

**Gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en
Vierhuizen**

Resultaten uitvoering Meet- en regelcyclus 2013

NAM B.V.

EP Document Nummer.:	EP201403202106	Owner:	UIO/T/DL
Revision No.:		Status:	FINAL
Document Date:	1/5/2014	Security:	

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 verzoek om instemming op een wijziging van dit winningsplan ingediend (Referentie 1), alsmede voor wijzigingen van de winningsplannen Anjum en Ameland. In 2013 heeft de minister ingestemd met deze wijzigingen voor de winningsplannen (Referentie 13).

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 12 en Referentie 14).

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 (Referentie 10) worden elke 3 jaar geodetische GPS metingen uitgevoerd op peilmerken van de peilmerkclusters in de kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag. Omwille van de totale benodigde tijd van meten en om elk jaar te kunnen monitoren wordt de meetinzet verdeeld over de 3 jaren, zodat er elk jaar een aantal GPS metingen plaatsvinden. In 2013 zijn er op 8 peilmerkclusters metingen uitgevoerd.

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 2013 voortgezet.

Bij 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. Deze modellen zijn verder bijgewerkt en gekalibreerd op basis van gegevens uit de nieuwe boring in het Nes veld en productie data. De gedetailleerde dynamische reservoir simulatie modellen zijn ook bijgewerkt op basis van deze nieuwe geologische modellen en gekalibreerd met de gemeten gasproductie en reservoir drukgegevens. Het geomechanische model is met deze vernieuwde modellen geüpdatet en opnieuw gekalibreerd. De kalibratie is uitgevoerd met de gemeten bodemdaling die sinds de start van de productie in 1997 in Anjum heeft plaatsgevonden. De latere metingen in de Waddenzee boven de velden Nes, Moddergat en Lauwersoog-C, -O en -W zijn ook meegenomen in deze kalibratie.

De onzekerheid in de geologie (structuur) en dynamisch reservoir gedrag is onderzocht door verschillende parameters per voorkomen te variëren. Combinaties van deze variaties leiden vervolgens tot de definities van een aantal scenario's.

Deze scenario's zijn gematcht met de bodemdaling met behulp van analytische en numerieke geomechanische modellen.

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

Met behulp van deze scenario's en gecombineerd met 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.

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, eerste orde passing zien tussen meting en model, zowel op het eiland Ameland als in de Waddenzee (Referentie 8). De werkelijke productie in het jaar 2013 is meegenomen voor de history match t/m het jaar 2013. De bijgewerkte drukken, die volgen uit deze history match, zijn vervolgens gebruikt in het geomechanische model. Het signaal van de permanente GPS en de doorgaande daling in een aantal meetpunten nabij het diepste punt van de bodemdalingsskom, heeft tot het besluit geleid om een nieuwe kalibratie uit te voeren voor Ameland. Dit heeft geresulteerd in een aanpassing van de zgn. time decay factor en een verhoging van de compressibiliteit van het reservoir gesteente waardoor er enkele centimeters meer bodemdaling in de toekomst verwacht wordt. Deze uitkomst is meegenomen in de berekening van de bodemdalingssnelheid in de kombergingsgebieden.

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 van metingen en modellen komen goed met elkaar overeen
- Op basis van het meetplan Waddenzee zijn in 2013 GPS metingen in de Waddenzee uitgevoerd op 8 peilmerken van de clusters in de kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag. 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 vóór aanvang van de productie in Nes en Moddergat), zijn in 2013 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 beschikbare 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 is opnieuw gekalibreerd en wordt in meer detail beschreven in Referentie 3 en Referentie 15 .
- Er is geen integrale onzekerheidsanalyse uitgevoerd voor de gehele keten van de modellering maar wel een analyse voor de delen. Er zijn een aantal realisaties geleverd van mogelijke reservoirdrukken per voorkomen. De volgende parameters zijn gevarieerd in de reservoirmodellen: diepteligging van de top structuur kaart voor het reservoir, activiteit aquifer (watervoerend pakket) en het GIIP (initiële volume aan aardgas). Een combinatie van deze realisaties heeft geleid tot de definitie van het lage, basis en hoge scenario.
- Alle mogelijke combinaties van deze scenario's (laag, basis en hoog) in combinatie met de verwachte geomechanische eigenschappen van het

gesteente leiden tot bodemdalingssnelheden die binnen de gebruiksruimte blijven tot het jaar 2034.

- Wanneer rekening wordt gehouden met de geomechanische onzekerheid bij het hoge drukdalingsscenario overschrijdt de bodemdaling de gebruiksruimte rond het jaar 2025 in Zoutkamperlaag en rond het jaar 2030 in Pinkegat. Opgemerkt dient te worden dat in deze periode het (conservatieve) richtscenario van de zeespiegelstijging geldt en dat het onwaarschijnlijk is dat dit maximum scenario de realiteit zal gaan vormen.
- Volgens het basis scenario zal de bodemdaling de gebruiksruimte rond het jaar 2034 overschrijden. Dit scenario past het best met de beschikbare metingen.
- De meet- en regelcyclus stuurt op basis van de verwachtingswaarde voor de Belasting uitgaande van het basis scenario. Aangezien de bodemdaling volgens het basis scenario binnen de gebruiksruimte valt (in ieder geval voor de komende 20 jaar), worden er geen maatregelen genomen om de productie bij te stellen.

Inhoud

1.	Inleiding	7
2.	Deelprocessen.....	9
2.1.	Metten (stap 1).....	9
	Vlakdekkende metingen	9
	Reservoir monitoring	9
2.2.	Analyseren meetgegevens (stap 2).....	10
	Kwaliteitscontrole en bodemdalingsberekening	10
	Resultaat bodemdalingsanalyse	10
	Waddenzee voorkomens.....	10
	Continue GPS metingen.....	11
2.3.	Verifiëren prognose (stap 3).....	11
	Verbetering van de statische modellen.....	11
	Kalibratie reservoir simulatiemodellen Wadden voorkomens.....	11
	Om tot een zo goed mogelijk passing te komen zijn verschillende realisaties onderzocht.	13
	Modellering bodemdaling Anjum en Wadden voorkomens	15
	Onzekerheid gemodelleerde bodemdaling	18
2.4.	Berekenen volume en gemiddelde daling (stap 4)	23
	Bepaling volume en gemiddelde daling	23
	Bodemdalingsvolume voor bepaling belasting rapportagejaar 2011 met onzekerheid	26
	Actuele en voorspelde bodemdalingssnelheid en belasting.....	27
2.5.	Indien nodig aanpassen productie (stap 5)	29
2.6.	Actualiseren (stap 6)	30
	Bodemdaling GPS locaties op Moddergat en Ameland	32
3.	Kwaliteitsborging.	34
4.	Conclusies.....	35
5.	Referenties	36
	Bijlage 1. Gemodelleerde en gemeten bodemdaling 2013.....	37

1. Inleiding

Voor het jaar 2013 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 2 en Figuur 3).
2. Tabellen met de jaarlijkse toename van het bodemdalingsvolume (inclusief onzekerheid) per voorkomen per kombergingsgebied voor de jaren 2007 t/m 2016 (Tabel 2-5 en Tabel 2-6).
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 2-8).
De in een bepaald jaar gerapporteerde belasting B wordt berekend voor de situatie op 1 januari van dat jaar. Voor de rapportage in 2014 (over het jaar 2013) wordt op deze manier een B voor 1 januari 2014 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 2-9).
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 de gebruikruimte (G) vastgelegd.

Definitie van scenario's: minimum, laag, basis, hoog en maximum

Er is geen integrale onzekerheidsanalyse uitgevoerd voor de gehele keten van de modellering maar wel een analyse voor de delen. Er zijn een aantal realisaties geleverd van mogelijke reservoirdrukken per voorkomen. De volgende parameters zijn gevarieerd in de reservoirmodellen: diepteligging van de top structuur kaart voor het reservoir, activiteit aquifer (watervoerend pakket) en het GIIP.

Combinatie van deze realisaties heeft geleid tot de definitie van het lage, basis en hoge scenario.

- Het lage scenario wordt gevormd door de realisaties met een mobiel aquifer voor alle voorkomens. In dit scenario leidt de aanname van een mobiel aquifer in Anjum tot een verlaging van de gesteentecompressibiliteit waardoor er in de toekomst minder daling zal optreden boven de waddenvoorkomens.
- Het basis scenario wordt gedefinieerd door de realisaties met een immobiel aquifer.
- Het hoge scenario wordt gevormd door de realisaties met een immobiel aquifer voor de velden Anjum, Ezumazijl en Metslawier en een mobiel aquifer voor Nes, Moddergat, LWO-C,-O,-W en Vierhuizen.

Uit de analyse van de overige combinaties van realisaties blijkt dat de diepteligging van de top structuur kaart en het GIIP weinig invloed hebben op de bodemdalingssnelheid in de kombergingsgebieden.

De geomechanische parameters (gesteenstijfheid en time decay constante) die bij deze scenario's horen zijn gekalibreerd met de geomechanische numerieke (Geomec) modellen.

Naast deze modellen zijn er ook geomechanische analytische modellen gebruikt om de onzekerheidsruimte te onderzoeken voor bepaalde compactiemodellen en bijbehorende parameters. Deze onzekerheidsruimte is begrensd door de RMS waarde die volgt uit vergelijking tussen de modelresultaten en de metingen. Maximum en minimum begrenzings zijn gebruikt boven op de bovengenoemde hoge en lage reservoirscenario's. Dit leidt tot de definitie van het minimum en maximum scenario:

- Het minimum scenario bestaat uit het lage (reservoir) scenario inclusief de minimum begrenzing bepaald door de geomechanische onzekerheid.
- Het maximum scenario bestaat uit het hoge (reservoir) scenario inclusief de maximum begrenzing bepaald door de geomechanische onzekerheid.

Door de combinatie van extreme scenario's is het niet waarschijnlijk dat dit minimum, danwel maximum scenario zal optreden.

2. Deelprocessen

Op basis van de tot en met het jaar 2013 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 2013.

2.1. Meten (stap 1)

Vlakdekkende metingen

Op basis van het meetplan Waddenzee zijn in 2013 GPS metingen in de Waddenzee uitgevoerd op 8 peilmerken van de clusters in de kombergingen Pinkegat en Zoutkamperlaag. De GPS metingen op het Wad zijn in Referentie 5 beschreven. De resultaten van de permanente GPS metingen zijn maandelijks aan SodM gerapporteerd.

Op basis van het meetplan Noord-Nederland 2013 is de deformatie bepaald middels InSAR techniek en gerapporteerd in het betreffende meetregister (zie Referentie 16). Het geanalyseerde gebied omvat tevens het gehele Lauwersmeergebied.

In de InSAR techniek wordt gebruikt gemaakt van een tijdserie van radar opnames van een satelliet. De meetpunten (Persistent Scatterers, PS) hebben een consistente reflectie in de tijd, en corresponderen voornamelijk met de bebouwing in het terrein. De beweging van de Persistent Scatterers wordt berekend uit het faseverschil van de Radar waarnemingen tussen de verschillende opnames in de tijdserie.

Om de hoeveelheid aan data te beperken en de precisie en betrouwbaarheid te verhogen, wordt de gemiddelde deformatie bepaald voor opeenvolgende tijdvakken van een jaar, met tenminste zeven opnames. De bepaling van het gemiddelde gebeurt met veronderstelling van een lineaire trend, d.w.z. dat een dergelijke trend voor ieder tijdvak apart wordt geschat, en de functiewaarde in het midden van het tijdvak wordt gerapporteerd. Aangezien het laatste geproceste radarbeeld van juni 2013 is, wordt de gemiddelde deformatie telkens bepaald per december van elk jaar en is de laatste waarde die van december 2012.

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 2013.

Velden	Datum	Cumulatieve productie (10 ⁶ Nm ³)	Druk op reservoir niveau (bara)
Nes	22/4/2013	4655	347 (@ 3700 mTVDNAP)
Moddergat	19/4/2013	2675	246 (@ 3860 mTVDNAP)
Lauwersoog-C	18/03/2013	47	317 (@ 4035 mTVDNAP)
Lauwersoog-West	24/06/2013	949	165 (@ 4060 mTVDNAP)
Lauwersoog-Oost	19/04/2013	1254	211 (@ 4050 mTVDNAP)

Tabel 2-1 Resultaten reservoir drukmeting 2013 met cumulatieve productie op tijdstip van de meting

Velden	Cumulatieve productie (10 ⁶ Nm ³)	Productie volgens 2011 winningsplan in 2013 (10 ⁶ Nm ³)	Productie in 2013 (10 ⁶ Nm ³)
Nes	5593	1589	1427
Moddergat	2943	201	406
Lauwersoog-C	79	17	39
Lauwersoog-West	1014	132	122
Lauwersoog-Oost	1399	201	215
Vierhuizen-Oost	1255	355	143
Totaal	12283	2615	2352

Tabel 2-2 Productie per voorkomen tot en met 31/12/2013

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 zevental permanente stations als vaste (statische) referentie gebruikt. De coördinaten van deze stations zijn voorafgaand aan de 2013 campagne in een aparte analyse over een periode van zes weken bepaald. De lange termijn beweging van deze stations evenals 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 geoïdemodel (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 3 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. Deze benadering zorgt ervoor dat het gemodelleerde bodemdalingsvolume zeer waarschijnlijk wordt overschat en daarmee conservatief wordt ingeschat.

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. Voor de bepaling van de snelheid en bijbehorende standaardafwijking wordt rekening gehouden met de correlatie van hoogteschattingen in de GPS tijdserie. Het GPS-signaal in tijd wordt in Figuur 13, Figuur 14 en Figuur 15 getoond.

Locatie	Daling van 05/02/07 t/m 31/12/2013 [mm]	Dalingssnelheid in 2013 [mm/jaar]
Ameland	46	6.7 [$1\sigma = 0.5$ mm/jaar]
Anjum	26	3.1 [$1\sigma = 0.5$ mm/jaar]
Moddergat	18	3.8 [$1\sigma = 0.7$ mm/jaar]

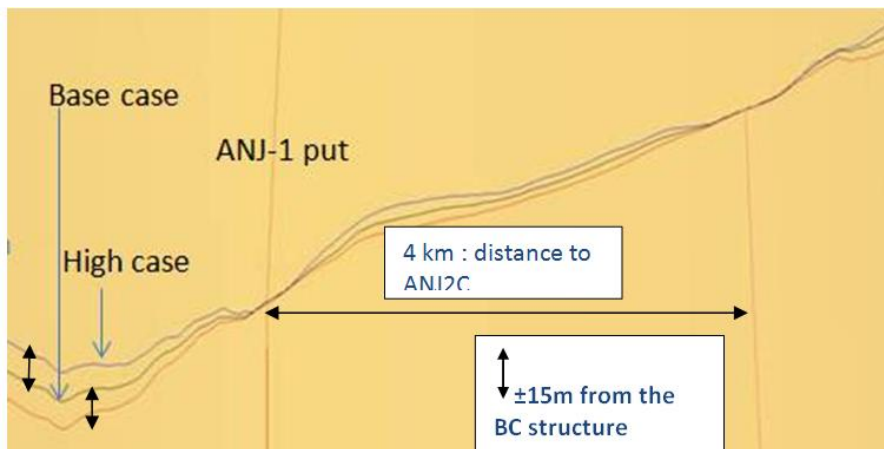
Tabel 2-3 Gemeten daling en dalingssnelheid op de locaties m.b.v. continue GPS metingen

2.3. Verifiëren prognose (stap 3)

Verbetering van de statische modellen

Kalibratie reservoir simulatiemodellen Wadden voorkomens

In 2009-2010 heeft er een herinterpretatie plaatsgevonden van de seismiek en zijn er voor alle Waddenzeevelden 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 kaart voor het reservoir in dit gebied. In 2013 zijn er additionele hoge structuur modellen gegenereerd voor de velden Metslawier, Moddergat en Nes. Dit is gedaan door de diepte onzekerheid van de seismiek toe te passen op de basis structuur en de diepte bij de putten gelijk te houden, zie Figuur 1. Bij het Anjum voorkomen is het hoge structuur scenario het basis scenario omdat het Anjum voorkomen dynamisch meer volume zag dan statisch in het 2012 model. Op basis van de MGT-3 kernen en productie gedrag zijn de permeabiliteits berekeningen voor de Nes, Moddergat en Metslawier voorkomens aangepast.



Figuur 1 Illustratie van de hoge en basis structuur realisatie voor het Anjum veld. De hoge realisatie (high case) voor Anjum wordt meegenomen in het basis scenario voor de bodemdaling omdat dit statisch en dynamisch (gasvolume) een betere match geeft.

Met behulp van de geologische modellen zijn gedetailleerde drie dimensionale dynamische modellen van de reservoirs geregenereerd. Deze zijn gekalibreerd door middel van productie- en drukdata.

De dynamische modellen zijn gebruikt voor een gedetailleerde onzekerheidsanalyse (volgens een “experimental design” methode). Hiermee worden gericht een aantal parameters in het model gevarieerd waarmee inzicht wordt verkregen in het effect van deze parameters en combinaties van deze parameters op bijvoorbeeld druk in het reservoir. 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 laterale 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). De Moddergat-3 boring heeft de druk gemeten in de aquifer. Deze meting toonde een geringe drukdaling aan die achterliep bij de gasdruk. Hiermee kan een volledig immobiel aquifer voor Nes worden uitgesloten. De gemeten drukken voor Nes zijn meegenomen in het basis scenario voor de berekening van de bodemdaling.

Om tot een zo goed mogelijk passing te komen zijn verschillende realisaties onderzocht.

- Een basis structuur voor alle velden en hoge structuur voor Metslawier, Nes en Moddergat (Figuur 1). De hoge structuur kaart past beter bij de dynamische GIIP en is daarmee meer waarschijnlijk.
- Voor elk van deze realisaties zijn scenario's met een meer of minder depleterende watervoerende laag gemaakt. We spreken ook wel van mobiele en immobiele aquifers. Beide gevallen zijn zo veel mogelijk gematcht op productie data uit het veld, zoals water productie.
- Elk van deze scenario's heeft 3 GIIP varianten, namelijk low, base en high.

Tabel 2-4 geeft een overzicht van de realisaties die doorgerekend zijn voor de verschillende voorkomens.

	Basis structuur	Hoge structuur	Mobiele Aquifer	Immobiele Aquifer	Low GIIP	Base GIIP	High GIIP
1	x		X		x		
2	x		X			X	
3	x		x				X
4	x			X	x		
5	x			X		X	
6	x			X			X
7		x	X		x		
8		x	X			X	
9		x	x				X
10		x		X	x		
11		x		X		X	
12		x		X			X

Tabel 2-4 Overzicht van de verschillende statische/dynamisch realisaties. De hoge structuur realisaties zijn alleen van toepassing op de Nes, Moddergat en Metslawier voorkomens.

De resultaten voor de dynamische modellen worden hieronder kort beschreven voor de verschillende voorkomens.

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. De reservoirstenari's voor Ameland blijven vergelijkbaar met de scenario's die ook gebruikt zijn in de M&R rapportage 2012. Het hoge scenario gaat hierbij uit van een plotselinge waterdoorbraak in een aangrenzende aquifer (Referentie 11).

Nes en Moddergat

De resultaten van het reservoir simulatiemodel van de velden Nes en Moddergat vertonen een goede overeenkomst met de gemeten data. Voor Moddergat blijkt dat er alleen een goede overeenkomst met gemeten data gemaakt kan worden, wanneer wordt aangenomen dat er geen of nauwelijks communicatie bestaat tussen het zuidelijk en noordelijk blok via een oost-west breuk. 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 minder in druk is gedaald.

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 door de onderste watervoerende laag met cement af te dichten tot aan de daarboven liggende slecht doorlaatbare kleilaag. Deze informatie is meegenomen in de kalibratie van de huidige modellen.

Lauwersoog – C, –West en –Oost.

Ook voor de velden Lauwersoog –C, –W en –O komen de resultaten van het reservoir simulatie (dynamische) model goed overeen met de gemeten data. Voor alle Lauwersoog voorkomens is de voornaamste onzekerheid gerelateerd aan het depletiegedrag van de verschillende lagen in het reservoir. Op basis van de resultaten van het dynamisch model is het permeabiliteitscontrast tussen de bovenste (ROSLU unit 1) en onderste (ROSLU unit 2-6) lagen in het geologisch model vergroot. In het basis scenario zal voornamelijk de gasvoerende laag depleteren, terwijl de watervoerende laag op hogere druk blijft. In het hoge scenario zullen zowel de watervoerende als de gasvoerende lagen depleteren.

Vierhuizen-Oost

Voor Vierhuizen-Oost komen de resultaten van het reservoir simulatie (dynamische) model goed overeen met de gemeten data. De onzekerheid in het veld komt voort uit het initiële volume gas in het reservoir (GIIP). Deze hoeveelheid gas en het al dan niet mee depleteren van de watervoerende laag zijn de voornaamste parameters voor de hoge en lage bodemdalingsscenario's.

Modellering bodemdaling

De bodemdalingberekeningen worden sinds 2010 uitgevoerd met het eindige elementen programma “Geomec”, een Shell applicatie die gebaseerd is op DIANA (<http://tnodiana.com/>). Meer informatie over deze geomechanische modellen en de gebruikte invoergegevens is te vinden in Referentie 3. Recent is een vergelijking gemaakt tussen de resultaten van dit model en de resultaten die verkregen worden met een analytisch “Geertsma en van Opstal” model. Het voordeel van dit analytisch model is een sterk verbeterde rekensnelheid waarmee het mogelijk wordt een probabilistische workflow in te bouwen (Referentie 15). Daarnaast is het mogelijk om de compactiemodellen die beschreven zijn in Groningen winningsplan uit 2013 ook voor het Waddengebied in te brengen en testen op de meetgegevens in het Waddengebied. Naast het time-decay model wordt ook het linear-Isotach model gebruikt binnen de analytische omgeving. Het bi-lineaire model, dat in Groningen is gebruikt, wordt niet toegepast omdat dit model niet past met de waarnemingen boven de nabije Ameland voorkomens. Momenteel wordt ook gewerkt aan implementatie van het RTCM. Bij gebleken geschiktheid zal ook dit model worden toegepast in de volgende M&R rapportage. Hieronder volgt een overzicht van de belangrijkste wijzingen per voorkomen.

Modellering bodemdaling Ameland

Voor Ameland zijn de dynamische reservoir scenario's voornamelijk gebaseerd op variatie in aquiferactiviteit ten zuidwesten van het Ameland-Oost blok. Deze scenario's zijn in meer detail beschreven in Referentie 11. Het “waterdoorbraak scenario” of het hoge scenario heeft nu als startdatum 1-1-2014 omdat er in geen van de Ameland putten doorbraak van water is geobserveerd. Referentie 15 gaat in op de passing van het Ameland Geomec model met de metingen. Vooral de continue GPS meting laat een doorgaande daling zien boven de productielocatie op het eiland. Deze observatie heeft geleid tot een aanpassing van de “time-decay” periode van 5 naar 7 jaar en een verlaging van de Young's modulus met 10%. Dit heeft tot gevolg dat de bodemdalingsgradient beter past met de continue GPS.

Modellering bodemdaling Anjum en Wadden voorkomens

Voor de Anjum voorkomens (Anjum, Ezumazijl en Metslawier) en de Wadden voorkomens blijft de genoemde time decay constante gelijk aan die zoals vermeldt in de M&R 2012. De Young's modulus voor de Anjum en de Wadden voorkomens wordt op basis van beste kalibratie met de meetgegevens, bestaande uit de vlakdekkende metingen op Waddenzee en vaste land en de InSAR metingen, verhoogd naar een waarde van 12 GPa. Deze wijziging ten opzichte van de vorige Meet- en regelcyclus komt voort uit wijzigingen van de statische en dynamische modellen. Verdere vergelijking van de mogelijke modeluitkomsten met vooral de continue GPS metingen boven zowel Anjum als Moddergat heeft geleid tot de aanpassing van de creep strain rate coëfficiënt parameter voor het Zechstein zout van $1,69 \cdot 10^{-9} \text{ s}^{-1}$ naar $1,39 \cdot 10^{-10} \text{ s}^{-1}$. Deze waarden passen binnen de onzekerheidsbandbreedte van de eigenschappen van het Zechstein zout.

De passing van de gemeten daling en gemodeleerde daling is, in een eerste orde benadering, voor de verschillende compactiemodellen en rekenwijzen (analytisch en eindige elementen/geomec) vergelijkbaar wanneer de modellen optimaal worden gekalibreerd. Door de geringe verschillen is er niet een beste model, danwel rekenwijze, aan te wijzen.

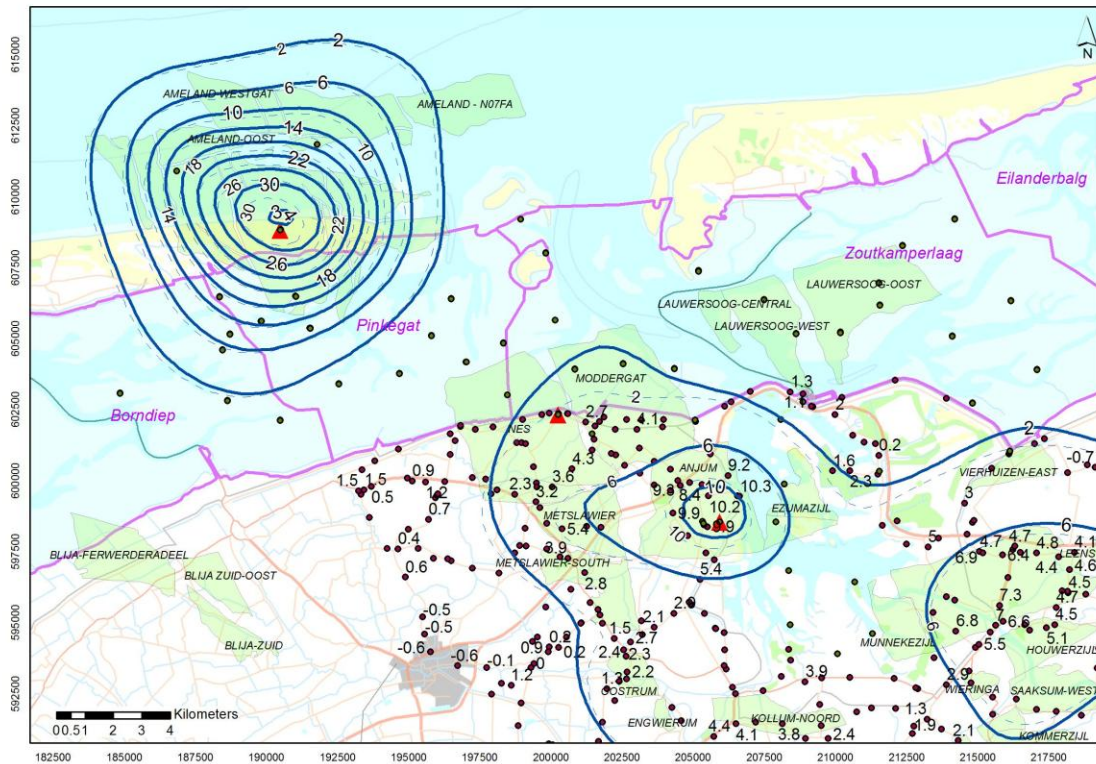
In een tweede orde benadering ontstaan de belangrijkste verschillen door het verschil in rekenmethode (FEM versus analytisch). De verschillen uiten zich met name in de vorm van de bodemdalingsskom. De conclusies op basis van de berekeningen zoals gedocumenteerd in Referentie 15 zijn als volgt:

- Het Geomec model zoals gebruikt in de M&R 2012 rapportage overschat de bodemdaling op de Anjum GPS locatie. De analytische compactiemodellen laten, binnen een bepaalde RMS begrenzing, een onderschatting van de bodemdaling zien.
- Een verhoging van de viscositeit van het zout geeft in het Geomec model een betere passing met de GPS metingen voor zowel Anjum als Moddergat.
- De toekomstige maximale bodemdaling boven Anjum is in de analytische berekeningen minder dan in de numerieke berekeningen. Dit is waarschijnlijk het gevolg van het visceus gedrag van zout dat er voor zorgt dat de bodemdalingsskom smaller en dieper wordt. Dat wil niet zeggen dat het bodemdalingsvolume ook verschillend is (zie volgend punt).
- De bodemdalingssnelheid en het volume (huidig en toekomstig) boven de Waddenzee is voor alle modellen vergelijkbaar. De invloed van het zout lijkt geen grote invloed te hebben op de bodemdalingssnelheid. Dit heeft waarschijnlijk te maken met de ligging van de verschillende velden.

Er is voor gekozen om het Geomec model als basis te houden voor het genereren van de contourkaarten en de berekening van de bodemdalingssnelheden volgens het lage, verwachte en hoge scenario.

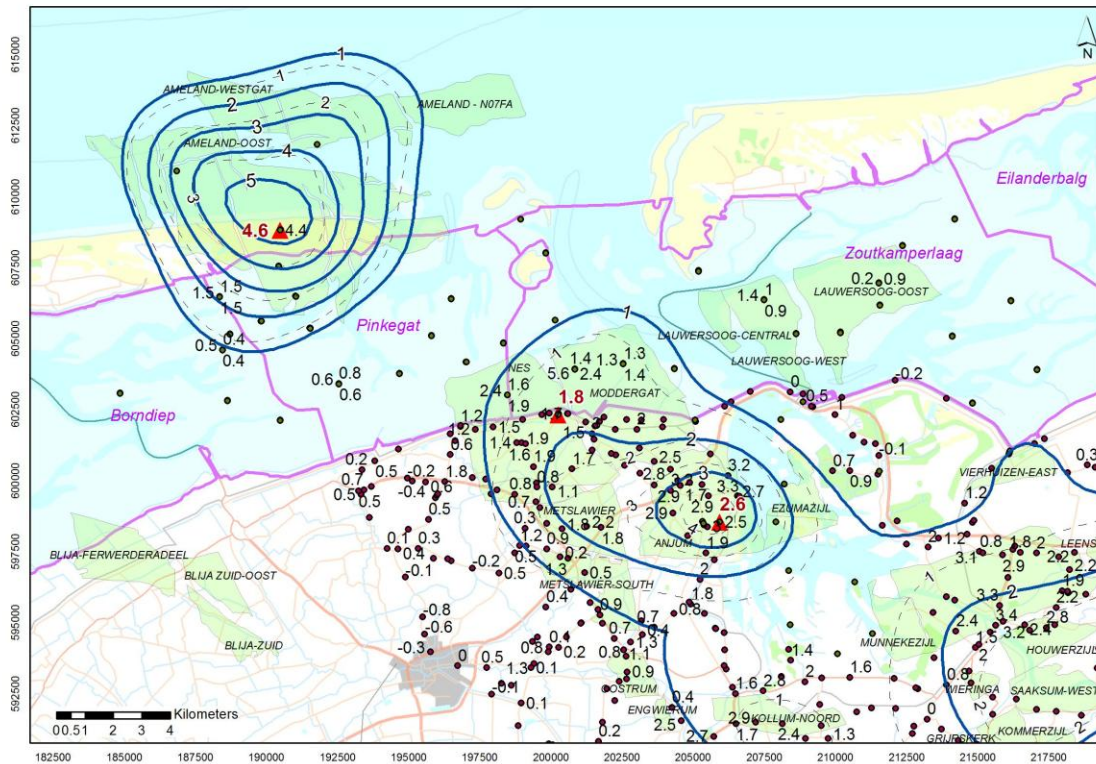
De geomechanische onzekerheid die volgt uit verschillende compactiemodellen en geomechanische parameters wordt m.b.v. de analytische modellen geschat.

Figuur 2 toont de contouren van de gemodelleerde bodemdaling volgens het basis scenario. De contouren zijn gepresenteerd voor 1-1-2013 omdat dit tijdstip het beste overeenkomt met het tijdstip van meten voor het merendeel van de metingen. 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 (onderbroken lijn) weergegeven die het berekende resultaat weergeven voor het jaar 2012 zoals gerapporteerd in de Meet- en regelrapportage van 2012 (Referentie 4).



Figuur 2 Totale bodemdaling (status 1-1-2013) door gaswinning sinds de start van de productie. In blauw de contouren van de gemodelleerde bodemdaling (gestreepte contouren geven de bodemdaling 2012 zoals beschreven in de M&R rapportage over 2012). Boven de gasvelden Ameland-Oost, Nes/Moddergat en Anjum zijn op 3 posities continue GPS metingen uitgevoerd (rode driehoek). Punten op land middels InSAR meting van dec. 2012 en in de Waddenzee middels GPS in mei 2013. Bodemdaling in cm.

Figuur 3 toont de gemeten en gemodelleerde daling in 2013 sinds de nulmetingen van 2006. De contouren zijn gepresenteerd voor 1-1-2013 omdat dit tijdstip het beste overeenkomt met het tijdstip van meten voor het merendeel van de metingen. Ook hier tonen de contouren, weergegeven met een doorgetrokken lijn, de bodemdaling die is gemodelleerd met de nieuwe modellen en parameterwaarden, terwijl als vergelijking de contouren met de onderbroken lijn de gemodelleerde bodemdaling voor 2012 weergegeven met de parameters en modellen zoals toegepast in de Meet- en regelrapportage over het jaar 2012.



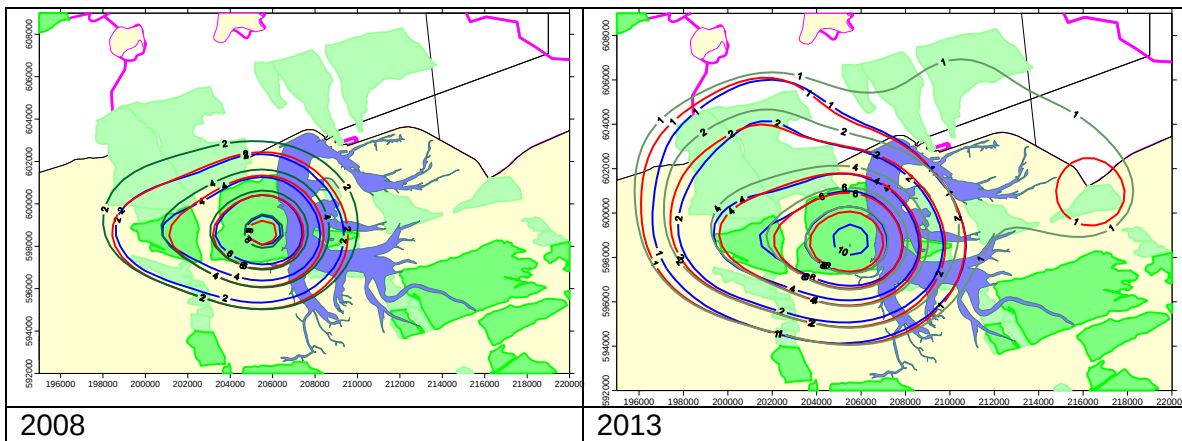
Figuur 3 Totale bodemdaling (status 1-1-2013) door gaswinning sinds de nulmeting Waddenzee in 2006. In blauw de contouren van de gemodelleerde bodemdaling volgens de aangepaste/gekalibreerde geomechanische modellen (gestreepte contouren geven de bodemdaling 2012 weer zoals getoond in de M&R rapportage over 2012). De punten met label representeren de peilmerken met de gemeten hoogteverschillen vanaf 2006 (nulmeting Waddenzee). Punten op land middels InSAR meting van dec. 2012 en in de Waddenzee middels GPS in mei 2013. Bodemdaling in cm.

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

Onzekerheid gemodelleerde bodemdaling

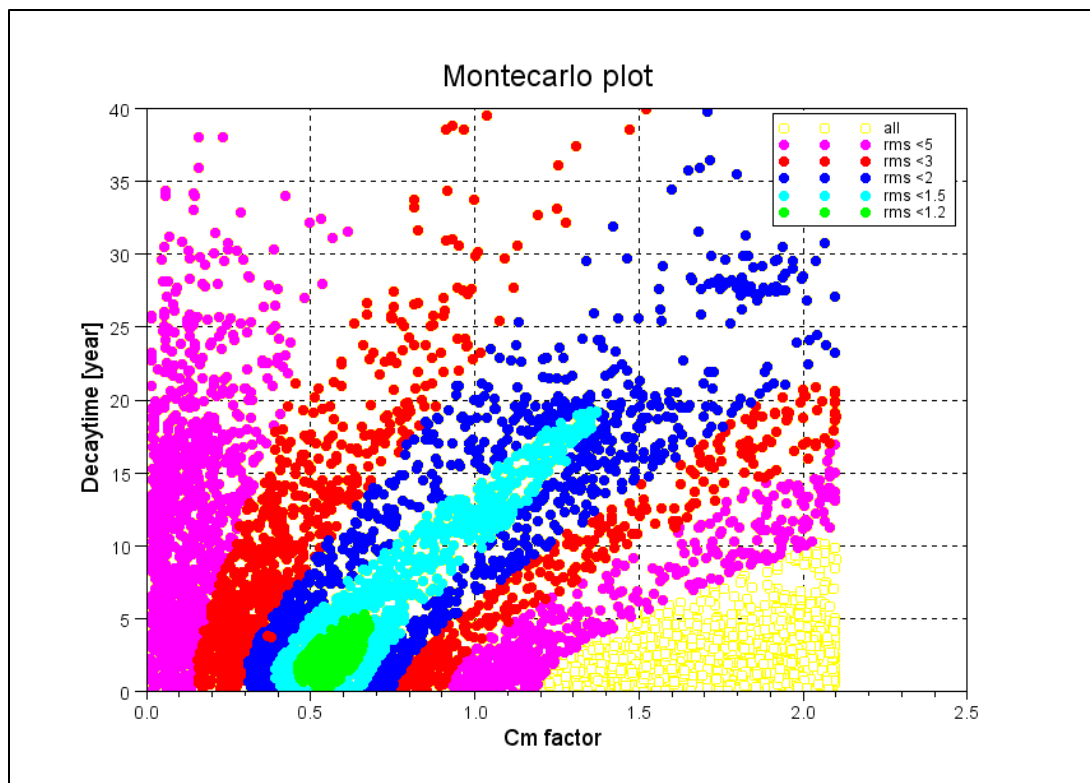
Naast de statische en dynamische onzekerheid die leidt tot de definitie van laag, basis en hoog scenario wordt voor de Wadden voorkomens ook de onzekerheid meegenomen van het compactiegedrag en bijbehorende parameters. Hierbij wordt de onzekerheid onderzocht voor het time-decay model en linear-Isotach model mbv analytische modellen (zie ook Referentie 15).

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 4 toont aan dat een goede vergelijking tussen het analytisch modellen en het numeriek model kan worden verkregen wanneer beide modellen optimaal gekalibreerd zijn, uitgaande van hetzelfde compactiemodel (time-decay). De Geertsma en van Opstal modellering laat een vergelijkbare bodemdalingskom zien. De diepte van de zgn "rigid basement" is in deze vergelijking 4 km. Voor het time-decay model zijn de gebruikte parameters voor het analytisch model $E=20$ GPa (omgerekend van de C_m waarde) en een decaytijd van ongeveer 2 jaar, voor het Geomec model bedraagt de Young's modulus 12 GPa en de decaytijd 3 jaar.



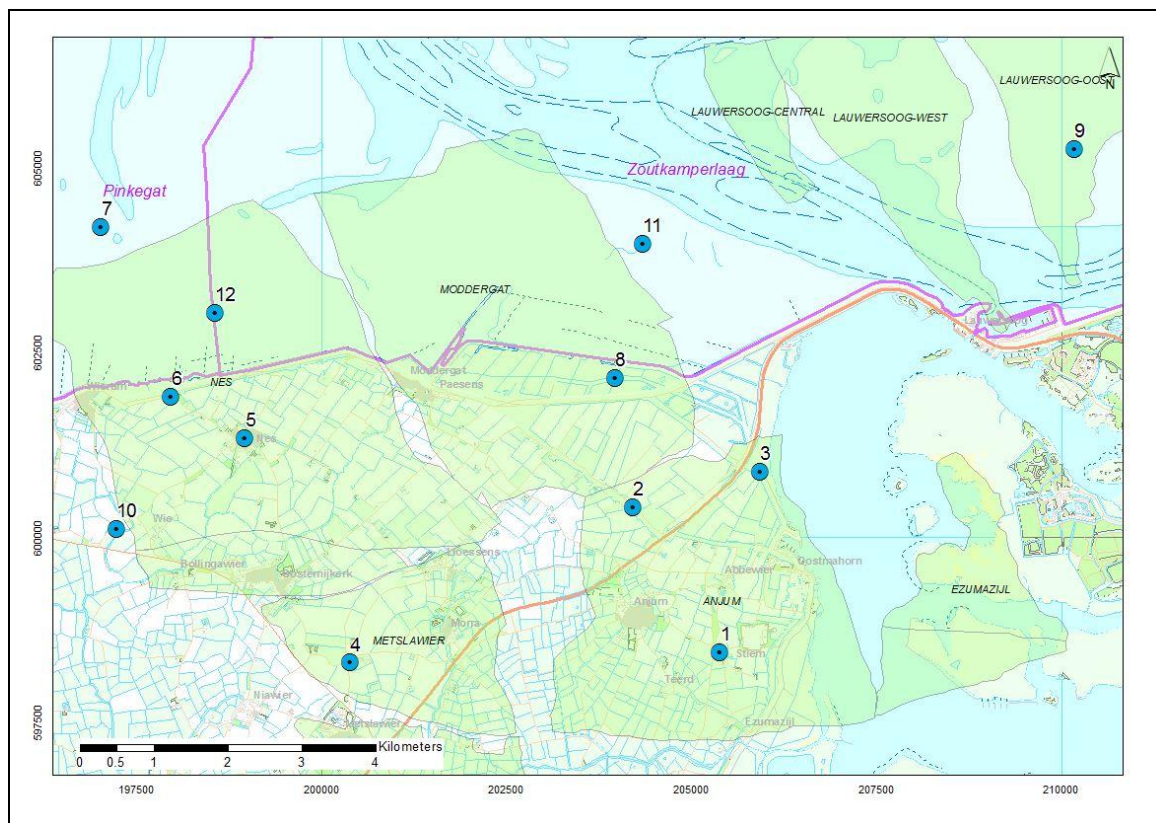
Figuur 4 Vergelijking van het basisscenario volgens het Geertsma en van Opstal model (time decay, rood), de Geomec modelering (time decay, blauw) en het linear isotach model (analytisch, groen) voor het jaar 2008 en 2013

Het grote voordeel van de analytische berekeningsmethode is het snel kunnen doorrekenen van de parameter variaties behorend bij verschillende compactiemodellen in de vorm van een Monte Carlo analyse. De resultaten van deze parametervariatie worden vergeleken met de metingen. Hierbij kunnen de verschillen tussen modelresultaat en metingen uitgedrukt worden in de root mean square (RMS) waarbij 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. Hierbij is het hoge bodemdalingsscenario als uitgangspunt gekozen. Op basis van deze werkwijze wordt uiteindelijk het maximale bodemdalingsscenario bepaald. 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 zijn een indicatie voor RMS waarden. De beste waarden (laagste RMS) voor de gesteente parameters zijn volgens de grafiek een C_m factor van 0,5 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 basis scenario gekozen voor een time decay constante van 3 jaar.

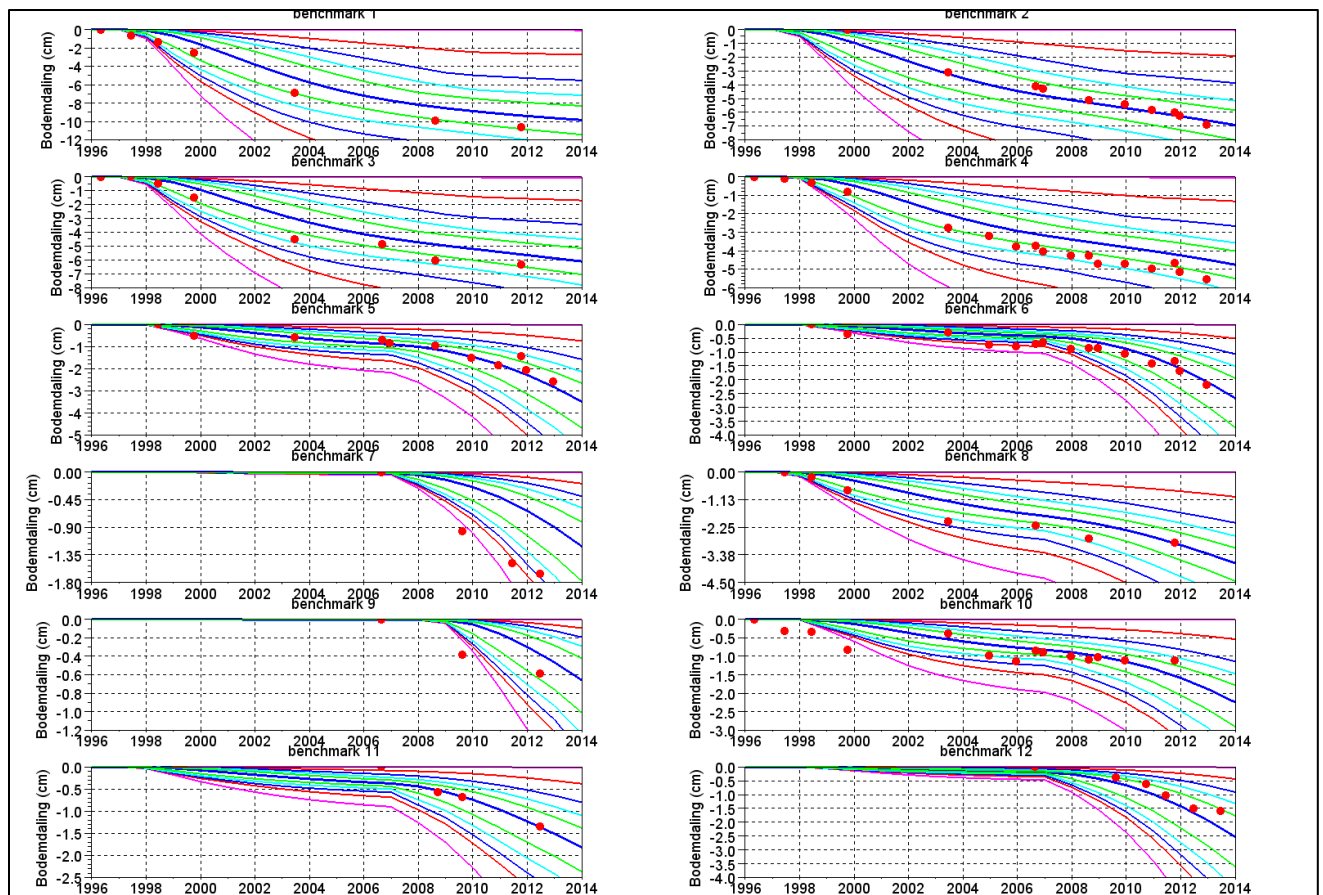


Figuur 5 RMS versus Cm factor en Time decay constante voor het hoge scenario, de groene punten geven de beste passing met de metingen aan ($RMS < 1,2$).

De passing van de Monte Carlo resultaten met de gemeten bodemdaling voor een 12-tal geselecteerde peilmerken is getoond in Figuur 7 ter illustratie. Deze peilmerken zijn geselecteerd op basis van de geografische spreiding boven de voorkomens en de hoeveelheid gemeten data per peilmerk. 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 12 peilmerken zijn in Figuur 6 te zien.

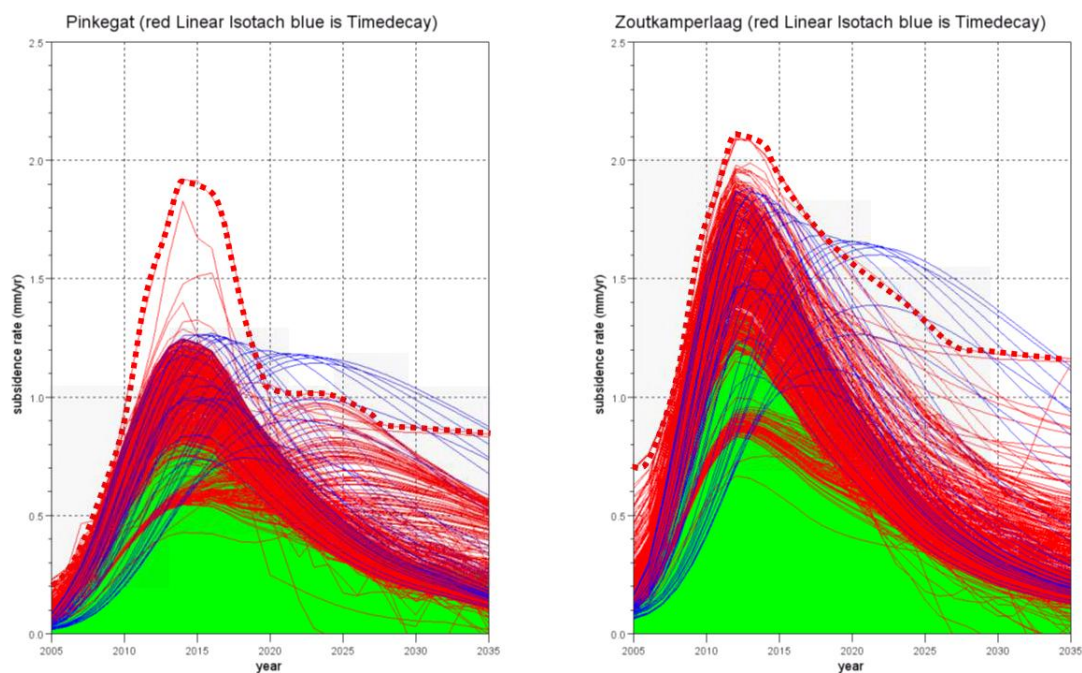


Figuur 6 Peilmerk locaties die geselecteerd zijn voor de vergelijking met de Monte Carlo uitkomsten (Figuur 7).



Figuur 7 Gemodelleerde variatie in bodemdaling voor het hoge reservoir scenario vergeleken met de metingen op de peilmerken (rode punten). De kleuren van de lijnen horen bij de RMS categorieën zoals getoond in Figuur 5. Het grafieknummer geeft de locatie van het peilmerk weer in Figuur 6

Figuur 7 laat zien dat alle combinaties van C_m factor en time decay met een $RMS < 1,5$ (blauw gebied) binnen de bandbreedte van de meeste metingen blijven. Vervolgens zijn deze parametercombinaties gebruikt om de bodemdalingssnelheid in de kombergingen te berekenen. Een vergelijkbare analyse is gedaan voor het linear isotach model. De resultaten voor de bodemdalingssnelheid berekend met het linear isotach model zijn tesamen met die van het time decay model 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). De resultaten van het linear isotach model geven in de beginperiode een iets hoger maximum dan het time decay model. Voor de definitie van het maximum scenario is om deze reden gekozen voor het linear isotach model, waarbij de boven- en ondergrens van de rode “lijnenwolk” gebruikt zijn, aangegeven in Figuur 8 met de geblokte lijn.



Figuur 8 Bodemdalingssnelheden met hun onzekerheden voor een RMS afsnijding van 1,5 voor het hoge (reservoir) scenario. Het groene gebied geeft het resultaat van de parameter combinatie aan met de kleinste RMS waarde en de blauwe (time decay) en rode (linear isotach) lijnen de realisaties die binnen de begrenzing RMS < 1,5 vallen. De geblokte lijn geeft het maximum scenario aan.

Omdat de bodemdalingssnelheid tussen de analytische en eindige elementen modellen redelijk vergelijkbaar is, zijn de begrenzingen van de rode lijnen in Figuur 8 gebruikt als onzekerheid in de bodemdalingssnelheid. Dezelfde geomechanische onzekerheidsanalyse is ook uitgevoerd voor het basis en lage scenario.

Voor de Ameland voorkomens is, naast het basis scenario, een hoog en laag scenario gedefinieerd op basis van verschillende dynamische scenario's.

De combinatie van het hoog scenario voor Ameland met het hoge scenario voor de Wadden voorkomens geeft het hoge scenario voor de bodemdaling in met name Pinkegat. Het lage scenario gaat uit van een combinatie van de lage scenario's.

De bodemdalingssnelheid (belasting, berekend zoals beschreven in de volgende sectie) voor deze scenario's is getoond in Figuur 9 en Figuur 10.

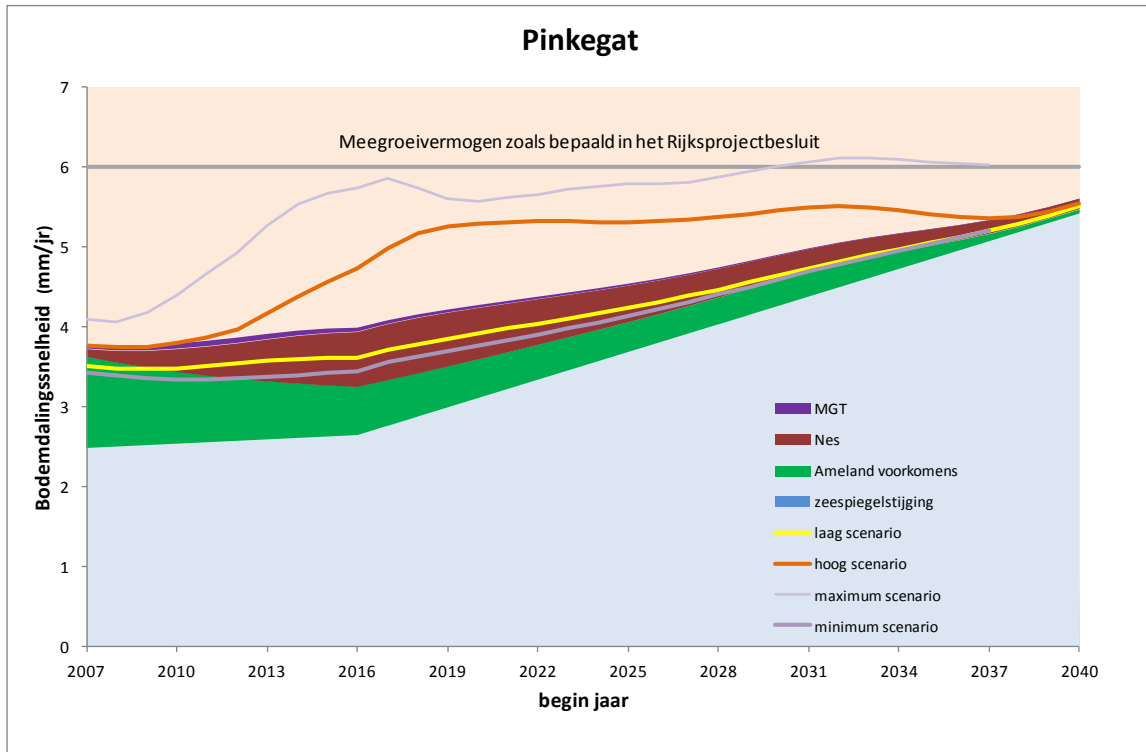
2.4. Berekenen volume en gemiddelde daling (stap 4)

Bepaling volume en gemiddelde daling

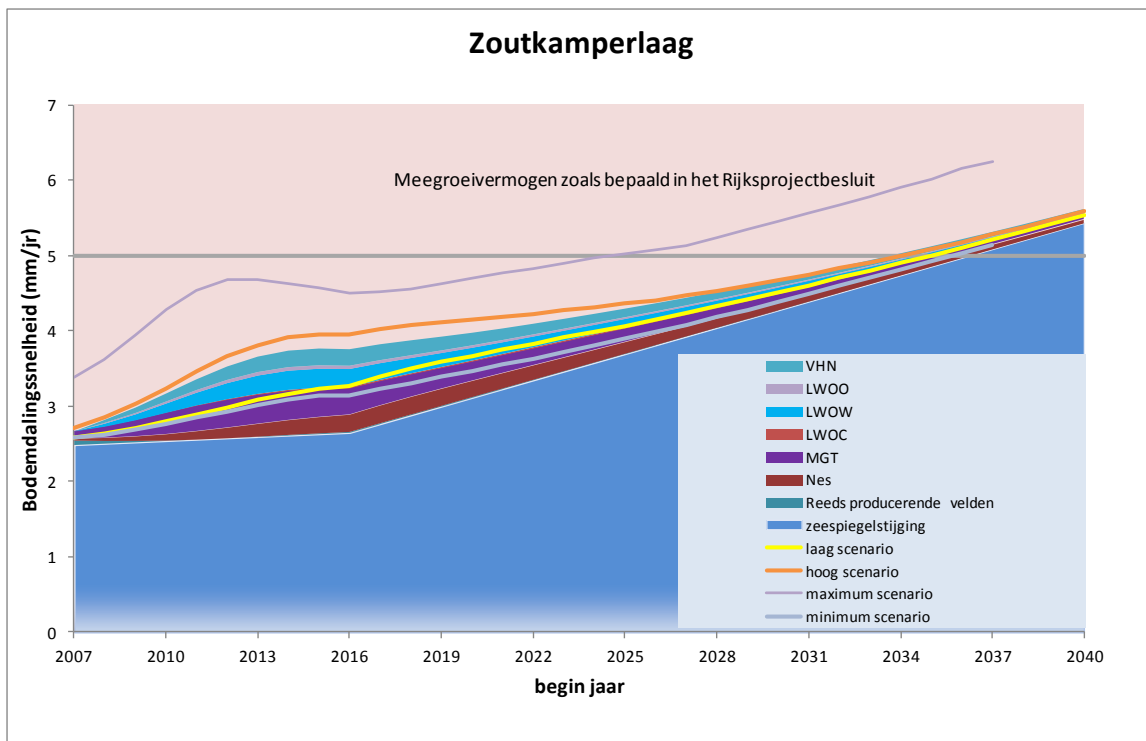
Met behulp van de gekalibreerde geomechanische modellen zijn zowel het reeds opgetreden dalingsvolume in de betreffende kombergingsgebieden als de nog in de toekomst te verwachten jaarlijkse toename bepaald. Door de jaarlijkse volumetoename te delen door het kombergingsoppervlak wordt de gemiddelde bodemdalingssnelheid (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.



Figuur 9 Voorspelde belasting voor het basis scenario voor het kombergingsgebied Pinkegat. Het lage en hoge scenario zijn als lijnen (geel: laag scenario, oranje: hoog scenario) weergegeven. De grijze lijnen in dit figuur geven de boven- cq ondergrens van de totale (minimum, maximum) onzekerheid aan waarbij ook de onzekerheid van de geomechanische parameters en modellen is meegenomen. Zoals in hoofdstuk 1 al is aangegeven, is het onwaarschijnlijk dat het minimum dan wel maximum scenario gerealiseerd wordt.



Figuur 10 Voorspelde belasting voor het basis scenario voor het kombergingsgebied Zoutkamperlaag. Het lage en hoge scenario zijn als lijnen (geel: laag scenario, oranje: hoog scenario) weergegeven. De grijze lijnen in dit figuur geven de boven- cq ondergrens van de totale (minimum, maximum) onzekerheid aan waarbij ook de onzekerheid van de geomechanische parameters en modellen is meegenomen. Zoals in hoofdstuk 1 al is aangegeven, is het onwaarschijnlijk dat het minimum dan wel maximum scenario gerealiseerd wordt.

Het gebruik van de nieuwe reservoir modellen resulteert een hoger bodemdalingssnelheid voor de voorkomens Lauwersoog-C, Lauwersoog-West, Lauwersoog-Oost en Vierhuizen (in verhouding tot Nes en Moddergat) in vergelijking met de vorige M&R cycli. Om deze reden zijn deze vier velden in desbetreffende figuren en tabellen apart vermeld.

Voor de berekening van de verwachte bodemdaling in de toekomst en de bijbehorende volumes en bodemdalingssnelheden is uitgegaan van het basis scenario. Om de onzekerheid voor de volumes en bodemdalingssnelheden te bepalen voor de individuele voorkomens is gebruik gemaakt van het hoge en lage scenario (zie Tabel 2-5 t/m Tabel 2-8).

Bodemdalingsvolume voor bepaling belasting rapportagejaar 2011 met onzekerheid

Tabel 2-5 en Tabel 2-6 tonen de door gaswinning veroorzaakte bodemdalingsvolumes met bijbehorende onzekerheid per voorkomen voor de jaren J-3 t/m J+2 waarbij J-1 het rapportagejaar (2013) is. Voor de volledigheid zijn ook de resultaten voor het jaar 2007 tot en met 2016 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 dat modelmatig op 1-1-2014 zal plaatsvinden. Vanwege het zesjaarlijkse gemiddelde zijn deze effecten al in 2014 zichtbaar. Tot dat moment liggen de volumes in het hoge scenario daarom dichtbij die van het basis scenario (Tabel 2-5). De volgende afkortingen voor de voorkomens zijn gebruikt in de tabellen:

NES: Nes
MGT: Moddergat
LWO-C: Lauwersoog-Centraal
LWO-W: Lauwersoog-West
LWO-O: Lauwersoog-Oost
VHZ: Vierhuizen-Oost

Pinkegat			
Jaar	Anjum/Ameland voorkomens	NES	MGT
	volume(onzekerheid)	volume(onzekerheid)	volume(onzekerheid)
2005	78 (65 - 79)		
2006	72 (59 - 72)		
2007	61 (44 - 61)	6 (6 - 6)	3 (3 - 3)
2008	55 (39 - 55)	11 (11 - 12)	4 (3 - 4)
2009	52 (40 - 52)	14 (12 - 16)	4 (3 - 4)
2010	49 (38 - 49)	18 (14 - 21)	4 (3 - 4)
2011	46 (36 - 46)	24 (18 - 27)	4 (3 - 5)
2012	44 (34 - 44)	29 (21 - 33)	4 (3 - 5)
2013	41 (31 - 43)	34 (25 - 40)	4 (2 - 4)
2014	39 (29 - 55)	40 (29 - 46)	4 (2 - 4)
2015	37 (28 - 80)	43 (30 - 49)	3 (2 - 3)
2016	35 (26 - 87)	44 (31 - 50)	3 (2 - 3)

Tabel 2-5 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). Volume en bandbreedte (onzekerheid) in duizend m³.

Zoutkamperlaag							
Jaar	Anjum voorkomens	NES	MGT	LWO-C	LWO-W	LWO-O	VHZ
2005	15 (8 - 15)						
2006	14 (6 - 14)						
2007	8 (5 - 8)	3 (1 - 3)	14 (4 - 16)				
2008	2 (2 - 2)	7 (2 - 8)	31 (9 - 34)		1 (0 - 1)	1 (0 - 1)	3 (1 - 3)
2009	0 (0 - 0)	10 (3 - 12)	40 (13 - 45)		11 (3 - 11)	4 (1 - 4)	12 (3 - 12)
2010	0 (0 - 0)	13 (5 - 17)	49 (18 - 55)		24 (7 - 25)	6 (2 - 6)	21 (6 - 22)
2011	0 (0 - 0)	18 (8 - 23)	58 (22 - 65)		34 (11 - 36)	7 (2 - 7)	28 (9 - 30)
2012	1 (1 - 1)	23 (10 - 29)	62 (25 - 69)	1 (1 - 2)	40 (14 - 43)	7 (3 - 7)	31 (12 - 35)
2013	1 (1 - 2)	28 (13 - 36)	62 (27 - 69)	4 (1 - 4)	41 (16 - 45)	8 (3 - 8)	32 (14 - 40)
2014	2 (2 - 2)	33 (17 - 42)	60 (29 - 66)	4 (2 - 5)	40 (18 - 45)	7 (3 - 7)	35 (17 - 43)
2015	2 (2 - 2)	36 (19 - 45)	55 (29 - 61)	3 (2 - 4)	37 (19 - 43)	7 (3 - 7)	35 (19 - 44)
2016	2 (2 - 2)	37 (21 - 46)	50 (29 - 55)	2 (2 - 3)	35 (19 - 40)	6 (3 - 6)	33 (20 - 44)

Tabel 2-6 Jaarlijks bodemdalingsvolume Zoutkamperlaag voor de Anjum voorkomens en voor de Wadden voorkomens met tussen haakjes de bandbreedte tussen het hoge en lage scenario (onzekerheid). Volume 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 2-7 geeft de bodemdalingssnelheid S voor het rapportagejaar 2013 en belasting B op 1-1-2014. De onzekerheidsbandbreedte wordt gekozen op basis van de combinatie van hoge en lage scenario's die gedefinieerd zijn voor de verschillende voorkomens (lage en hoge scenario; respectievelijk gele en oranje lijn in Figuur 9 en Figuur 10).

Zoutkamperlaag		Pinkegat	
S (laag-hoog)	B (laag-hoog)	S (laag-hoog)	B (laag-hoog)
1,19(0,54 - 1,37)	1,13(0,55 - 1,31)	1,31(0,98 - 1,44)	1,32(0,98 - 1,74)

Tabel 2-7 Bodemdalingssnelheid en belasting (mm/jr) met onzekerheid (bandbreedte) per kombergingsgebied in het rapportagejaar 2013.

Actuele en voorspelde bodemdalingssnelheid en belasting

Tabel 2-8 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 (laag-hoog)	B (laag-hoog)	G	S (laag-hoog)	B (laag-hoog)	G
2004	0,12(0,06 - 0,12)		2.57	1,42(1,16 - 1,42)		3.57
2005	0,10(0,06 - 0,10)		2.55	1,31(1,07 - 1,31)		3.55
2006	0,16(0,07 - 0,16)		2.53	1,33(1,11 - 1,33)		3.53
2007	0,17(0,06 - 0,18)	0,23(0,09 - 0,24)	2.52	1,16(0,94 - 1,17)	1,26(1,02 - 1,27)	3.52
2008	0,30(0,11 - 0,33)	0,33(0,13 - 0,36)	2.50	1,16(0,92 - 1,18)	1,22(0,98 - 1,24)	3.50
2009	0,49(0,19 - 0,55)	0,47(0,19 - 0,52)	2.48	1,16(0,91 - 1,20)	1,21(0,95 - 1,24)	3.48
2010	0,75(0,29 - 0,83)	0,63(0,25 - 0,70)	2.46	1,19(0,92 - 1,24)	1,2(0,93 - 1,24)	3.46
2011	0,97(0,39 - 1,09)	0,80(0,33 - 0,90)	2.44	1,23(0,94 - 1,30)	1,22(0,94 - 1,29)	3.44
2012	1,11(0,47 - 1,26)	0,96(0,42 - 1,09)	2.43	1,27(0,96 - 1,36)	1,26(0,95 - 1,38)	3.43
2013	1,19(0,54 - 1,37)	1,07(0,49 - 1,23)	2.41	1,31(0,98 - 1,44)	1,29(0,97 - 1,55)	3.41
2014	1,22(0,61 - 1,42)	1,13(0,55 - 1,31)	2.39	1,36(1,00 - 1,76)	1,32(0,98 - 1,74)	3.39
2015	1,18(0,65 - 1,39)	1,14(0,60 - 1,33)	2.37	1,38(1,00 - 2,21)	1,33(0,97 - 1,91)	3.37
2016	1,11(0,66 - 1,32)	1,12(0,62 - 1,32)	2.35	1,35(0,98 - 2,35)	1,32(0,96 - 2,06)	3.35
2017	1,03(0,65 - 1,25)	1,06(0,63 - 1,27)	2.24	1,30(0,93 - 2,34)	1,30(0,94 - 2,20)	3.24
2018	0,95(0,62 - 1,16)	1,00(0,62 - 1,20)	2.12	1,24(0,88 - 2,30)	1,26(0,90 - 2,26)	3.12
2019	0,89(0,59 - 1,08)	0,93(0,60 - 1,12)	2.01	1,18(0,83 - 2,22)	1,21(0,85 - 2,22)	3.01
2020	0,83(0,55 - 1,00)	0,87(0,56 - 1,04)	1.89	1,12(0,77 - 2,13)	1,15(0,80 - 2,15)	2.89
2021	0,78(0,51 - 0,92)	0,81(0,53 - 0,97)	1.77	1,06(0,72 - 2,02)	1,09(0,75 - 2,06)	2.77
2022	0,73(0,47 - 0,85)	0,75(0,49 - 0,89)	1.66	0,99(0,67 - 1,90)	1,03(0,69 - 1,95)	2.66
2023	0,68(0,43 - 0,77)	0,70(0,45 - 0,81)	1.54	0,93(0,61 - 1,78)	0,96(0,64 - 1,84)	2.54
2024	0,63(0,39 - 0,70)	0,65(0,41 - 0,74)	1.43	0,87(0,56 - 1,66)	0,90(0,59 - 1,72)	2.43
2025	0,58(0,36 - 0,63)	0,61(0,38 - 0,67)	1.31	0,81(0,51 - 1,53)	0,84(0,54 - 1,60)	2.31
2026	0,53(0,32 - 0,57)	0,56(0,34 - 0,61)	1.19	0,75(0,47 - 1,42)	0,79(0,50 - 1,50)	2.19
2027	0,49(0,29 - 0,51)	0,52(0,31 - 0,55)	1.08	0,71(0,43 - 1,33)	0,74(0,46 - 1,40)	2.08
2028	0,45(0,27 - 0,46)	0,48(0,29 - 0,49)	0.96	0,67(0,40 - 1,26)	0,70(0,43 - 1,32)	1.96
2029	0,42(0,24 - 0,42)	0,44(0,26 - 0,44)	0.85	0,65(0,38 - 1,20)	0,67(0,40 - 1,24)	1.85
2030	0,39(0,22 - 0,39)	0,41(0,24 - 0,41)	0.73	0,62(0,36 - 1,16)	0,63(0,37 - 1,17)	1.73
2031	0,36(0,21 - 0,36)	0,38(0,22 - 0,38)	0.61	0,59(0,34 - 1,10)	0,60(0,34 - 1,09)	1.61
2032	0,33(0,19 - 0,33)	0,35(0,20 - 0,35)	0.50	0,55(0,30 - 0,99)	0,55(0,31 - 0,99)	1.50
2033	0,30(0,17 - 0,30)	0,32(0,18 - 0,32)	0.38	0,49(0,27 - 0,84)	0,50(0,28 - 0,86)	1.38
2034	0,28(0,16 - 0,28)	0,29(0,17 - 0,29)	0.27	0,41(0,22 - 0,65)	0,44(0,24 - 0,71)	1.27
2035	0,26(0,15 - 0,26)	0,27(0,16 - 0,27)	0.15	0,33(0,17 - 0,44)	0,37(0,20 - 0,56)	1.15
2036	0,23(0,14 - 0,23)	0,25(0,14 - 0,25)	0.03	0,26(0,13 - 0,27)	0,31(0,16 - 0,42)	1.03
2037	0,22(0,13 - 0,22)	0,23(0,13 - 0,23)	0.00	0,21(0,09 - 0,21)	0,26(0,13 - 0,31)	0.92
2038	0,20(0,12 - 0,20)	0,21(0,12 - 0,21)	0.00	0,18(0,08 - 0,18)	0,22(0,10 - 0,22)	0.80
2039	0,19(0,11 - 0,19)	0,20(0,12 - 0,20)	0.00	0,17(0,07 - 0,17)	0,19(0,09 - 0,19)	0.69
2040	0,18(0,11 - 0,18)	0,18(0,11 - 0,18)	0.00	0,17(0,08 - 0,17)	0,18(0,08 - 0,18)	0.57
2041	0,17(0,10 - 0,17)	0,17(0,11 - 0,17)	0.00	0,18(0,08 - 0,18)	0,18(0,08 - 0,18)	0.45
2042	0,16(0,10 - 0,16)	0,16(0,10 - 0,16)	0.00	0,18(0,09 - 0,18)	0,18(0,08 - 0,18)	0.34

Tabel 2-8 bodemdalingssnelheid S met bijbehorende onzekerheidsbereik bepaald door het lage en hoge scenario, belasting B en gebruiksruimte G voor de kombergingsgebieden Zoutkamperlaag en Pinkegat (mm/jaar) op basis van het productie profiel volgens Tabel 2-9 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 2-9 toont de jaarlijkse productie per voorkomen. Totale productie is in overeenstemming met de in 2011 ingediende wijziging winningsplan Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen (Referentie 1).

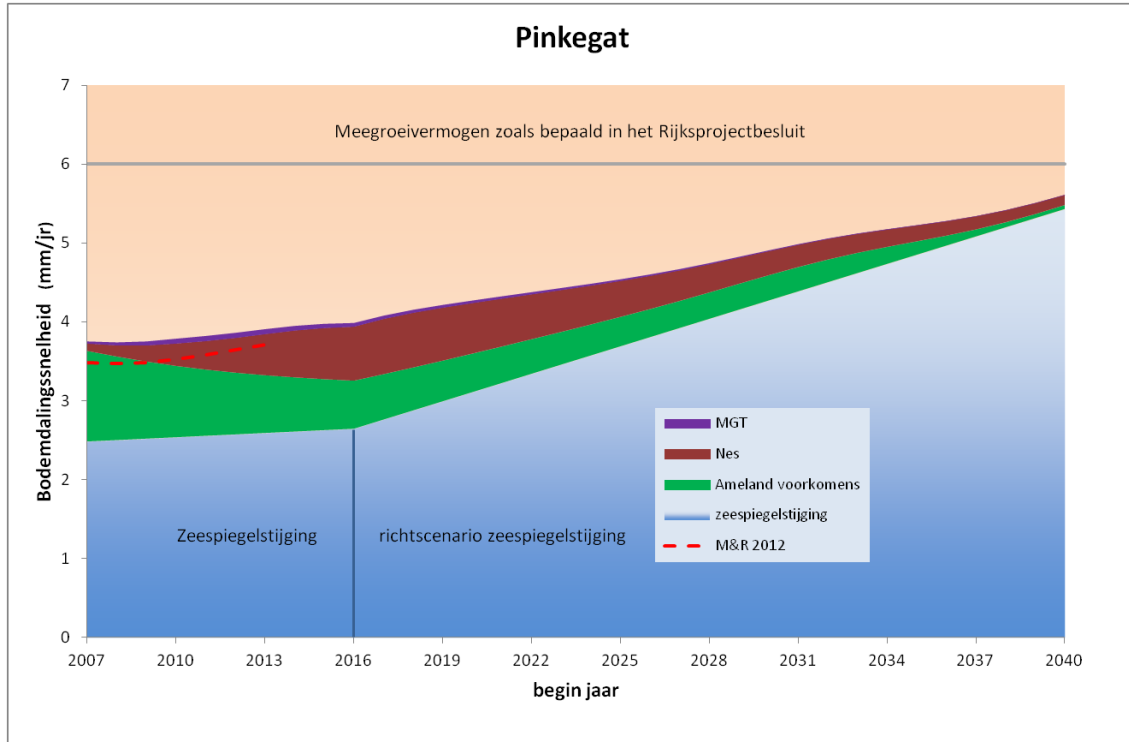
Uitgaande van het basis scenario en de productie volgens Tabel 2-9 volgen waarden voor de bodemdalingssnelheid S en de resulterende belasting B die niet leiden tot overschrijding van de gebruiksruimte eerder dan het jaar 2034 (zie Tabel 2-8). In ieder geval zal de gebruiksruimte niet voor 1-1-2016 worden overschreden. Na deze tijd geldt voorlopig het richtscenario van de zeespiegelstijging.

Jaar	Moddergat	Nes	Lauwersoog- 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	395	1064	262	136	40	155
2013	406	1427	215	122	39	143
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	-

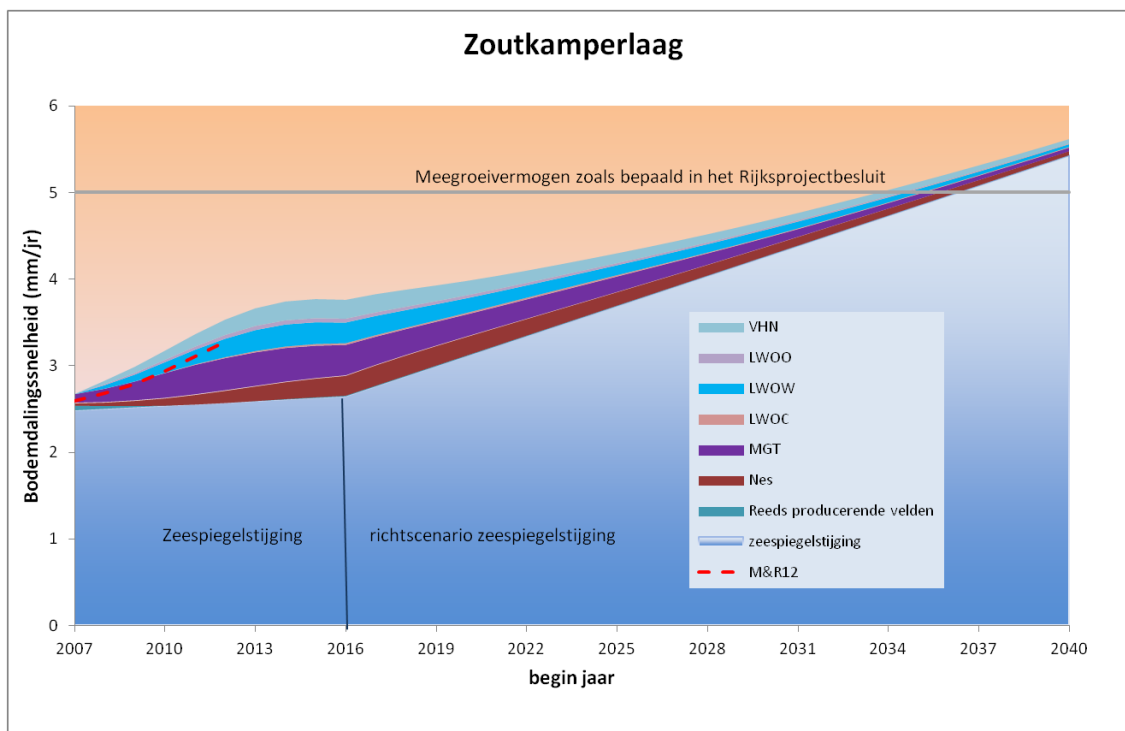
Tabel 2-9 Gerealiseerde (2007 - 2013) en voorgenomen productie (miljoen m³) per voorkomen.

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 2012 (gerapporteerd in 2013) voor de jaren 2007 t/m 2013 weergegeven.



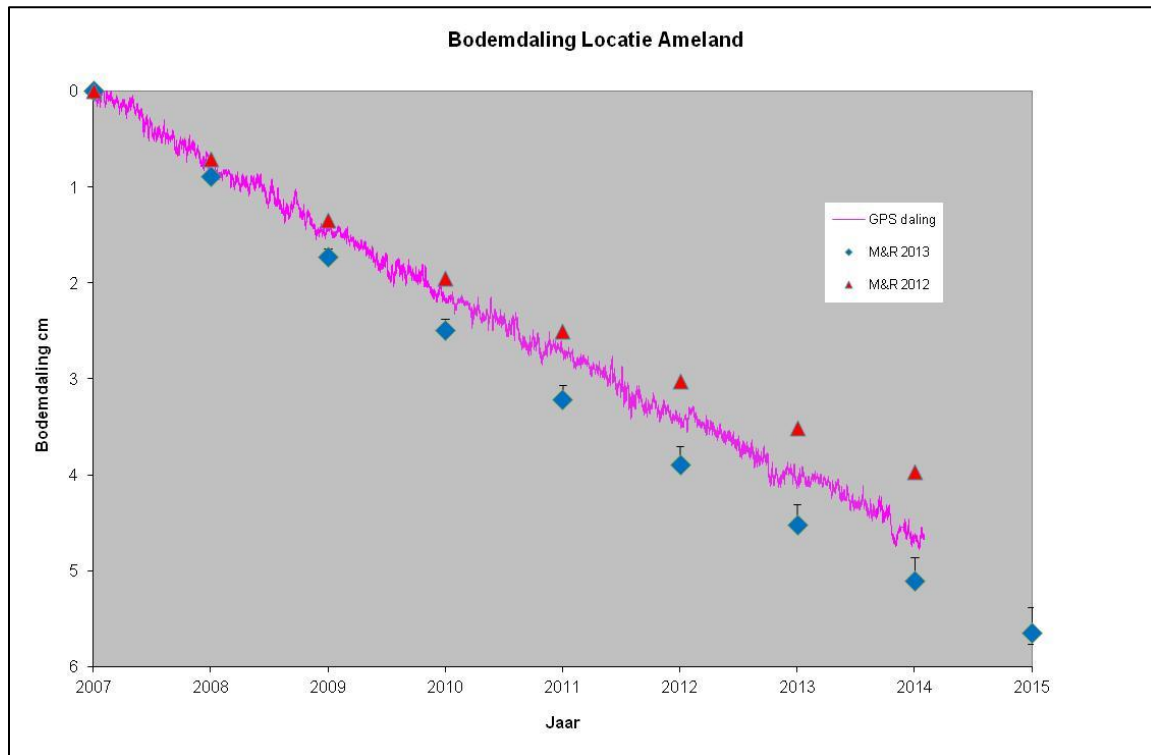
Figuur 11 Voorspelde belasting inclusief Zeespiegelstijging voor het kombergingsgebied Pinkegat. Voor de modellering van de bodemdaling tengevolge van de gaswinning van Ameland is het meest recente geomechanische model toegepast. De rood gestreepte lijn geeft berekende belasting aan zoals gerapporteerd in de Meet- en regelcyclusrapportage over 2012 (gerapporteerd in 2013).



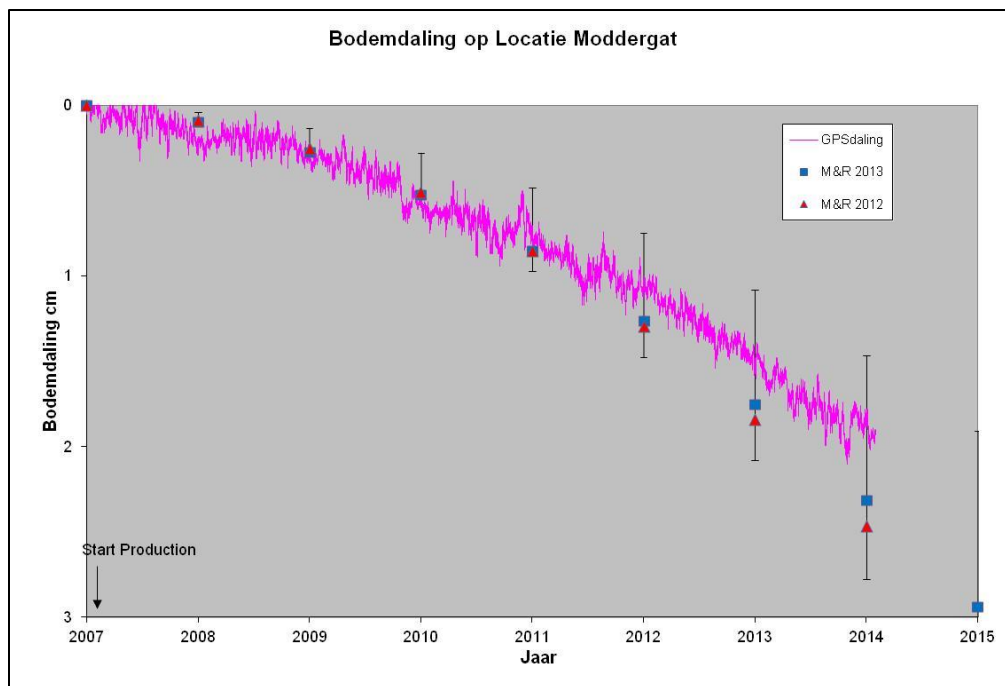
Figuur 12 Voorspelde belasting inclusief Zeespiegelstijging + autonome daling voor het kombergingsgebied Zoutkamperlaag. De rood gestreepte lijn geeft berekende belasting aan zoals gerapporteerd in de Meet- en regelcyclusrapportage over 2012 (gerapporteerd in 2013).

Bodemdaling GPS locaties op Moddergat en Ameland

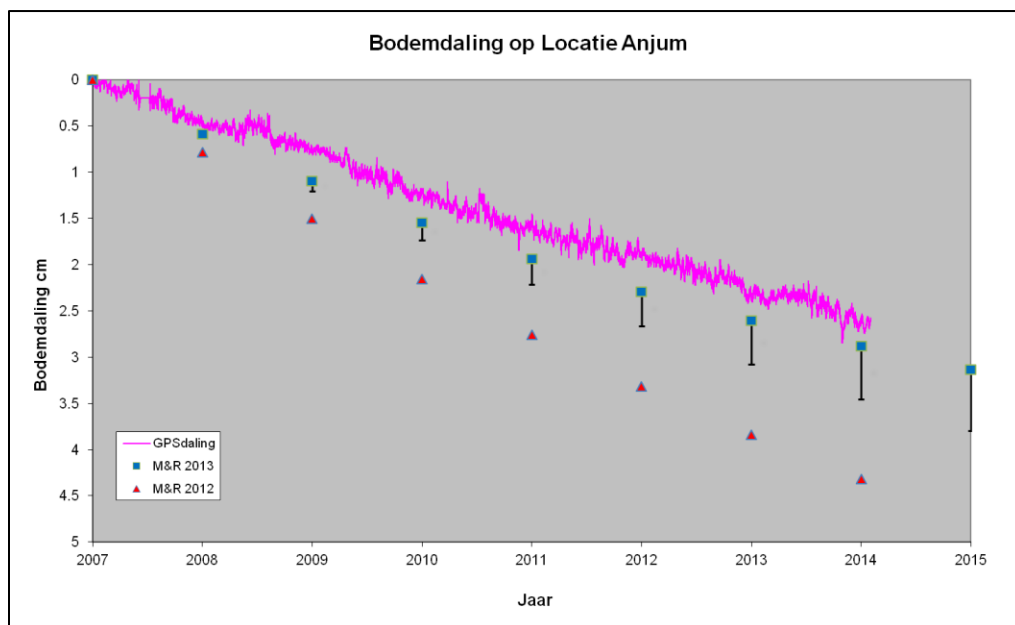
Figuur 13, Figuur 14 en Figuur 15 geven de geprognosticeerde daling tot en met 2015 plus de gemeten daling vanaf begin 2007 op de GPS locaties grafisch weer. Afwijkingen tussen het model en het GPS punt worden voornamelijk veroorzaakt door de keuze om de kalibratie te optimaliseren voor het minimale verschil op basis van alle meetpunten. Volgens het M&R protocol (Referentie 14) 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.



Figuur 13 Voorspelde en gemeten (GPS) bodemdaling locatie Ameland (coördinaten: X-RD:190474.978, Y-RD: 608822.469). De onzekerheidsbandbreedte wordt gegeven door de bodemdalingsberekeningen volgens het hoge en lage scenario. De voorspelde bodemdaling op basis van de Meet- en regelcyclus rapportage over 2012 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 bodemdalingsberekeningen volgens het hoge en lage scenario. De voorspelde bodemdaling op basis van de Meet- en regelcyclus rapportage over 2012 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 bodemdalingsberekeningen volgens het hoge en lage scenario. De voorspelde bodemdaling op basis van de Meet- en regelcyclus rapportage over 2012 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 2013 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 2013 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

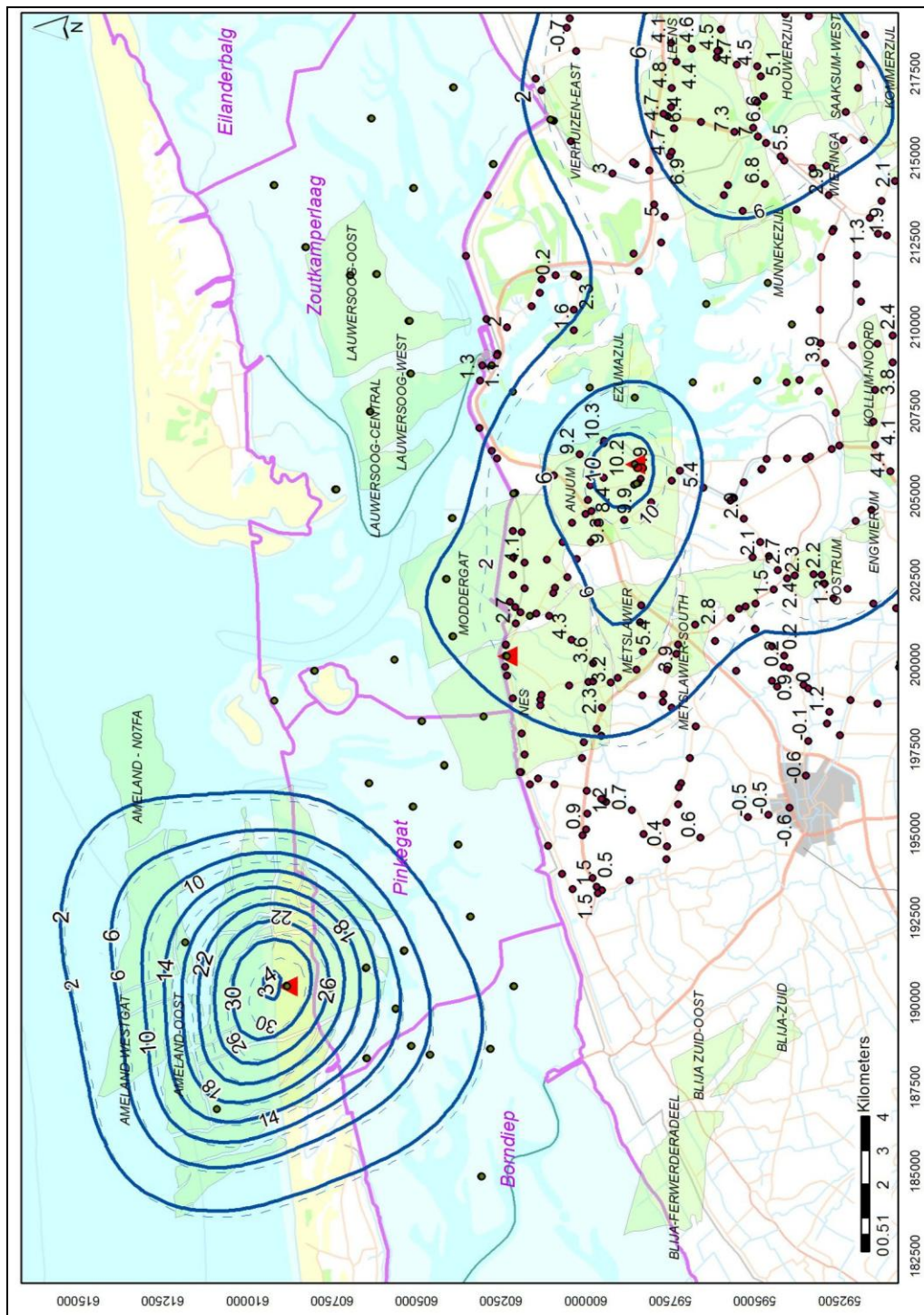
4. Conclusies

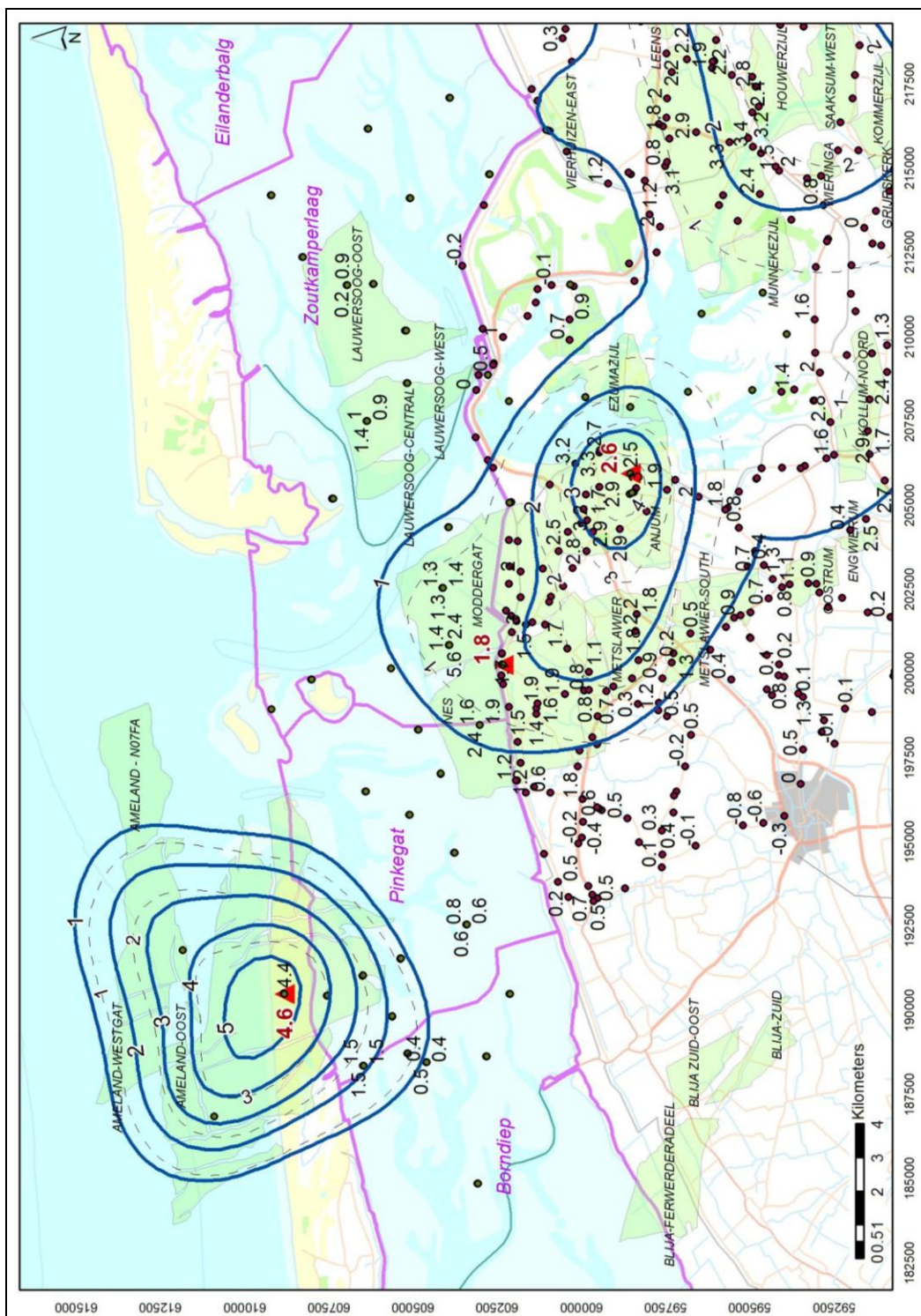
- De beschikbare modellen voor de voorkomens onder en rondom de Waddenzee zijn grondig geëvalueerd en gekalibreerd met de beschikbare metingen. De resultaten tussen metingen en modellen komen goed met elkaar overeen
- Volgens het meetplan Waddenzee zijn in 2013 GPS metingen uitgevoerd op 8 peilmerken van de clusters in de kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag. 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 2013 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.
- Gebaseerd op geologische en reservoirsimulatie analyses zijn een aantal scenario's opgesteld die vervolgens gebruikt zijn in de geomechanische analyse. Hierbij is ook de onzekerheidsruimte onderzocht van de beschikbare geomechanische compactiemodellen.
- Er is geen integrale onzekerheidsanalyse uitgevoerd voor de gehele keten van de modellering maar wel een analyse voor de delen. Er zijn een aantal realisaties geleverd van mogelijke reservoirdrukken per voorkomen. De parameters die gevarieerd zijn in de reservoirmodellen zijn: diepteligging van de top structuur kaart voor het reservoir, activiteit aquifer (watervoerend pakket) en het initiële volume aan gas (GIIP). Een combinatie van deze realisaties heeft geleid tot de definitie van het lage, basis en hoge scenario.
- Alle mogelijke combinaties van deze scenario's (laag, basis en hoog) in combinatie met de verwachte geomechanische eigenschappen van het gesteente leiden tot bodemdalingssnelheden die binnen de gebruiksruimte blijven tot het jaar 2034.
- Wanneer rekening wordt gehouden met de geomechanische onzekerheid bij het hoge drukdalingsscenario overschrijdt de bodemdaling de gebruiksruimte rond het jaar 2025 in Zoutkamperlaag en rond het jaar 2030 in Pinkegat. Opgemerkt dient te worden dat in deze periode het (conservatieve) richtscenario van de zeespiegelstijging geldt en dat het onwaarschijnlijk is dat dit maximum scenario de realiteit zal gaan vormen.
- Volgens het basis scenario zal de bodemdaling de gebruiksruimte rond het jaar 2034 overschrijden. Dit scenario past het best met de beschikbare metingen.
- De meet- en regelcyclus stuurt op basis van de verwachtingswaarde voor de Belasting uitgaande van het basis scenario. Aangezien de bodemdaling volgens het basis scenario binnen de gebruiksruimte valt (in ieder geval voor de komende 20 jaar), 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. 1.18. 06-GPS B.V., 01/2014.
- Referentie 6 Check reference station coordinates NAM v.1.5. 06 GPS B.V., 06/2013.
- Referentie 7 NLGEO2004: het geoïdemodel voor Nederland. Data-ICT-Dienst, Rijkswaterstaat, URL: <http://www.rdnap.nl/algemeen/hoogte/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 (2013) Ameland aquifer water breakthrough scenario and impact on loading rate in the Pinkegat sand sharing area NAM EP201211243209
- Referentie 12 NAM (2012) Gaswinning Moddergat, Lauwersoog, Vierhuizen: Actualisering meet- en regelprotocol n.a.v. wijziging winningsplannen 2011 NAM EP200612202112
- Referentie 13 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%26pn%3d1%26rpp%3d10&resultIndex=0&sorttype=1&sortorder=4>
- Referentie 14 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
- Referentie 15 NAM (2014) Subsurface Technical Report. Subsidence Modelling of Anjum, Ameland and Waddenzee Fields. EP Report No: EP201403205558
- Referentie 16 Bodemdaling Noord Nederland - satelliet radar interferometrie rapportage behorende bij het meetplan Noord Nederland 2013. EP Report No: EP201312202348

Bijlage 1. Gemodelleerde en gemeten bodemdaling 2013





Figuur 17 Totale bodemdaling (status 1-1-2013) 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 2012 weer zoals getoond in de M&R rapportage over 2012). De punten met label representeren de peilmerken met de gemeten hoogteverschillen vanaf 2006 (nulmeting Waddenzee). Punten op land middels InSAR meting van dec. 2012 en in de Waddenzee middels GPS in mei 2013. Bodemdaling in cm.