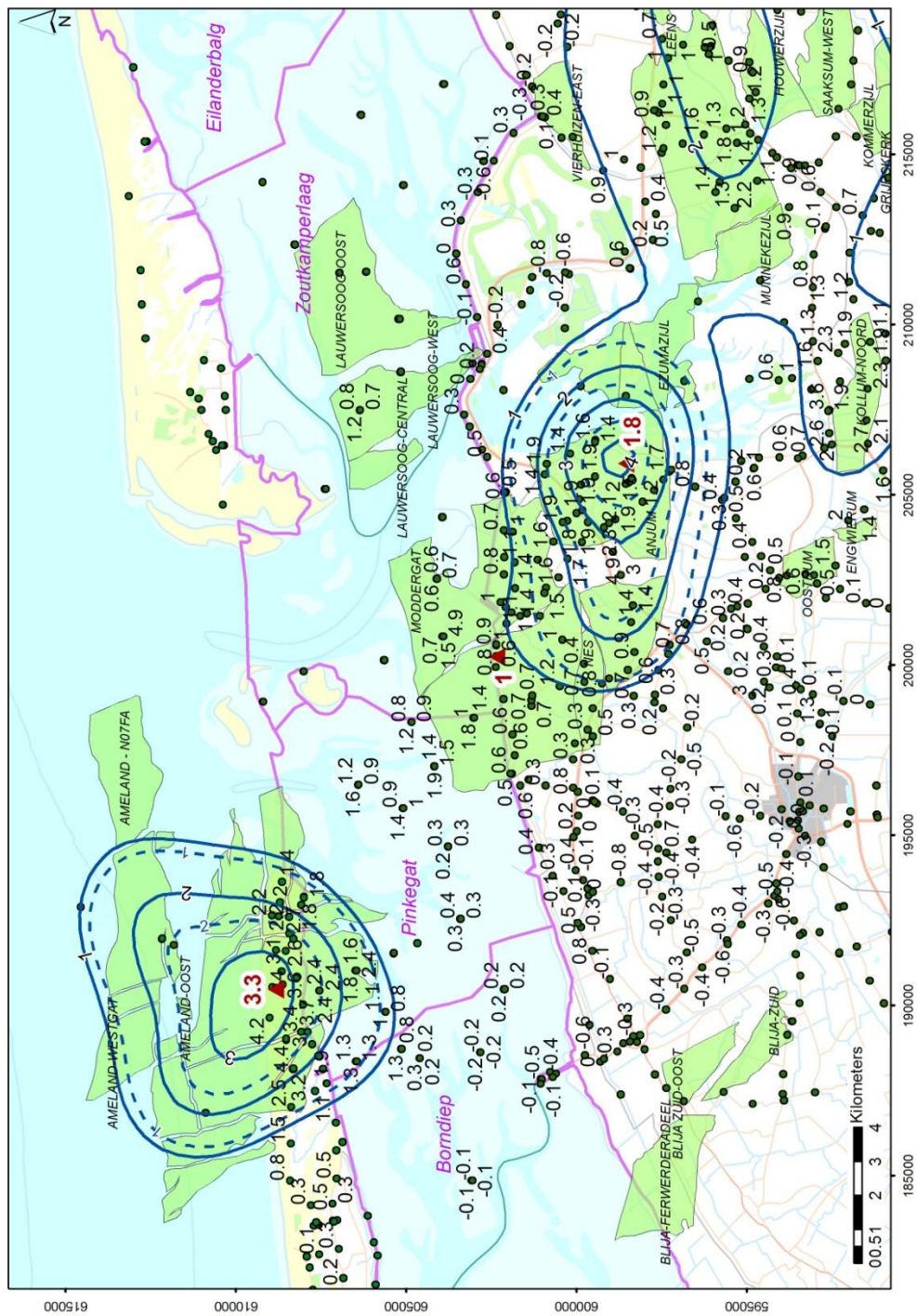
Referentie 6 NLGEO2004: het geoidemodel voor Nederland. Data-ICT-Dienst, Rijkswaterstaat, URL: <http://www.rdnap.nl/algemeen/hooqte/geoide.html>.

Referentie 7 NAM (2011) Wijziging winningsplan Ameland-Oost, Ameland-Westgat en Ameland-N07

Bijlage 1. Gemodelleerde en gemeten bodemdaling 2010



Figuur 10 Totale bodemdaling door gaswinning t/m 2011 (sinds start productie). In blauw de contouren van de gemodelleerde bodemdaling (gestreepte contouren geven de bodemdaling zoals beschreven in de M&R 2010¹⁷). De punten met label representeren de peilmerken met in 2011 gemeten hoogteverschillen sinds start productie. Boven de gasvelden Ameland-Oost, Nes/Moddergat en Anjum zijn op 3 posities continue GPS metingen uitgevoerd (rode driehoek). Bodemdaling in cm.



Figuur 11 Totale bodemdaling door gaswinning in 2011 sinds nulmetingen in 2006. In blauw de contouren van de gemodelleerde bodemdaling volgens de aangepaste/gekalibreerde geomechanische modellen (gestreepte contouren geven de bodemdaling weer zoals getoond in de M&R 2010). De punten met label representeren de peilmerken met in 2011 gemeten hoogteverschillen sinds start productie van de waddenvelden in 2006. Bodemdaling in cm.