

**Gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en
Vierhuizen**
Resultaten uitvoering Meet- en regelcyclus 2012

NAM B.V.

<i>EP Document Nummer.:</i>	EP201304210406	<i>Owner:</i>	UIO/T/DL
<i>Revision No.:</i>		<i>Status:</i>	FINAL
<i>Document Date:</i>	1/5/2013	<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 (Referentie 1), alsmede wijzigingen voor de winningsplannen Anjum en Ameland. Deze wijzigingen voor de winningsplannen zijn in 2013 goedgekeurd door de minister van Economische Zaken (Referentie 14).

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 ten genoegen van de IGM een wijziging van dit protocol met de bijbehorende technische bijlage ingediend (Referentie 13).

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, tenslotte is het voorkomen Lauwersoog C in juni 2012 in productie genomen. Samen vormen deze voorkomens de “Wadden voorkomens”.

Overeenkomstig het meetplan Waddenzee 2011 (Referentie 10) zijn in 2012 GPS metingen uitgevoerd op 20 peilmerken van de clusters in de kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag en 8 peilmerken in het Lauwersmeer.

Tevens is er een waterpassing uitgevoerd op Schiermonnikoog.

De continue GPS metingen op de locaties boven de gasvelden Ameland, Anjum en Moddergat, die respectievelijk in juni en december 2006 zijn gestart (nog voor aanvang van de productie in Nes en Moddergat), zijn in 2012 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. 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 alternatieve scenario's (laag en hoog) opgesteld. Deze scenario's zijn bepaald volgens een probabilistische onzekerheidsanalyse. Met behulp van deze scenario's en de onzekerheid in de bodemdaling veroorzaakt door het Ameland-Oost voorkomen is de totale parameter onzekerheid in de gemodelleerde bodemdaling in de Waddenzee bepaald. Hierbij is de onzekerheid in de geomechanische modellering bepaald middels een Monte Carlo analyse.

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 eiland Ameland als in de Waddenzee (Referentie 8). De werkelijke productie in het jaar 2012 is meegenomen voor de history match t/m het jaar 2012 voor de drukken. De bijgewerkte drukken zijn vervolgens gebruikt in het geomechanische model.

Samenvattend wordt geconcludeerd:

- De beschikbare modellen voor de voorkomens onder en rondom de Waddenzee zijn grondig geëvalueerd en gekalibreerd met de beschikbare metingen. De resultaten tussen metingen en modellen komen goed met elkaar overeen
- Volgens het meetplan Waddenzee 2011 (dd.26/10/2011 en goedkeuring van SodM, kenmerk brief 11181596) zijn in 2012 GPS metingen uitgevoerd op 20 peilmerken van de clusters in de kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag en 8 peilmerken in het Lauwersmeer, alsmede waterpassing op Schiermonnikoog. Deze metingen zijn gebruikt in de kalibratie van de modellen.
- De continue GPS metingen op de locaties boven de gasvelden Ameland, Anjum en Moddergat, die respectievelijk in juni en december 2006 zijn gestart (nog voor aanvang van de productie in Nes en Moddergat), zijn in 2012 voortgezet. De modellen volgen deze metingen redelijk tot goed, waarbij opgemerkt dient te worden dat de kalibratie van het model wordt gedaan op basis van alle metingen.
- 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 8). 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 3.
- De resultaten voor deze meet- en regelcyclus wijken nauwelijks af van de resultaten uit de meet- en regelcyclus 2011.
- Naast het basis scenario, dat tevens het verwachte scenario is, zijn een laag en hoog drukdalingsscenario doorgerekend voor de verschillende voorkomens. Alle mogelijke combinaties van deze scenario's in combinatie met de verwachte mechanische eigenschappen van het gesteente leiden tot bodemdalingsnelheden die binnen de gebruiksruijme blijven. Wanneer de maximale geomechanische onzekerheid bij het maximale drukdalingsscenario (combinatie van de hoge scenario's van de individuele voorkomens) wordt opgeteld overschrijdt de bodemdaling de gebruiksruijme rond het jaar 2023. In 2023 geldt echter het (conservatieve) richtscenario van de zeespiegelstijging. Zowel de onzekerheid mbt dit scenario als de tijd tot het jaar 2023 biedt voldoende mogelijkheid om de productie zonodig aan te passen.
- De meet- en regelcyclus stuurt op basis van de verwachtingswaarde van de Belasting uitgaande van het verwachte scenario. Aangezien de resultaten op basis van het verwachte scenario binnen de gebruiksruijme vallen, worden er geen maatregelen genomen om de productie bij te stellen.

Inhoud

1.	Inleiding	5
2.	Deelprocessen.....	7
2.1.	Metten (stap 1).....	7
	Vlakdekkende metingen	7
	Reservoir monitoring	7
2.2.	Analyseren meetgegevens (stap 2).....	8
	Kwaliteitscontrole en bodemdalingsberekening	8
	Resultaat bodemdalingsanalyse	8
	Waddenzee voorkomens.....	8
	Continue GPS metingen.....	8
2.3.	Verifiëren prognose (stap 3).....	9
	Kalibratie reservoir simulatiemodellen Wadden voorkomens.....	9
	Modellering bodemdaling	11
2.4.	Berekenen volume en gemiddelde daling (stap 4)	13
	Bepaling volume en gemiddelde daling	13
	Onzekerheid gemodelleerde bodemdaling.	14
	Bodemdalingsvolume voor bepaling belasting rapportagejaar 2011 met onzekerheid	21
	Actuele en voorspelde bodemdalingssnelheid en belasting.....	22
2.5.	Indien nodig aanpassen productie (stap 5)	24
2.6.	Actualiseren (stap 6)	25
	Bodemdaling GPS locaties op Moddergat en Ameland	27
3.	Kwaliteitsborging.	29
4.	Conclusie.....	30
5.	Referenties	31
	Bijlage 1. Gemodelleerde en gemeten bodemdaling 2012.....	32

1. Inleiding

Voor het jaar 2012 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 2.4 en Tabel 2.5).
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 2.7).
De in een bepaald jaar gerapporteerde belasting B wordt berekend voor de situatie op 1 januari van dat jaar. Voor de rapportage in 2013 (over het jaar 2012) wordt op deze manier een B voor 1 januari 2013 berekend.
4. Grafieken met de bodemdalingsbelasting voor de kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag vanaf start productie op de locatie Moddergat tot 2042 (Figuur 9 & Figuur 10) .
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 en Tabel 2.2).
 - Geplande productie per voorkomen (jaarprofiel; Tabel 2.8).
6. Gemeten en geprognoseerde bodemdaling op de permanente GPS locaties (Ameland, Moddergat en Anjum), inclusief onzekerheid (Figuur 13, Figuur 14, Figuur 15)

N.B. In de grafieken van de belasting per kombergingsgebied wordt de verwachte zeespiegelstijging getoond. In 2011 is door het KNMI een nieuwe prognose opgesteld, die door TNO (Referentie 9) is vertaald in een voorstel voor actualisatie van het beleidsscenario voor de zeespiegelstijging ten behoeve van inpassing gaswinning van onder de Waddenzee. Met het gewijzigde beleidsscenario voor de zeespiegelstijging is c.q. wordt in het vervolg rekening gehouden bij de bepaling van de gebruiksruimte (G).

Definities van hoog, laag, minimum en maximum scenario's

Er is geen integrale onzekerheidsanalyse uitgevoerd voor de gehele keten van de modellering maar wel een analyse voor de delen. Er zijn 3 realisaties geleverd van mogelijke reservoir drukken. Voor de reservoirmodellen zijn de onzekerheidsscenario's voornamelijk bepaald door de keuze van het wel of niet meedepleteren van watervoerende lagen of het toekennen van minder gasvolume dat oorspronkelijk in het reservoir aanwezig was. In het laatste geval neemt de snelheid van drukdaling en daarmee gepaarde bodemdaling toe bij eenzelfde productieprofiel uitgaande van het verwachte volume. Voor elk voorkomen (ook Ameland) is een hoog, een verwacht- en een laag reservoirscenario gemaakt. Het basis scenario is hierbij gelijk aan het verwacht scenario. Voor de snelheden in de kombergingsgebieden resulteert de combinatie van de hoge scenario's in een maximum scenario en de combinatie van lage scenario's in een minimum scenario. Hierdoor is de waarschijnlijkheid voor het minimum en maximum scenario bijzonder klein.

Boven op de hoge en lage reservoir scenario's is een onzekerheidsanalyse uitgevoerd waarbij de geomechanische parameters zijn gevarieerd met als toetsing de RMS fout tussen model resultaat en meting. De combinatie van de hoge scenario's incl. geomechanische onzekerheid resulteert in een "maximum scenario incl. geomechanische onzekerheid".

2. Deelprocessen

Op basis van de tot en met het jaar 2012 verzamelde data 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 bodemdaling, 4. berekenen volume en gemiddelde daling, 5. indien nodig aanpassen productie en 6. actualiseren prognose bodemdaling. Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van deze 6 deelprocessen voor het rapportagejaar 2012.

2.1. Meten (stap 1)

Vlakdekkende metingen

Op basis van het in 2011 ingediende meetplan Waddenzee zijn in 2012 GPS metingen in de Waddenzee uitgevoerd op 20 peilmerken van de clusters in de kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag en op 8 peilmerken in het Lauwersmeer. De GPS metingen op het Wad zijn in Referentie 5 beschreven.

Tevens is er een waterpassing uitgevoerd op Schiemonnikoog. De resultaten staan beschreven in Referentie 11

De resultaten van de permanente GPS metingen zijn maandelijks aan SodM gerapporteerd.

Reservoir monitoring

Tabel 2.1 toont de cumulatieve gasproductie per voorkomen en de gemeten reservoirdruk in de put op het tijdstip van de meting. Tabel 2.2 toont de cumulatieve gasproductie per voorkomen op 31 december 2012.

Velden	Datum	Cumulatieve productie (10^6 Nm^3)	Druk op reservoir niveau (bara)
Nes	8/4/2012	3374	420 (@ 3700 mTVDNAP)
Moddergat	8/4/2012	2279	284 (@ 3860 mTVDNAP)

Tabel 2.1 Resultaten reservoir drukmeting 2012 met cumulatieve productie op tijdstip van de meting

Velden	Cumulatieve productie (10^6 Nm^3)	Productie volgens 2011 winningsplan in 2012 (10^6 Nm^3)	Productie in 2012 (10^6 Nm^3)
Nes	4185	1175	1064
Moddergat	2541	419	395
Lauersoog-C	40	13	40
Lauersoog-West	891	163	136
Lauersoog-Oost	1183	237	262
Vierhuizen-Oost	1113	358	155
Totaal	9953	2365	2052

Tabel 2.2 Productie per voorkomen tot en met 31/12/2012

2.2. Analyseren meetgegevens (stap 2)

Kwaliteitscontrole en bodemdalingsberekening

De GPS metingen zijn volgens de in Referentie 5 beschreven GNSMART methodiek geanalyseerd. Hierbij wordt een zestal permanente stations als vaste (statische) referentie gebruikt. De coördinaten van deze stations zijn voorafgaand aan de 2012 campagne in een aparte analyse over een periode van zes weken bepaald. De lange termijn beweging van deze stations even als de invloed van geconstateerde relatieve bewegingen op de hoogten van de monitoringstations is onderzocht in Referentie 6.

Resultaat bodemdalingsanalyse

Waddenzee voorkomens

De ellipsoidische hoogteverschillen van de wadpunten worden sinds 2006 met GPS bepaald. Voor het omrekenen naar orthometrische hoogteverschillen wordt sinds 2006 gebruikgemaakt van het NLGEO2004 geoidemodel (Referentie 7).

De hoogteverschillen t.o.v. het referentiepeilmerk van een aantal wadpunten (oorspronkelijke Rijkswaterstaat punten) zijn tijdens de nulmeting in 1986 direct orthometrisch bepaald d.m.v. optische waterpassing (m.b.v. optisch instrument) / hydrostatische waterpassing (middels lange flexibele buis/slang).

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 5 mm). Uit het in 2008 en 2009 uitgevoerde stabiliteitsonderzoek blijkt:

- de relatieve stabiliteit van de peilmerken voor de periode 2008-09 is gemiddeld 0,4 mm (voor de periode 2006-2008: 5 mm).
- 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 als een Gaussische (normaalverdeelde) foutenbron behandeld (met uitzondering van de 4 cm afwijking op M008) en als zodanig meegenomen in de kalibratie van het geomechanisch model. Dit zorgt voor een conservatieve benadering t.a.v. de bepaling van het bodemdalingsvolume.

Continue GPS metingen

Als onderdeel van het Meet- en regel protocol worden continue GPS metingen uitgevoerd op de locaties Ameland, Moddergat en Anjum. Deze metingen hebben een signaalfunctie voor het bepalen van de noodzaak voor aanvullende vlakdekkende metingen.

Tabel 2.3 geeft de analyse van de continue GPS metingen op de locaties Ameland, Moddergat en Anjum. De onzekerheden zijn bepaald m.b.v. de methode beschreven in Referentie 5. Het GPS-signaal in tijd wordt in Figuur 13, Figuur 14 en Figuur 15 getoond.

Locatie	Daling van 05/02/07 t/m 31/12/2012 [mm]	Gemiddelde dalingssnelheid in 2012 [mm/jaar]
Ameland	40	7 [1 σ = 0.7 mm/jaar]
Moddergat	14	4 [1 σ = 0.5 mm/jaar]
Anjum	23	4 [1 σ = 0.6 mm/jaar]

Tabel 2.3 Gemeten daling en dalingssnelheid op de locaties m.b.v. continue GPS metingen

2.3. Verifiëren prognose (stap 3)

Kalibratie reservoir simulatiemodellen Wadden voorkomens

Oorspronkelijk is de dynamische modellering van de Wadden voorkomens uitgevoerd met behulp van een twee dimensionaal (droog gas) model. Gebruikmakend van het drie dimensionale 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. In 2012 is een nieuwe put (MGT-3) geboord in het Nes veld. De resultaten van deze put hebben geleid tot een update van de top structuur in dit gebied. De geologische modellen zijn hiervoor aangepast. Met behulp van de geologische modellen zijn gedetailleerde drie dimensionale dynamische modellen van de reservoirs geregenereerd. Deze zijn gekalibreerd door middel van productie en druk data.

De dynamische modellen zijn gebruikt voor een gedetailleerde onzekerheid analyse (volgens een "experimental design" methode). Hiermee 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. De parameters die het grootste effect op de "history match" geven zijn: porievolume, permeabiliteit, 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 waarschijnlijk 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: dagelijkse gas- en waterproductie en op diepte gemeten drukken in de putten.

De geconstrueerde drie dimensionale reservoir simulatie modellen (Mores) zijn vergelijkbaar met de voorgaande modellen uit 2011. De hoeveelheid drukdaling in de aangrenzende watervoerende pakketten wordt voornamelijk bepaald door kennis op basis van geodetische informatie rond de Ameland en Anjum velden. Deze informatie toont aan dat er niet of nauwelijks bodemdaling plaatsvindt en daarmee is het onwaarschijnlijk dat er significante drukdaling plaats vindt in deze pakketten (Referentie 4). Tevens is de recente informatie over de geringe drukdaling die waargenomen is tijdens de Moddergat-3 boring ook meegenomen in de modellen. De resultaten voor de dynamische modellen worden hieronder kort beschreven.

Ameland, 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

De resultaten van het reservoir simulatiemodel van de velden Nes en Moddergat geven zeer goede overeenkomst met de gemeten data. 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 onzekerheid in Moddergat is voornamelijk gerelateerd aan de hoeveelheid gas. Dit wordt ondervangen d.m.v. scenario's. Een laag bodemdalingsscenario is gebaseerd op een lage drukdaling in het veld. Bij een zelfde hoeveelheid geproduceerd gas zal de drukdaling bij een hogere GIIP lager zijn en zodoende wordt er voor Moddergat een hoog GIIP scenario gebruikt om het lage bodemdalingsscenario te analyseren. In het hoge bodemdalingsscenario wordt uitgegaan van een laag GIIP scenario.

De put die in Nes is geboord in 2012, laat zien dat de watervoerende laag deels depleteert, maar wel achterblijft in druk ten opzichte van de gasvoerende laag. Deze depletie wordt verder ondersteund door waterproductie die is gemeten in de put MGT-2. De vrije waterproductie in deze put is gestopt doordat de onderste watervoerende laag met cement is afgedicht tot aan de daarboven liggende slecht doorlaatbare kleilaag. De onzekerheid in Nes is voornamelijk gerelateerd aan de toekomstige depletie van de watervoerende laag. In het hoge scenario depletieren de watervoerende lagen meer dan in het lage scenario, echter de watervoerende lagen depletieren langzamer dan het gasvoerend gedeelte.

Lauwersoog -West en -Oost.

Ook voor de velden Lauwersoog –W en –O komen de resultaten van het reservoir simulatie (dynamische) model goed overeen met de gemeten data. Voor Lauwersoog-West is de voornaamste onzekerheid gerelateerd aan de depletierende lagen. Op basis van de resultaten van het dynamisch model is het permeabiliteitscontrast tussen de bovenste en onderste lagen in het geologisch model vergroot. In het hoge bodemdalingsscenario zullen zowel de bovenste als de onderste lagen depletieren. In het lage bodemdalingsscenario zal voornamelijk de bovenste laag depletieren, terwijl de onderste laag op druk blijft.

Voor Lauwersoog Oost is de voornaamste onzekerheid de depletie van de watervoerende lagen. In het hoge bodemdalingsscenario depletieren de watervoerende lagen. In het lage bodemdalingsscenario zullen de watervoerende lagen op hogere druk blijven.

Lauwersoog-Centraal

Voor Lauwersoog-Centraal zijn er nog geen drukdata op reservoir niveau gemeten. De onzekerheid in de bodemdaling is voornamelijk gerelateerd aan de hoeveelheid gas. In het lage bodemdalingsscenario is uitgegaan van een hoge GIIP en in het hoge bodemdalingsscenario van een lage GIIP.

Vierhuizen-Oost

Voor Vierhuizen-Oost komen de resultaten van het reservoir simulatie (dynamische) model goed overeen met de gemeten data. Onzekerheid in het veld komt voort uit de hoeveelheid gas in het reservoir. Deze hoeveelheid gas is de voornaamste parameter voor de hoge en lage bodemdalingsscenario's.

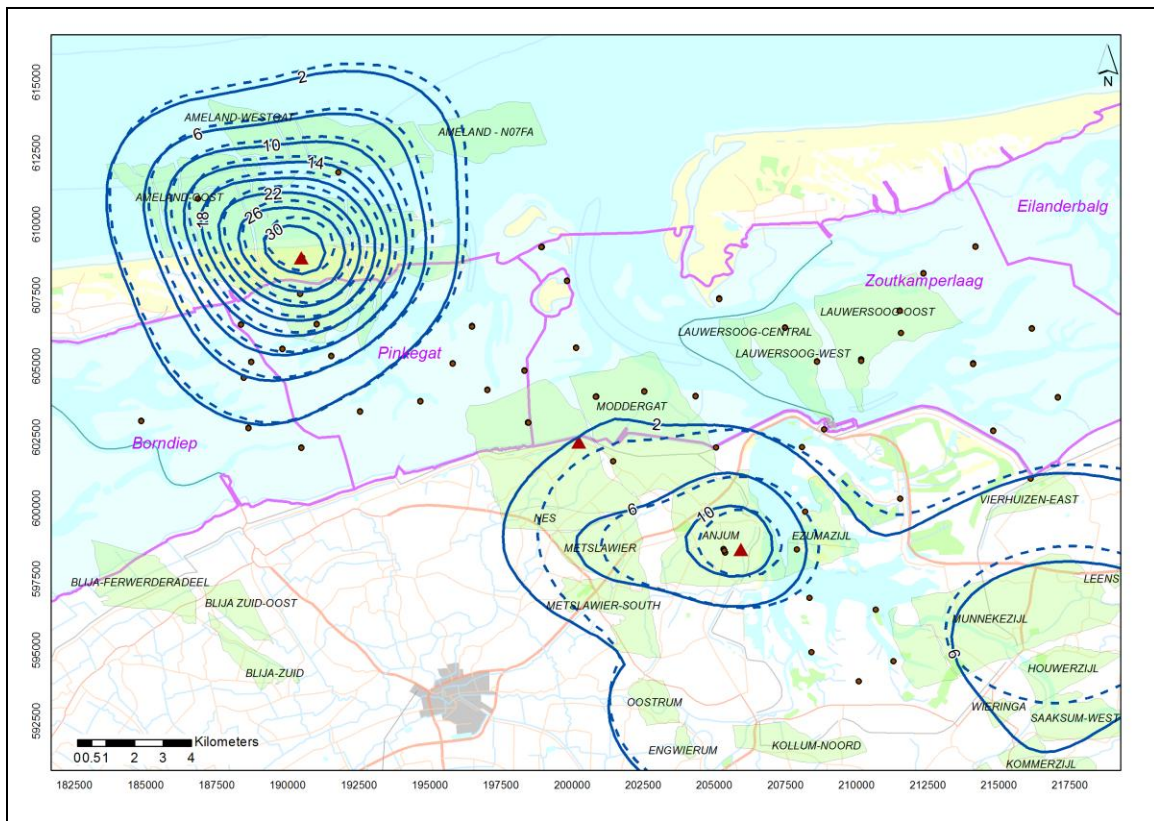
Modellering bodemdaling

Voor een betere passing met de bodemdalingsmetingen zijn de geomechanische parameters ten opzichte van de vorige Meet en Regelcyclus in geringe mate aangepast. Voor een beschrijving van deze geomechanische parameters wordt verwezen naar Referentie 3. Voor Anjum wordt de hierin genoemde "time decay" constante veranderd van 5 jaar naar 3 jaar en de Young's modulus van 12 GPa naar 10 GPa op basis van de beste kallibratie met de meetgegevens. Deze parameters zijn ook voor de andere Wadden voorkomens in dezelfde verhouding aangepast.

De bodemdalingberekeningen zijn sinds 2010 gebaseerd op het eindige elementen programma "Geomec", een Shell applicatie die gebaseerd is op DIANA (<http://tnodiana.com/>). Meer informatie over de gewijzigde geomechanische modellen is te vinden in Referentie 3.

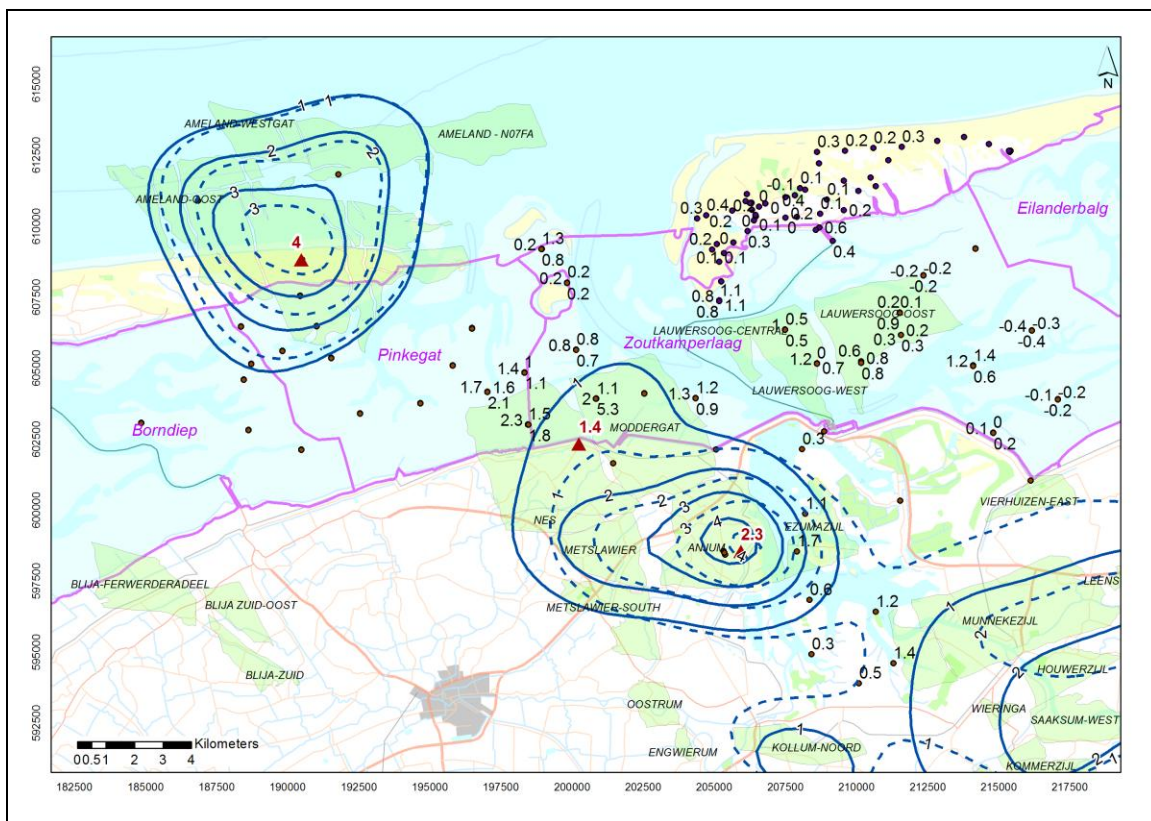
Figuur 1 toont de contouren van de gemodelleerde bodemdaling.

De contouren weergegeven met een doorgetrokken lijn geven de bodemdaling weer die is gemodelleerd met de vernieuwde modellen en parameterwaarden. Ter vergelijking zijn de contouren (gestreepte lijn) weergegeven die het berekende resultaat weergeven voor het jaar 2011 zoals gerapporteerd is in de Meet- en regelrapportage van 2011 (Referentie 4).



Figuur 1 Totale bodemdaling (status 1-1-2012) door gaswinning sinds de start van de productie. In blauw de contouren van de gemiddelde bodemdaling (gestreepte contouren geven de bodemdaling 2011 zoals beschreven in de M&R rapportage over 2011). 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 gemiddelde daling in 2012 sinds de nulmetingen van 2006. De contouren weergegeven met een doorgetrokken lijn geven de bodemdaling weer die is gemiddeld met de nieuwe modellen en parameterwaarden, terwijl als vergelijking de contouren met de gestreepte lijn de gemiddelde bodemdaling voor 2011 weergegeven met de parameters en modellen zoals toegepast in de Meet- en regelrapportage over het jaar 2011.



Figuur 2 Totale bodemdaling (status 1-1-2012) door gaswinning sinds de nulmeting Waddenzee in 2006. In blauw de contouren van de gemodelleerde bodemdaling volgens de aangepaste/gekalibreerde geomechanische modellen (gestreepte contouren geven de bodemdaling 2011 weer zoals getoond in de M&R rapportage over 2011). De punten met label representeren de peilmerken met de in 2012 gemeten hoogteverschillen vanaf 2006 (nulmeting Waddenzee). 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. (Referentie 2) Deze grenzen zijn door RIKZ voor de Bodemdalingstudie Waddenzee 2004 toegepast. Hierbij zijn de oppervlakten voor de kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag respectievelijk $60 \times 10^6 \text{ m}^2$ en $148 \times 10^6 \text{ m}^2$.

Uit de 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.

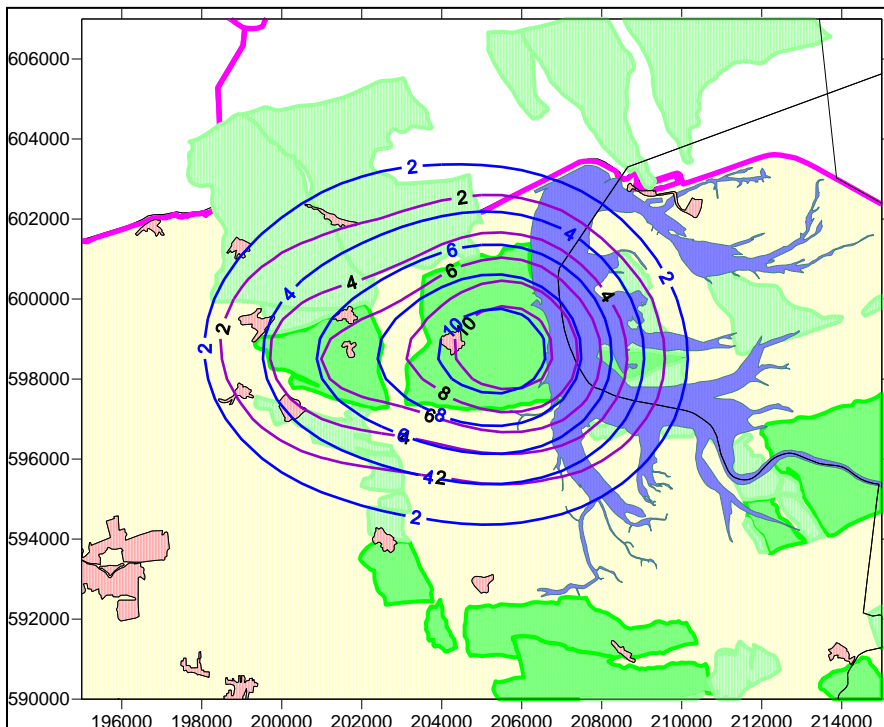
Onzekerheid gemodelleerde bodemdaling.

Gebaseerd op geologische en reservoir simulatie analyses zijn voor de Wadden voorkomens een aantal reservoirdrukscenarios opgesteld die in paragraaf 2.3 uitgebreid worden beschreven.

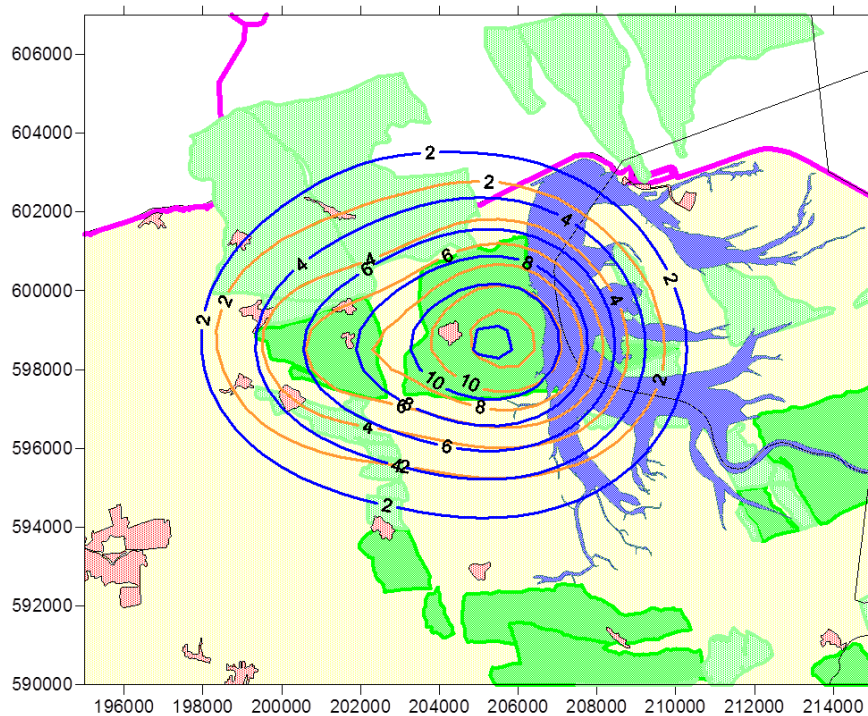
Deze reservoirscenario's zijn vertaald naar een verwacht, hoog en laag bodemdalings scenario in Geomec. Voor al deze scenarios zijn in Geomec vaste waarden voor de Young's modulus (10 GPa) en time decay constante (3 jaar) aangehouden.

Vervolgens is een geomechanische onzekerheidsanalyse voor de 3 scenarios mbv het het Geertsma en van Opstal analytische model toegepast.

Het effect van zoutkruip en heterogene stijfheid voor de verschillende gesteentelagen op de berekening van de bodemdaling kan niet worden meegenomen in deze analytische modellen. Echter Figuur 3 toont aan dat de vergelijking tussen het analytisch model en het numeriek model redelijk tot goed is. Eenzelfde figuur is voor het hoge scenario is getoond in Figuur 4. Bij deze vergelijking zijn dezelfde time decay constante en gesteentestijfheid gebruikt. De Geertsma en van Opstal modellering laat een wijdere bodemdalingskom zien. Het zgn "rigid basement" in de vergelijkingen is 4 km.



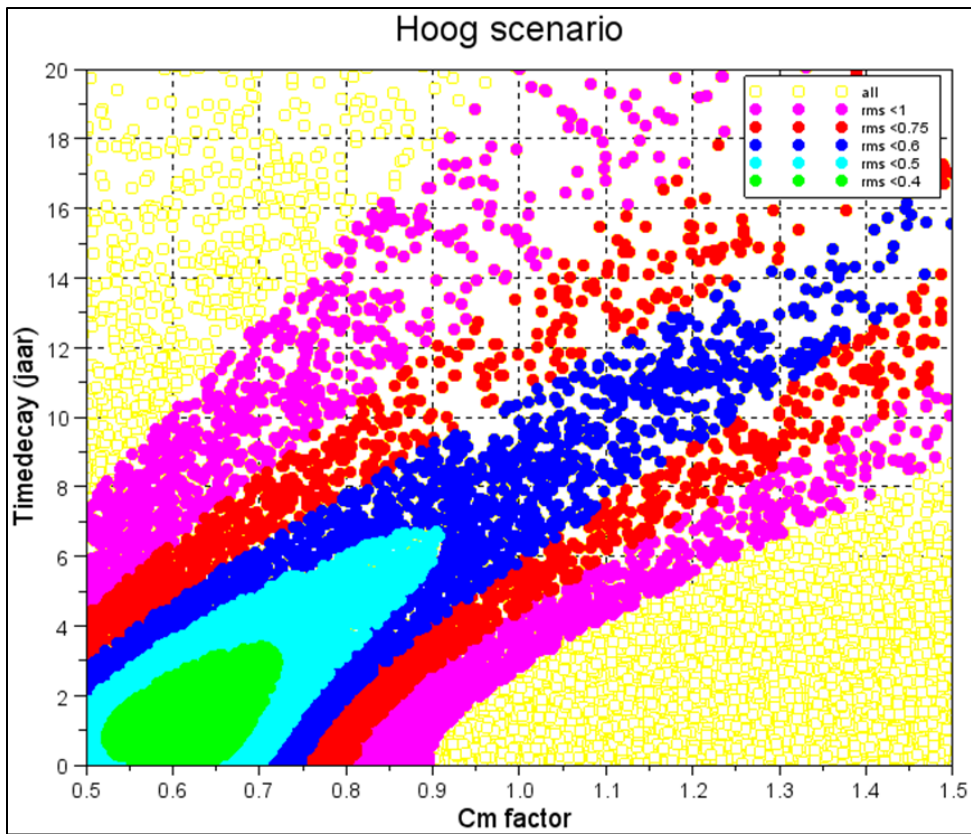
Figuur 3 Vergelijking van het basisscenario volgens het het Geertsma en van Opstal model (blauw) en de Geomec modellering (paars) voor het jaar 2011.



Figuur 4 Vergelijking van het hoge scenario volgens het Geertsma en van Opstal model (blauw) en de Geomec modelering (oranje) voor het jaar 2011.

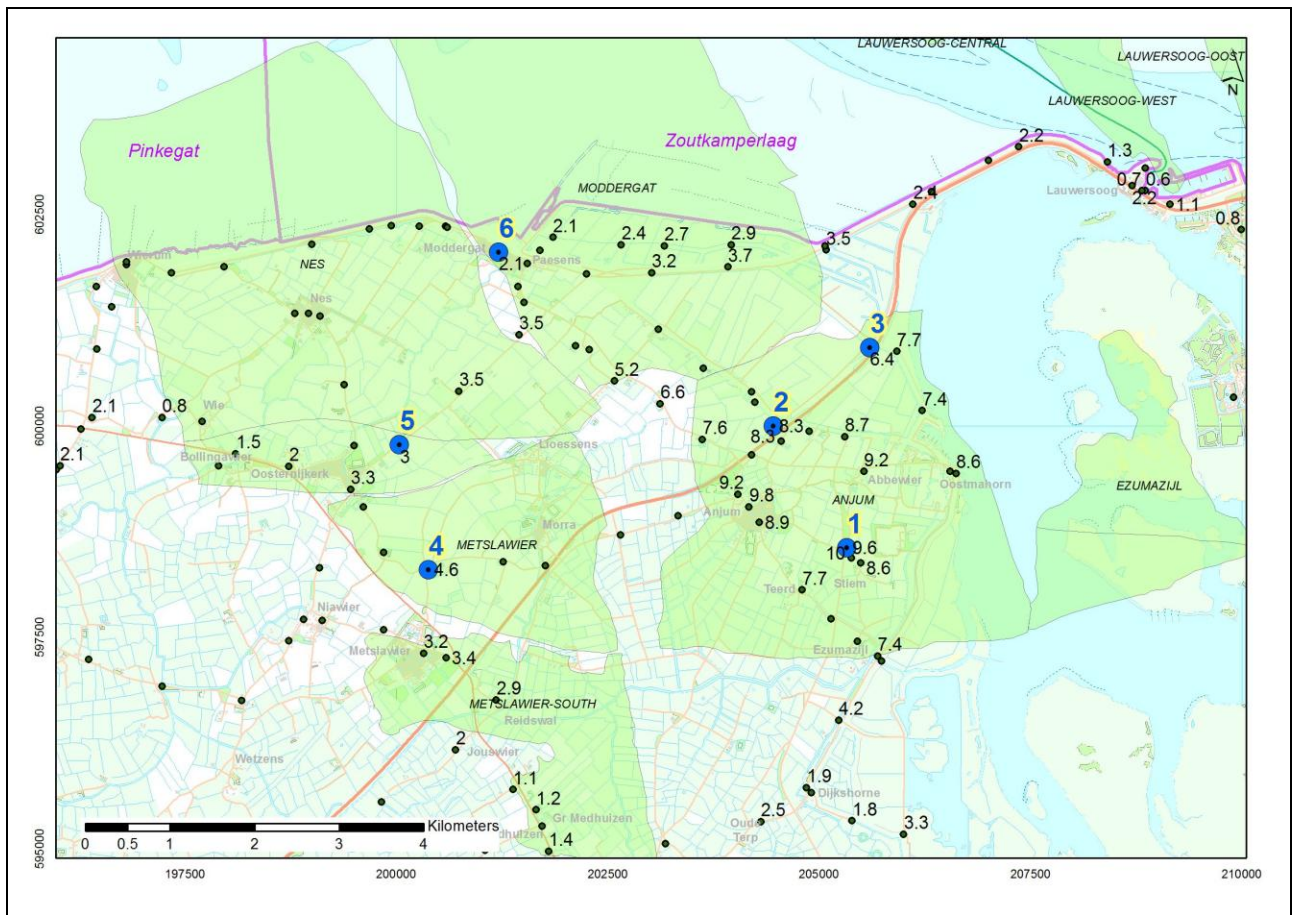
Het grote voordeel van de analytische berekeningsmethode is het snel kunnen doorrekenen van de parameter variaties in de vorm van een Monte Carlo analyse. De resultaten van de parameter (time decay, C_m) variatie worden vergeleken met de metingen. Hierbij kunnen de verschillen tussen modelresultaat en metingen uitgedrukt worden in de root mean square (RMS).

Een lage RMS betekent dat het modelresultaat beter past bij de meting. Het resultaat van deze Monte Carlo berekening is te zien in Figuur 5. In het analytisch model is de C_m afhankelijk van de porositeit. Deze afhankelijkheid volgt uit de polynome trend lijn van de datapunten (C_m bij een gegeven porositeit) uit laboratoriumexperimenten. In de parametervariatiestudie is gekozen om deze polynoom te variëren dmv een vermenigvuldigingsfactor, de C_m -factor, die op de x-as in Figuur 5 te zien is. Op de Y-as is de time decay constante in jaar te zien. De kleuren geven de RMS aan. De beste waarden voor de gesteente parameters zijn volgens de grafiek bij een C_m factor van 0.6 en een time decay constante van 1 à 2 jaar. De eindige elementen modellering laat vergelijkbare resultaten zien voor een model met een time decay constante tussen 1 jaar en 3 jaar, echter de keuze voor de time decay constante heeft invloed op de waarde voor de stijfheid wanneer het model gekalibreerd wordt aan de metingen. De C_m waarde voor het model met een time decay van 3 jaar ligt dicht bij de C_m waarden die volgen uit gesteentekernexperimenten. Daarom is in het basisscenario gekozen voor een time decay constante van 3 jaar.

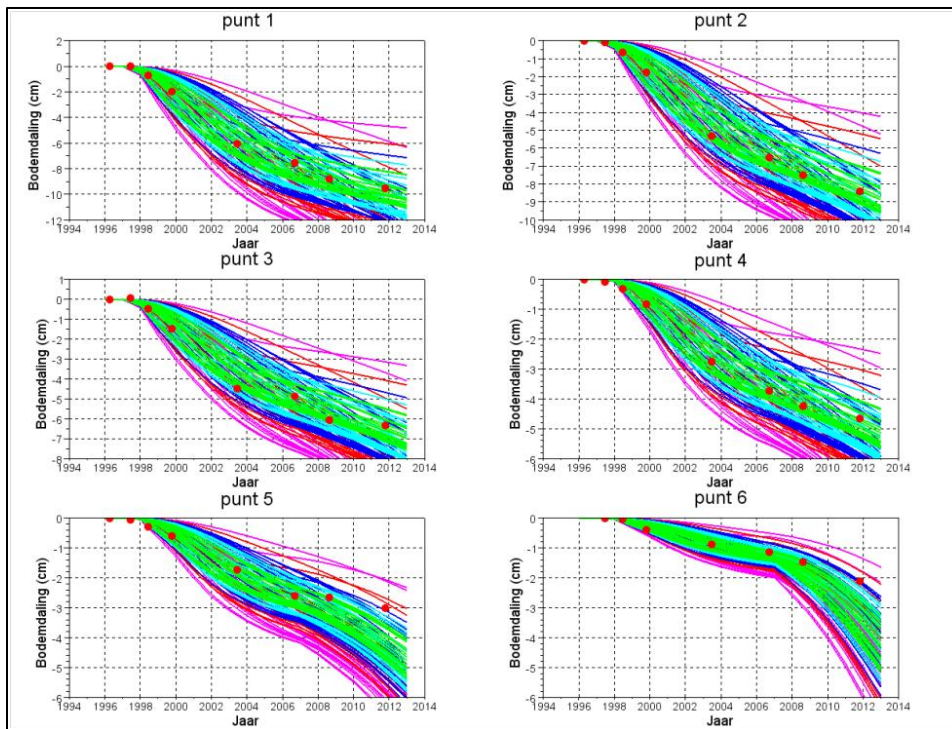


Figuur 5 RMS versus Cm factor en Time decay constante, de groene punten geven de beste passing met de metingen aan.

De passing van de Monte Carlo resultaten met de gemeten bodemdaling voor een zestal geselecteerde peilmerken is getoond in Figuur 7 ter illustratie. De combinaties van de Cm factor en time decay constante zijn zo gekozen dat ze op de begrenzing vallen van de gekleurde RMS gebieden om de impact van de verschillende waarden zo goed mogelijk weer te geven. Bijvoorbeeld de roze lijnen vormen de begrenzing van het roze gebied zoals getoond in Figuur 5. De locaties van deze 6 peilmerken zijn in Figuur 6 te zien.

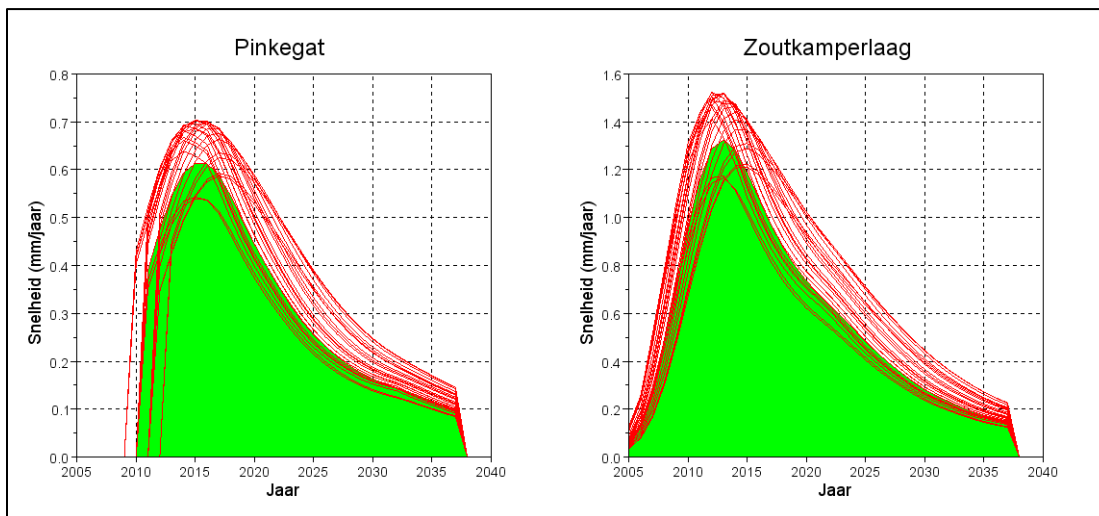


Figuur 6 Peilmerk locaties die geselecteerd zijn voor de vergelijking met de Monte Carlo uitkomsten. De getallen op de peilmerken geven de gemeten bodemdaling sinds de start van de productie tot en met 2011 aan. De daling is gegeven in cm.



Figuur 7 Gemodelleerde variatie in bodemdaling voor het hoge scenario reservoir scenario vergeleken met de metingen (rode punten). De kleuren van de lijnen horen bij de RMS categorieën zoals getoond in Figuur 5.

Figuur 7 laat zien dat alle combinaties van C_m factor en time decay met een $RMS < 0.4$ (groene gebied) binnen de bandbreedte van de meeste metingen blijven. Vervolgens zijn deze parametercombinaties gebruikt om de bodemdalingssnelheid in de kombergingen te berekenen. De resultaten van deze berekening zijn getoond in Figuur 8. De resultaten van deze parametercombinaties liggen niet symmetrisch verdeeld rondom het resultaat van de combinatie die de laagste RMS waarde geeft (groene vlak).

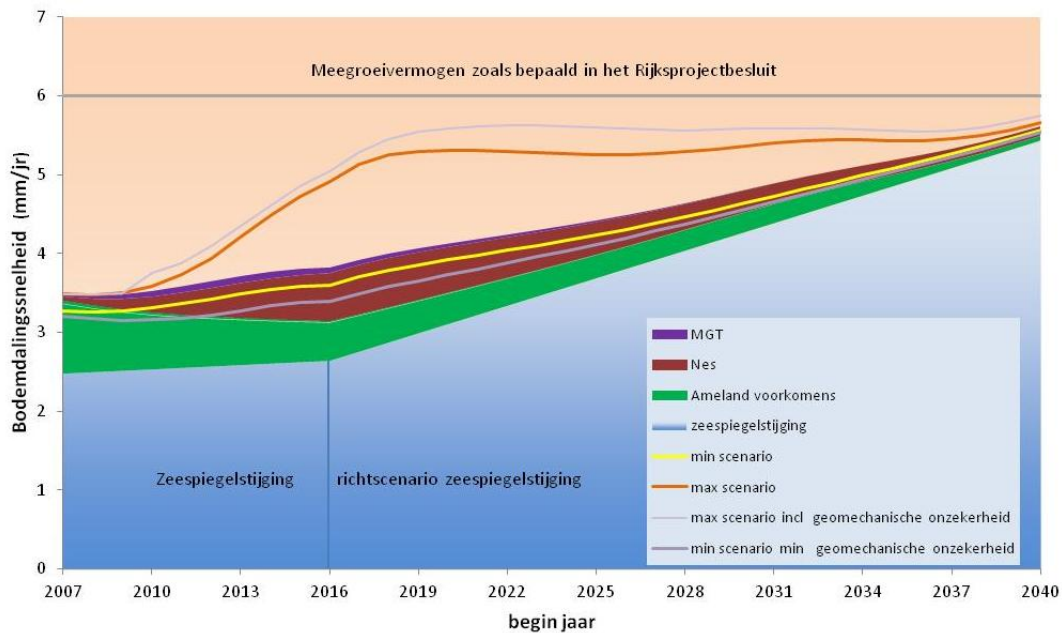


Figuur 8 Bodemdalingssnelheden met hun onzekerheden voor een RMS afsnijding van 0.4 voor het hoge scenario. Het groene gebied geeft het resultaat van de parameter combinatie aan met de kleinste RMS waarde en de rode lijnen de onzekerheid.

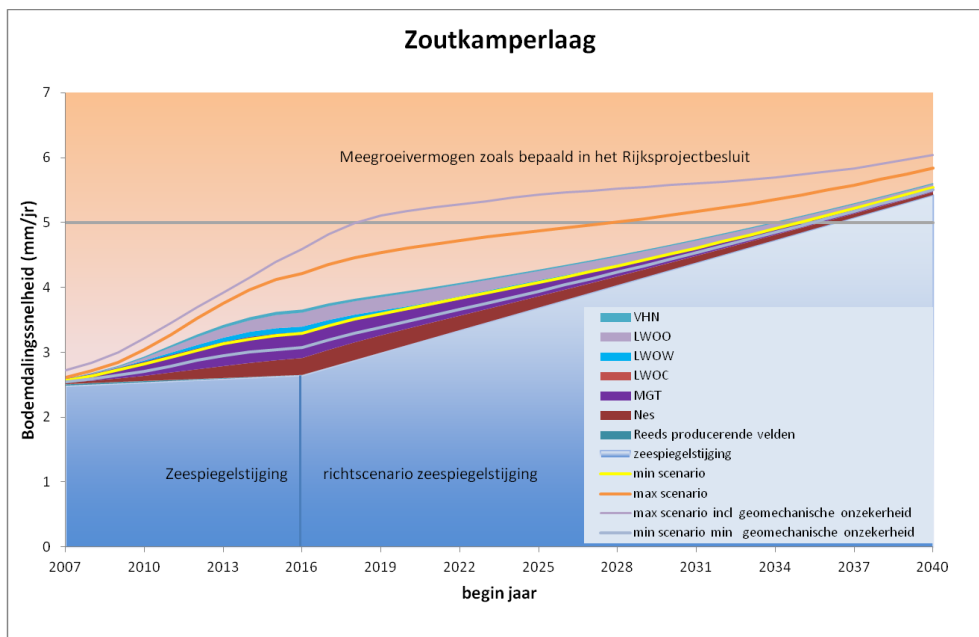
De begrenzende scenario's van de onzekerheidsbandbreedte (begrenzings van de rode lijnen in Figuur 8) in bodemdalingssnelheden zijn vervolgens omgerekend naar een procentueel verschil met de bodemdalingssnelheid die volgt uit het meest optimale (laagste RMS) scenario uit de Monte Carlo berekeningen. Dit percentage wordt vervolgens toegepast op de bodemdalingssnelheid zoals berekent met het Geomec model. Hiermee wordt uiteindelijk de onzekerheid ingeschat voor de bodemdalingssnelheid op basis van de uitkomst van het numerieke model. Dezelfde geomechanische onzekerheidsanalyse is ook uitgevoerd voor het verwachte en lage scenario.

Ook voor de Ameland voorkomens is, naast het verwachte scenario, een hoog en laag scenario gedefinieerd (zie Referentie 8). Een van de voorwaarden bij de instemming met het winningsplan 2012 voor Ameland was het doorrekenen van een additioneel scenario: het plotseling doorbreken van de aangrenzende aquifer ten zuidwesten van het Ameland-Oost voorkomen in de gaslaag (Referentie 12). In dit scenario wordt ervan uitgegaan dat alle permeabiliteitsbarrières tussen het water- en gasvoerende deel van het reservoir worden doorbroken op een bepaald tijdstip (In deze M&R cyclus is deze datum 1-1-2013). Met SodM en TNO-AGE is afgesproken om dit scenario als een hoog scenario mee te nemen in deze (2012) meet- en regelcyclus.

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 9 en Figuur 10.



Figuur 9 Voorspelde belasting voor het basis scenario voor het kombergingsgebied Pinkegat. De minimum en maximum scenario's zijn als lijnen (geel: minimum scenario, oranje: maximum scenario) weergegeven. Op deze minimum en maximum scenario's is vervolgens een "geomechanische" Monte-Carlo analyse toegepast. Aan de hand hiervan is een maximum scenario incl. geomechanische onzekerheid en een minimum scenario incl. geomechanische onzekerheid bepaald. De grijze lijnen in dit figuur geven de boven- cq ondergrens van de totale onzekerheid aan.



Figuur 10 Voorspelde belasting voor het basis scenario voor het kombergingsgebied Zoutkamperlaag. De minimum en maximum scenario's zijn als lijnen (geel: minimum scenario, oranje: maximum scenario) weergegeven. Op deze minimum en maximum scenario's zijn vervolgens een "geomechanische" Monte-Carlo analyse toegepast. Aan de hand hiervan is een maximum scenario incl. geomechanische onzekerheid en een minimum scenario incl. geomechanische onzekerheid bepaald. De grijze lijnen in dit figuur geven de boven- cq ondergrens van de totale onzekerheid aan.

Gezien de relatief kleine bodemdalingvolumes 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. Voor de berekening van de verwachte bodemdaling in de toekomst en de bijbehorende volume en bodemdalingssnelheden is uitgegaan van het basis scenario. Om de onzekerheid voor de volumes en bodemdalingssnelheden te bepalen is voor de individuele voorkomens gebruik gemaakt van het hoge en lage reservoir scenario (zie Tabel 2.4 t/m Tabel 2.7).

Bodemdalingsvolume voor bepaling belasting rapportagejaar 2011 met onzekerheid

Tabel 2.4 en Tabel 2.5 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 (2012) is. Voor de volledigheid zijn ook de resultaten voor het jaar 2007 tot en met 2009 getoond. Anjum heeft een verwaarloosbaar effect op de belasting in Pinkegat. Het hoge scenario in Ameland beschrijft het effect van het doorbreken van de waterlaag rond en onder het gasreservoir. Dit effect zal pas na 2015 merkbaar worden in de volumes. Tot dat moment liggen de volumes in het hoge scenario daarom dichtbij die van het verwachte scenario (Tabel 2.4). 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			
Jaar	Anjum/Ameland voorkomens	NES	MGT
	Volume (laag-hoog)	volume (laag-hoog)	volume (laag-hoog)
2007	50 (40 - 50)	1 (1 - 2)	3 (2 - 3)
2008	45 (36 - 45)	5 (5 - 6)	3 (2 - 3)
2009	41 (32 - 41)	9 (8 - 10)	4 (3 - 4)
2010	38 (30 - 38)	13 (12 - 15)	5 (4 - 5)
2011	36 (28 - 36)	19 (17 - 21)	6 (4 - 6)
2012	35 (27 - 36)	24 (21 - 28)	6 (4 - 7)
2013	33 (25 - 34)	30 (26 - 35)	6 (4 - 7)
2014	31 (24 - 31)	34 (30 - 42)	5 (4 - 7)
2015	29 (22 - 29)	38 (33 - 48)	4 (3 - 6)

Tabel 2.4 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 - 3)	0 (0 - 2)	8 (3 - 8)	
2008	3 (3 - 3)	4 (4 - 6)	16 (11 - 16)	2 (2 - 3)
2009	3 (3 - 3)	9 (8 - 11)	28 (22 - 31)	5 (4 - 6)
2010	2 (2 - 2)	14 (11 - 16)	41 (33 - 50)	10 (8 - 12)
2011	2 (2 - 2)	20 (16 - 24)	53 (42 - 67)	14 (11 - 19)
2012	1 (1 - 1)	25 (21 - 32)	53 (49 - 81)	41 (21 - 48)
2013	1 (1 - 1)	29 (25 - 41)	54 (52 - 89)	63 (32 - 78)
2014	0 (0 - 0)	35 (29 - 49)	61 (50 - 90)	62 (37 - 89)
2015	0 (0 - 0)	41 (32 - 56)	70 (45 - 86)	48 (44 - 98)

Tabel 2.5 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 2.6 geeft de bodemdalingssnelheid S voor het rapportagejaar 2012 en belasting B op 1-1-2013. De onzekerheidsbandbreedte wordt gekozen op basis van de combinatie van hoge en lage scenario's die gedefinieerd zijn voor de verschillende voorkomens (minimum en maximum scenario; respectievelijk gele en oranje lijn in Figuur 9 en Figuur 10).

Zoutkamperlaag		Pinkegat	
S (min-max)	B (min-max)	S (min-max)	B (min-max)
0,81 (0,62 - 1,10)	0,84 (0,64 - 1,16)	1,08 (0,87 - 1,17)	1,09 (0,88 - 1,20)

Tabel 2.6 Bodemdalingssnelheid en belasting (mm/jr) met onzekerheid (bandbreedte) per kombergingsgebied in het rapportagejaar 2012.

Actuele en voorspelde bodemdalingssnelheid en belasting

Tabel 2.7 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 $B(J)=(S(J-3)+ S(J-2)+\dots+S(J+2))/6$.

	Zoutkamperlaag			Pinkegat		
Jaar	S (min-max)	B (min-max)	G	S (min-max)	B (min-max)	G
2004	0,02(0,02 - 0,03)		2.57	1,13(0,91 - 1,13)		3.57
2005	0,02(0,02 - 0,02)		2.55	1,03(0,83 - 1,03)		3.55
2006	0,14(0,03 - 0,14)		2.53	1,07(0,86 - 1,07)		3.53
2007	0,07(0,07 - 0,20)	0,12(0,10 - 0,14)	2.52	0,89(0,71 - 0,89)	0,99(0,79 - 0,99)	3.52
2008	0,17(0,14 - 0,19)	0,19(0,16 - 0,22)	2.50	0,89(0,71 - 0,89)	0,96(0,76 - 0,96)	3.50
2009	0,31(0,25 - 0,35)	0,29(0,24 - 0,34)	2.48	0,91(0,72 - 0,91)	0,95(0,76 - 0,96)	3.48
2010	0,46(0,37 - 0,54)	0,40(0,34 - 0,52)	2.46	0,94(0,76 - 0,97)	0,95(0,76 - 0,98)	3.46
2011	0,60(0,48 - 0,75)	0,56(0,43 - 0,72)	2.44	1,01(0,81 - 1,06)	0,99(0,80 - 1,05)	3.44
2012	0,81(0,62 - 1,10)	0,71(0,54 - 0,95)	2.43	1,08(0,87 - 1,17)	1,04(0,84 - 1,12)	3.43
2013	1,00(0,74 - 1,41)	0,84(0,64 - 1,16)	2.41	1,13(0,92 - 1,26)	1,09(0,88 - 1,20)	3.41
2014	1,07(0,79 - 1,55)	0,94(0,71 - 1,35)	2.39	1,17(0,96 - 1,33)	1,13(0,92 - 1,35)	3.39
2015	1,08(0,82 - 1,63)	1,00(0,76 - 1,50)	2.37	1,20(0,98 - 1,40)	1,15(0,94 - 1,56)	3.37
2016	1,06(0,82 - 1,67)	1,02(0,77 - 1,58)	2.35	1,19(0,97 - 1,86)	1,15(0,94 - 1,79)	3.35
2017	1,00(0,76 - 1,62)	1,00(0,76 - 1,59)	2.24	1,14(0,93 - 2,34)	1,13(0,93 - 1,99)	3.24
2018	0,92(0,71 - 1,58)	0,95(0,73 - 1,58)	2.12	1,08(0,88 - 2,54)	1,10(0,90 - 2,15)	3.12
2019	0,85(0,66 - 1,52)	0,90(0,69 - 1,55)	2.01	1,03(0,83 - 2,50)	1,05(0,85 - 2,26)	3.01
2020	0,79(0,61 - 1,46)	0,84(0,64 - 1,50)	1.89	0,97(0,77 - 2,27)	1,00(0,80 - 2,25)	2.89
2021	0,75(0,57 - 1,42)	0,78(0,59 - 1,44)	1.77	0,91(0,72 - 2,03)	0,94(0,75 - 2,14)	2.77
2022	0,71(0,53 - 1,37)	0,73(0,55 - 1,38)	1.66	0,85(0,66 - 1,83)	0,88(0,69 - 1,97)	2.66
2023	0,67(0,49 - 1,30)	0,69(0,51 - 1,32)	1.54	0,79(0,61 - 1,66)	0,82(0,64 - 1,79)	2.54
2024	0,62(0,46 - 1,23)	0,64(0,47 - 1,26)	1.43	0,74(0,56 - 1,53)	0,77(0,59 - 1,64)	2.43
2025	0,57(0,42 - 1,15)	0,60(0,44 - 1,19)	1.31	0,68(0,51 - 1,43)	0,71(0,54 - 1,51)	2.31
2026	0,52(0,38 - 1,08)	0,55(0,40 - 1,12)	1.19	0,63(0,47 - 1,34)	0,66(0,49 - 1,40)	2.19
2027	0,48(0,35 - 1,01)	0,50(0,37 - 1,05)	1.08	0,59(0,43 - 1,26)	0,62(0,45 - 1,31)	2.08
2028	0,44(0,32 - 0,94)	0,46(0,34 - 0,97)	0.96	0,56(0,40 - 1,19)	0,58(0,42 - 1,24)	1.96
2029	0,40(0,29 - 0,87)	0,42(0,31 - 0,91)	0.85	0,53(0,37 - 1,13)	0,55(0,39 - 1,16)	1.85
2030	0,37(0,27 - 0,80)	0,39(0,28 - 0,84)	0.73	0,51(0,35 - 1,07)	0,52(0,36 - 1,09)	1.73
2031	0,34(0,25 - 0,75)	0,36(0,26 - 0,78)	0.61	0,48(0,33 - 0,99)	0,49(0,34 - 1,01)	1.61
2032	0,32(0,23 - 0,69)	0,33(0,24 - 0,73)	0.50	0,45(0,30 - 0,89)	0,45(0,31 - 0,91)	1.50
2033	0,29(0,21 - 0,65)	0,31(0,22 - 0,67)	0.38	0,40(0,28 - 0,78)	0,41(0,29 - 0,81)	1.38
2034	0,27(0,19 - 0,60)	0,28(0,20 - 0,63)	0.27	0,35(0,24 - 0,64)	0,37(0,26 - 0,69)	1.27
2035	0,25(0,18 - 0,56)	0,26(0,19 - 0,58)	0.15	0,28(0,21 - 0,49)	0,32(0,23 - 0,57)	1.15
2036	0,23(0,16 - 0,51)	0,24(0,17 - 0,54)	0.03	0,23(0,18 - 0,37)	0,27(0,20 - 0,47)	1.03
2037	0,21(0,15 - 0,48)	0,22(0,16 - 0,50)	0.00	0,19(0,16 - 0,29)	0,23(0,18 - 0,38)	0.92
2038	0,19(0,14 - 0,44)	0,21(0,15 - 0,47)	0.00	0,17(0,14 - 0,26)	0,20(0,16 - 0,31)	0.80
2039	0,18(0,13 - 0,42)	0,19(0,14 - 0,43)	0.00	0,16(0,14 - 0,24)	0,18(0,15 - 0,27)	0.69
2040	0,18(0,13 - 0,39)	0,18(0,13 - 0,41)	0.00	0,16(0,13 - 0,24)	0,17(0,14 - 0,25)	0.57
2041	0,17(0,12 - 0,37)	0,17(0,13 - 0,38)	0.00	0,16(0,13 - 0,23)	0,16(0,14 - 0,24)	0.45
2042	0,16(0,12 - 0,35)	0,17(0,12 - 0,36)	0.00	0,16(0,13 - 0,23)	0,16(0,13 - 0,23)	0.34

Tabel 2.7 bodemdalingssnelheid S met bijbehorende onzekerheidsbereik bepaald door het maximum en minimum scenario, belasting B en gebruiksruimte G voor de kombergingsgebieden Zoutkamperlaag en Pinkegat (mm/jaar) op basis van het productie profiel volgens Tabel 2.8 en inclusief de bodemdalingssnelheid veroorzaakt door de Anjum en Ameland-Oost voorkomens. De splitsing vanaf 2016 geeft aan dat de Gebruiksruimte G geldig is tot 2016, vanaf deze datum geldt het richtscenario zeespiegelstijging en het hier van afgeleide richtscenario Gebruiksruimte.

2.5. Indien nodig aanpassen productie (stap 5)

Tabel 2.8 toont de jaarlijkse productie per voorkomen. Totale productie is overeenkomstig de in 2011 ingediende wijziging winningsplan Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen (Referentie 1).

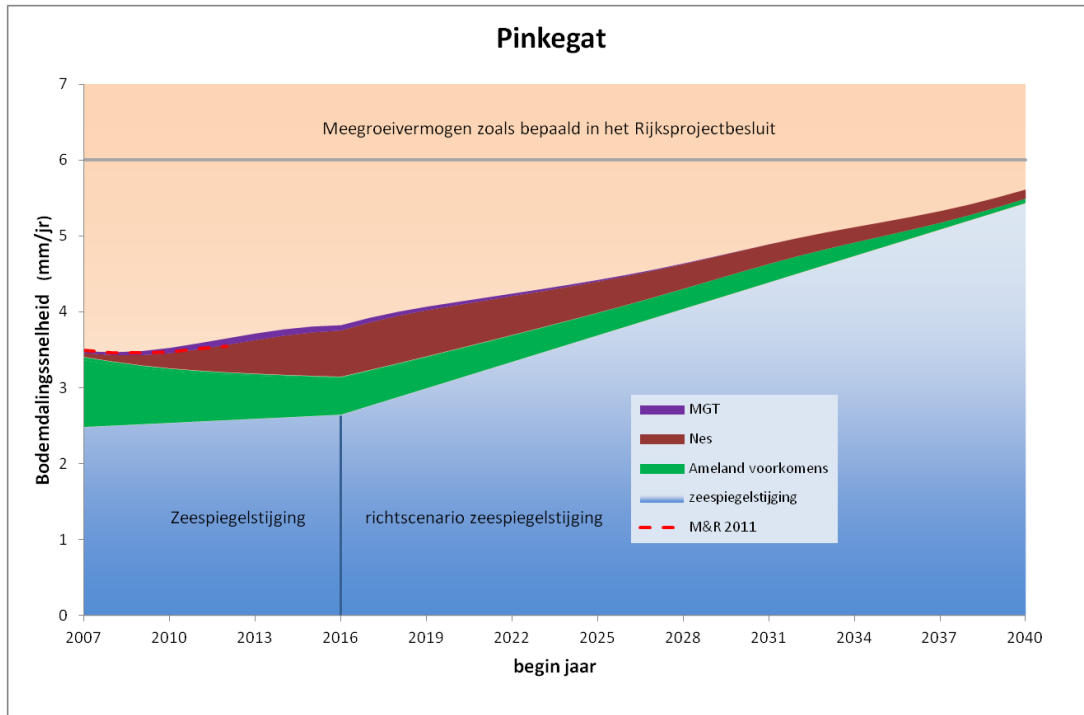
Uitgaande van het basis scenario en de productie volgens Tabel 2.8 volgen waarden voor de bodemdalingssnelheid S en de resulterende belasting B die niet leiden tot overschrijding van de gebruiksruimte eerder dan het jaar 2035 (zie Tabel 2.7). In ieder geval zal de gebruiksruimte niet voor 1-1-2016 worden overschreden. Na deze tijd geldt voorlopig het richtscenario van de zeespiegelstijging.

Jaar	Moddergat	Nes	Lauwersoog-Lauwersoog-Lauwersoog-Vierhuizen-			
			Oost	West	C	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	395	1064	262	136	40	155
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	-

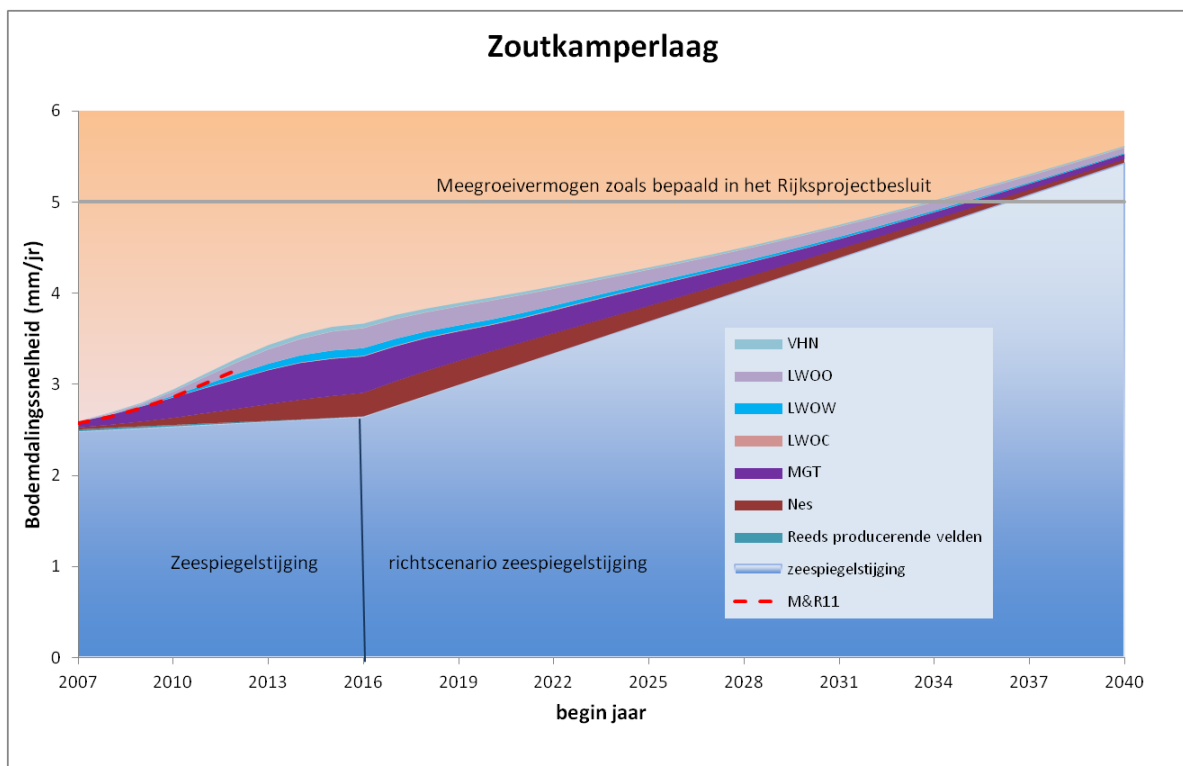
Tabel 2.8 Gerealiseerde (2007 - 2012) en voorgenomen productie (miljoen m³) per voorkomen.

2.6. Actualiseren (stap 6)

Figuur 11 en Figuur 12 tonen de geactualiseerde berekeningen van de 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 overschrijden. In de figuren is tevens de belasting zoals gerapporteerd in de Meet- en regelcyclus rapportage over 2011 (gerapporteerd in 2012) voor de jaren 2007 t/m 2012 weergegeven.



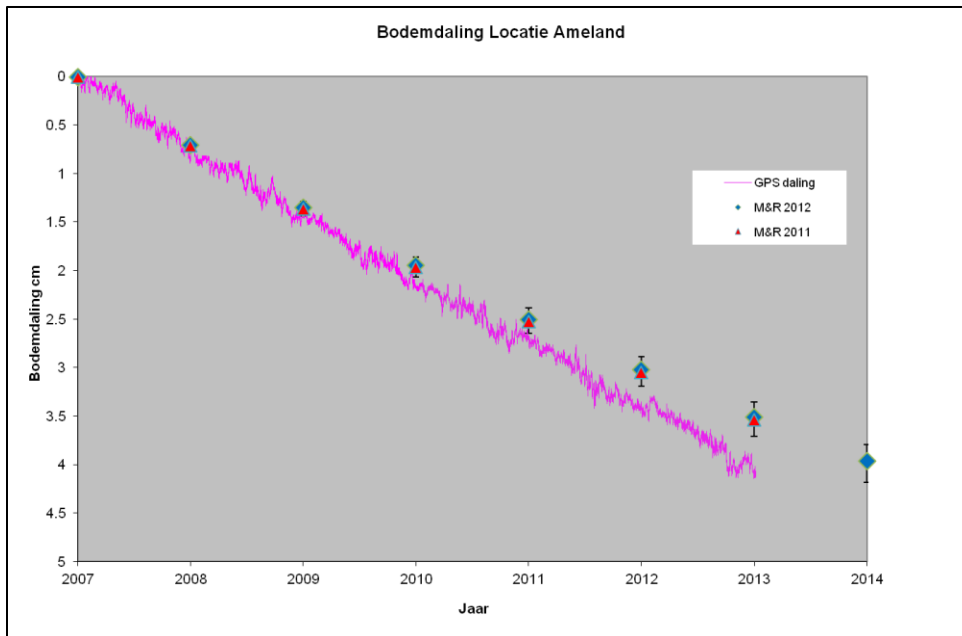
Figuur 11 Voorspelde belasting inclusief Zeespiegelstijging voor het kombergingsgebied Pinkegat. Voor de modellering van de bodemdaling tengevolge van de gaswinning van Ameland is het meest recente geomechanische model toegepast. De rood gestreepte lijn geeft berekende belasting aan zoals gerapporteerd in de Meet- en regelcyclusrapportage over 2011 (gerapporteerd in 2012).



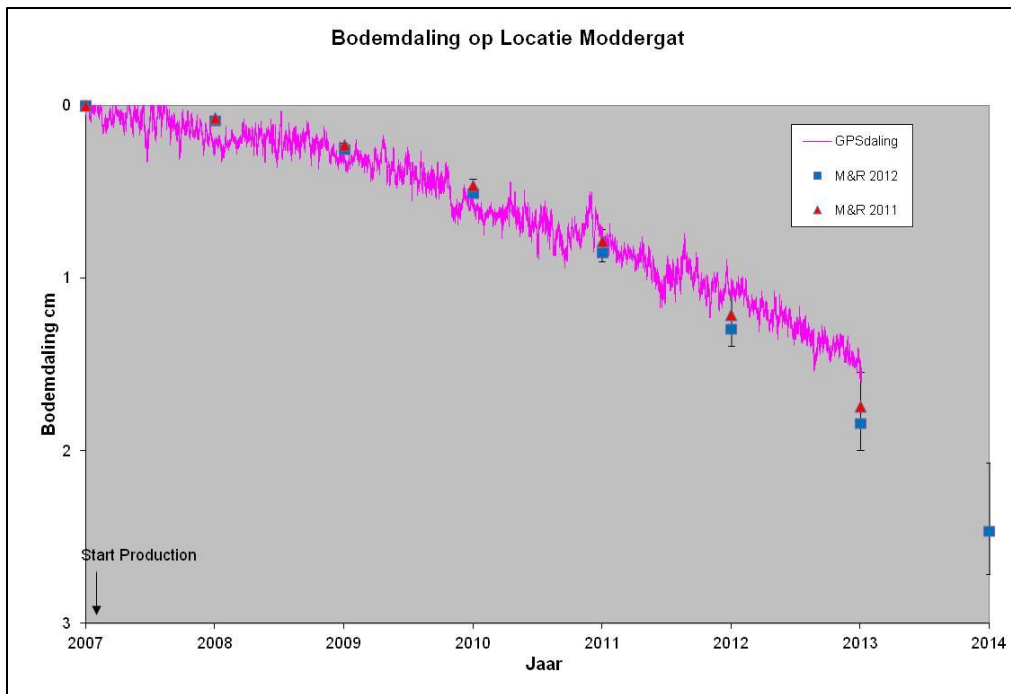
Figuur 12 Voorspelde belasting inclusief Zeespiegelstijging + autonome daling voor het kombergingsgebied Zoutkamperlaag. De rood gestreepte lijn geeft berekende belasting aan zoals gerapporteerd in de Meet- en regelcyclusrapportage over 2011 (gerapporteerd in 2012).

Bodemdaling GPS locaties op Moddergat en Ameland

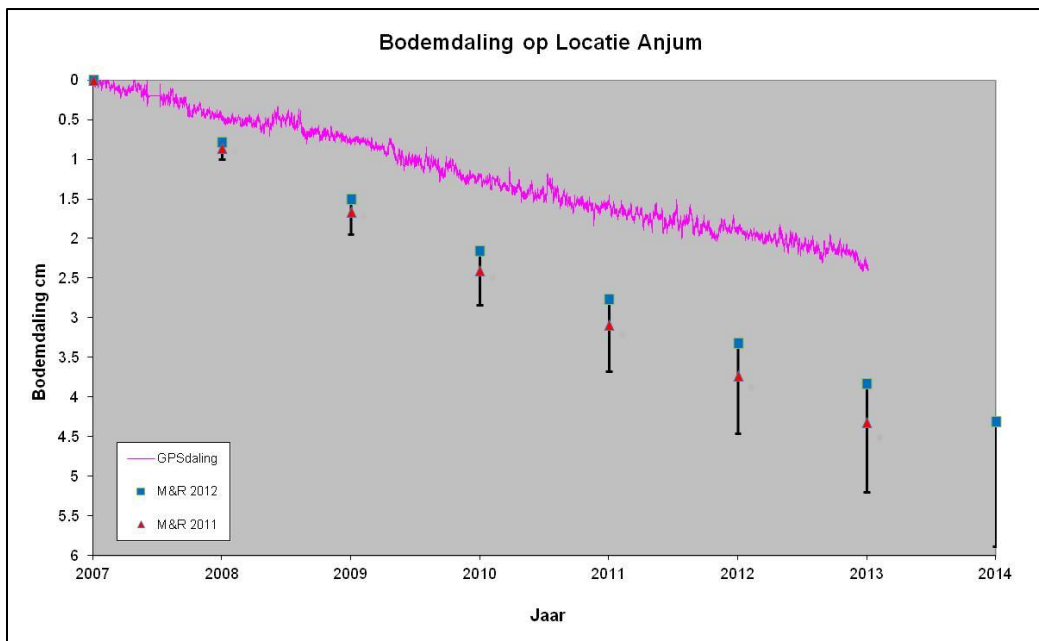
Figuur 13, Figuur 14 en Figuur 15 geven de geprognosticeerde daling tot en met 2012 plus de gemeten daling vanaf begin 2007 op de GPS locaties grafisch weer. Afwijkingen tussen het model en het GPS punt worden voornamelijk veroorzaakt door de keuze om de kalibratie te optimaliseren voor het minimale verschil op basis van alle meetpunten. Volgens het M&R protocol (Referentie 15) dient de continue GPS meting als signaal om een nieuwe vlakdekkende meting uit te voeren als de GPS meting een significant hogere bodemdaling aangeeft dan de prognose. Dit is niet het geval (Ameland valt niet onder het M&R protocol).



Figuur 13 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 over 2011 is aangegeven in rood.



Figuur 14 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 over 2011 is aangegeven in rood.



Figuur 15 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 over 2011 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 2012 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 2012 in de Asset Land uitgevoerd.

Conform het M&R protocol zijn de bijbehorende relevante documenten bewaard in de 'livelink' omgeving van Shell/NAM

Registratie	Bewaarplaats NAM	Vastgelegd in
Winningsplan	https://sww-knowledge-epe.shell.com/teamepns/livelink.exe?func=ll&objId=13141552&objAction=browse&sort=name	P.04 Aanvraag en beheer van project of inrichtingsvergunning-NL
Meetplan	https://sww-knowledge-epe.shell.com/teamepns/livelink.exe?func=ll&objId=11198926&objAction=browse&sort=name	P.04 Aanvraag en beheer van project of inrichtingsvergunning-NL
Productiedata	http://sww-discovery.shell.com:500/	P.71
Meetregister	https://sww-knowledge-epe.shell.com/teamepns/livelink.exe?func=ll&objId=11199240&objAction=browse&sort=name	P.18

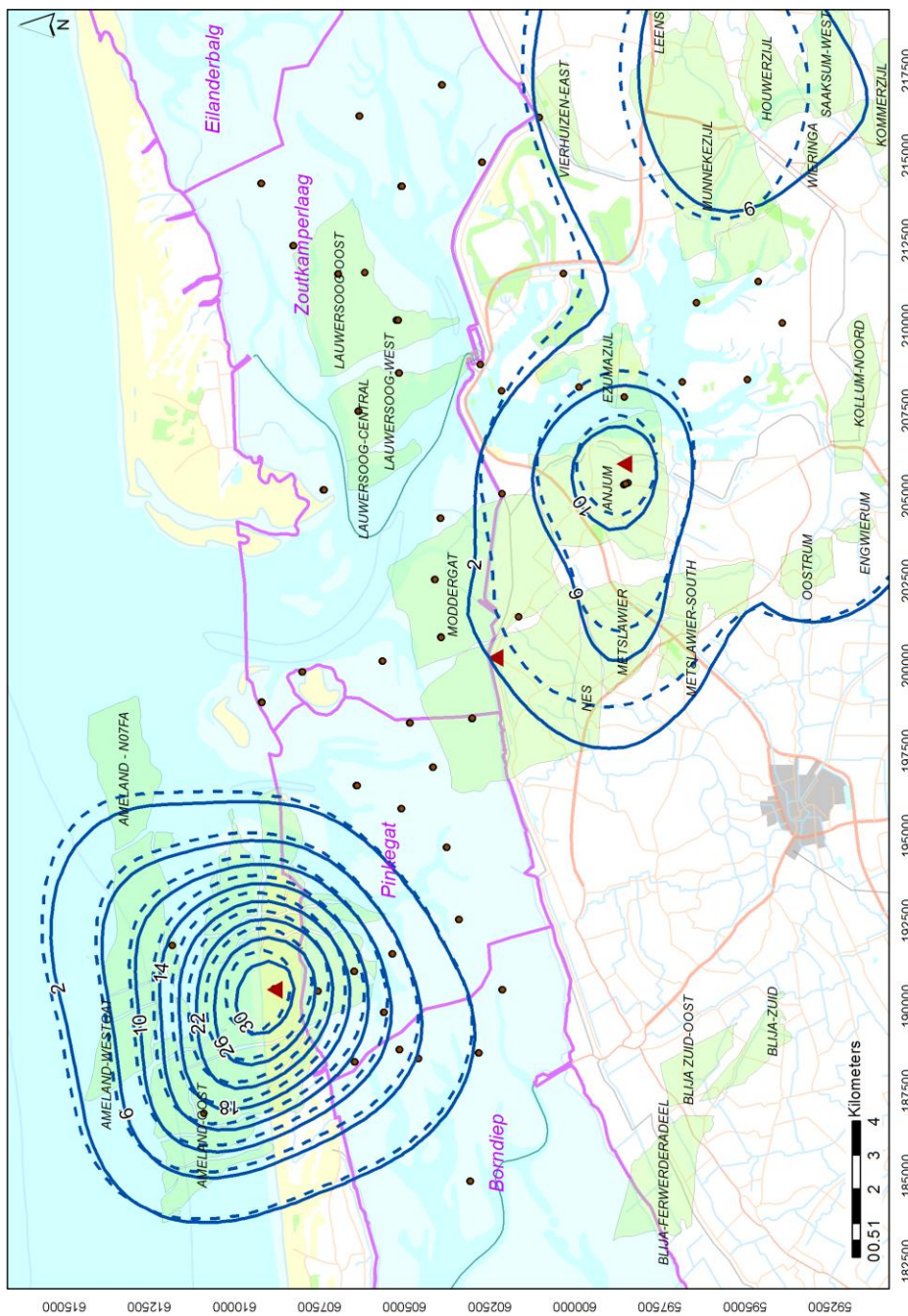
4. Conclusie

- De beschikbare modellen voor de voorkomens onder en rondom de Waddenzee zijn grondig geëvalueerd en gekalibreerd met de beschikbare metingen. De resultaten tussen metingen en modellen komen goed met elkaar overeen
- Volgens het meetplan Waddenzee 2011 (dd.26/10/2011 en goedkeuring van SodM, kenmerk brief 11181596) zijn in 2012 GPS metingen uitgevoerd op 20 peilmerken van de clusters in de kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag en 8 peilmerken in het Lauwersmeer, alsmede waterpassing op Schiermonnikoog. Deze metingen zijn gebruikt in de kalibratie van de modellen.
- De continue GPS metingen op de locaties boven de gasvelden Ameland, Anjum en Moddergat, die respectievelijk in juni en december 2006 zijn gestart (nog voor aanvang van de productie in Nes en Moddergat), zijn in 2012 voortgezet. De modellen volgen deze metingen redelijk tot goed, waarbij opgemerkt dient te worden dat de kalibratie van het model wordt gedaan op basis van alle metingen.
- 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 8). 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 3.
- De resultaten voor deze meet- en regelcyclus wijken nauwelijks af van de resultaten uit de meet- en regelcyclus 2011.
- Naast het basis scenario, dat tevens het verwachte scenario is, zijn een laag en hoog drukdalingsscenario doorgerekend voor de verschillende voorkomens. Alle mogelijke combinaties van deze scenario's in combinatie met de verwachte mechanische eigenschappen van het gesteente leiden tot bodemdalingssnelheden die binnen de gebruikruimte blijven. Wanneer de maximale geomechanische onzekerheid bij het maximale drukdalingsscenario (combinatie van de hoge scenario's van de individuele voorkomens) wordt opgeteld overschrijdt de bodemdaling de gebruikruimte rond het jaar 2023. In 2023 geldt echter het (conservatieve) richtscenario van de zeespiegelstijging. Zowel de onzekerheid mbt dit scenario als de tijd tot het jaar 2023 biedt voldoende mogelijkheid om de productie zonodig aan te passen.
- De meet- en regelcyclus stuurt op basis van de verwachtingswaarde van de Belasting uitgaande van het verwachte scenario. Aangezien de resultaten op basis van het verwachte scenario binnen de gebruikruimte vallen, worden er geen maatregelen genomen om de productie bij te stellen.

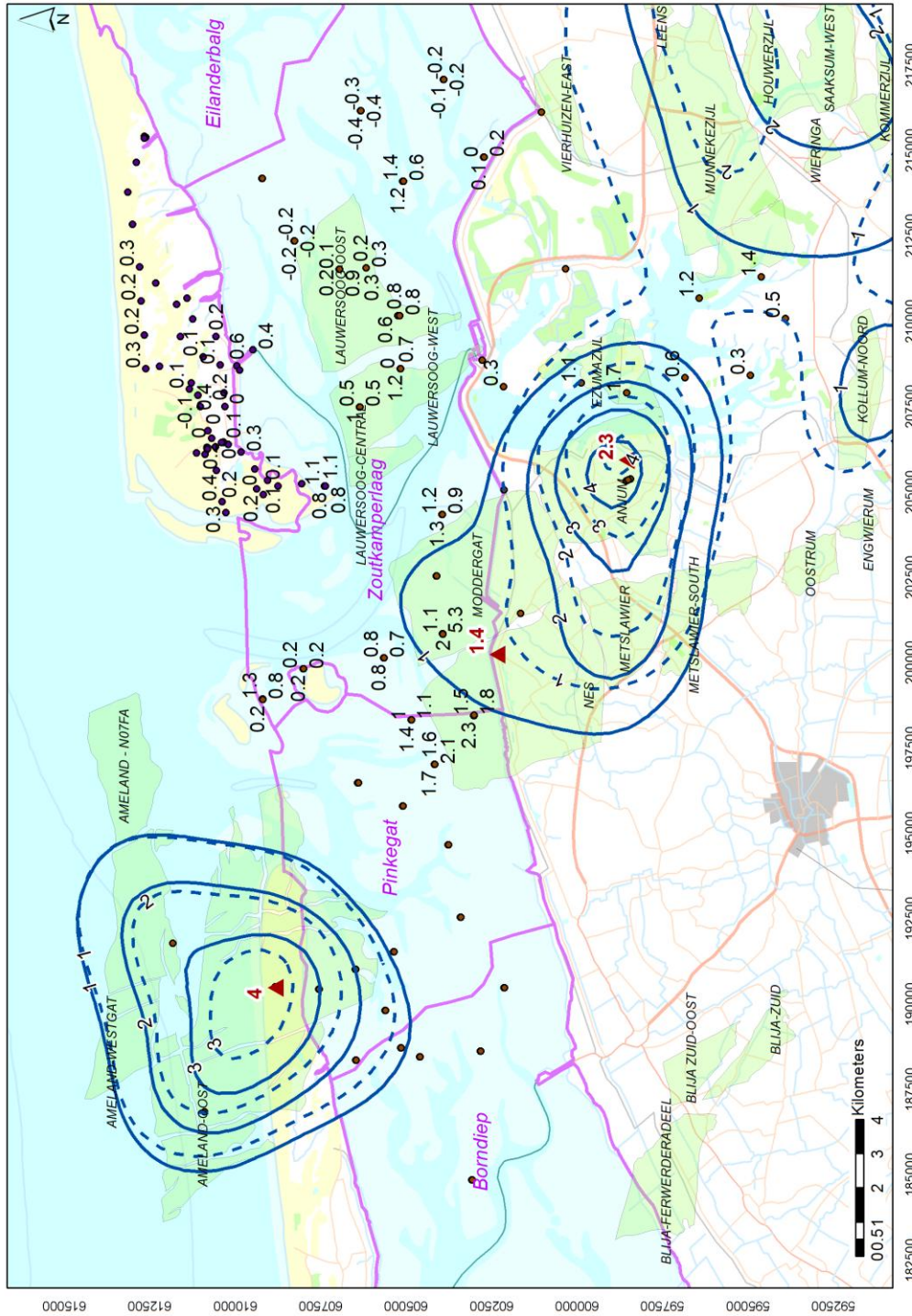
5. Referenties

- Referentie 1 NAM (30/09/2011) Wijziging winningsplan Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen
- Referentie 2 Bodemdalingstudie Waddenzee 2004 – Vragen en onzekerheden opnieuw beschouwd. Rapport RIKZ / 2004.025.
- Referentie 3 NAM (2012) Gaswinning Moddergat/Lauwersoog/Vierhuizen: Technische bijlage (bijlage 3) behorend bij het geactualiseerde Meet- en Regelprotocol d.d. 1 april 2012. EP201201210893
- Referentie 4 Gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. resultaten uitvoering Meet- en Regelcyclus 2011; Rapport EP201203206219, mei 2012
- Referentie 5 GPS Survey NAM Waddenzee v. 1.17. 06-GPS B.V., 01/2013.
- Referentie 6 Check reference station coordinates NAM project Waddenzee. 06 GPS B.V., 06/2012.
- Referentie 7 NLGEO2004: het geïdemodel voor Nederland. Data-ICT-Dienst, Rijkswaterstaat, URL: <http://www.rdnap.nl/algemeen/hoochte/geoide.html>.
- Referentie 8 NAM (30/09/2011) Wijziging winningsplan Ameland-Oost, Ameland-Westgat en Ameland-N07
- Referentie 9 Advies actualisering beleidsscenario zeespiegelstijging voor bepaling gebruiksruimte voor gaswinning onder de Waddenzee vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen, brief aan Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, dd 7 januari 2011
- Referentie 10 (NAM 26/10/2011) Meetplan Waddenzee 2011
- Referentie 11 (NAM 16/07/2012) Meetregister bij het meetplan Waddenzee 201 Rapportage van de nauwkeurigheidswaterpassing Schiermonnikoog 2012
- Referentie 12 NAM (2013) Ameland aquifer water breakthrough scenario and impact on loading rate in the Pinkegat sand sharing area NAM EP201211243209
- Referentie 13 NAM (2012) Gaswinning Moddergat, Lauwersoog, Vierhuizen: Actualisering meet- en regelprotocol n.a.v. wijziging winningsplannen 2011 NAM EP200612202112
- Referentie 14 Staatscourant (2013) Kennisgeving besluiten gaswinning Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen, Ministerie van Economische Zaken. URL: <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2013-7384.html?zoekcriteria=%3fzkt%3dEenvoudig%26pst%3d%26vrt%3dmoddergat%2binstemming%26zkd%3dInDeGeheleText%26dpr%3dAfgelopenDag%26sdt%3dDatumBrief%26ap%3d%26pnr%3d1%26rpp%3d10&resultIndex=0&sorttype=1&sortorder=4>
- Referentie 15 NAM (2012) Gaswinning Moddergat/Lauwersoog/Vierhuizen: Technische bijlage (bijlage 3) behorend bij het geactualiseerde Meet- en Regelprotocol d.d. 1 juli 2012. Doc. Nr EP201201210893

Bijlage 1. Gemodelleerde en gemeten bodemdaling 2012



Figuur 16 Totale bodemdaling (status 1-1-2012) door gaswinning sinds de start van de productie. In blauw de contouren van de gemodelleerde bodemdaling (gestreepte contouren geven de bodemdaling 2011 zoals beschreven in de M&R rapportage over 2011). Boven de gasvelden Ameland-Oost, Nes/Moddergat en Anjum zijn op 3 posities continue GPS metingen uitgevoerd (rode driehoek). Bodemdaling in cm.



Figuur 17 Totale bodemdaling (status 1-1-2012) door gaswinning sinds de nulmeting Waddenzee in 2006. In blauw de contouren van de gemodelleerde bodemdaling volgens de aangepaste/gekalibreerde geomechanische modellen (gestreepte contouren geven de bodemdaling 2011 weer zoals getoond in de M&R rapportage over 2011). De punten met label representeren de peilmerken met de in 2012 gemeten hoogteverschillen vanaf 2006 (nulmeting Waddenzee). Bodemdaling in cm.