

**Gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en
Vierhuizen**
Resultaten uitvoering Meet- en regelcyclus 2014

NAM B.V.

<i>EP Document Nummer.:</i>	<i>EP201504206417</i>	<i>Owner:</i>	<i>UIO/T/DL</i>
<i>Revision No.:</i>		<i>Status:</i>	<i>FINAL</i>
<i>Document Date:</i>	<i>1/5/2015</i>	<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 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 12).

Als onderdeel van de voorschriften behorende bij het vornoemde 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 11 en Referentie 3).

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 2014 zijn er op 18 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 2014 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 na 2011 verder bijgewerkt en gekalibreerd op basis van o.a. gegevens uit de nieuwe boring in het Nes veld en productie data. De gedetailleerde dynamische reservoirsimulatiemodellen zijn ook bijgewerkt op basis van deze nieuwe geologische modellen en gekalibreerd met de gemeten gasproductie en reservoirdrukgegevens t/m 1-1-2015. Vervolgens is ook het geomechanische model met informatie uit deze vernieuwde modellen aangepast en opnieuw gekalibreerd met de gemeten bodemdaling die sinds de start van de productie heeft plaatsgevonden.

Het dynamisch reservoirgedrag is onderzocht door verschillende parameters per voorkomen te variëren. Combinaties van deze realisaties leiden vervolgens tot de definities van een aantal scenario's waarvoor de bodemdaling is berekend 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.

Hierbij is de onzekerheid in de geomechanische modellering bepaald middels een Monte Carlo analyse.

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 2014 GPS metingen in de Waddenzee uitgevoerd op 18 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 2014 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 gasproductie 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 13 .
- 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.
- Bij het opstellen van de realisaties van de dynamische reservoir modellen voor Anjum en de Wadden voorkomens is de activiteit van de aquifer (het watervoerend pakket) gevarieerd omdat uit de vorige M&R (2013) bleek dat deze variatie veruit het meeste effect had op de bodemdaling in de kombergingsgebieden. Bij één realisatie wordt ervan uitgegaan dat de aquifer niet of nauwelijks meedepleteert (door de aanwezigheid van zowel kleideeltjes die de permeabiliteit beperken als residueel gas in de aquifer dat de relatieve permeabiliteit verkleint). Bij de tweede realisatie kan de aquifer wel volledig meedepleteren.
- Voor de Ameland voorkomens is de aquifer activiteit dusdanig gevarieerd zodat deze past binnen de bandbreedte van de metingen boven het Ameland eiland en met name in de Waddenzee waar nieuwe metingen aanleiding lijken te geven dat de mobiliteit van de aquifer hoger is dan aangenomen in voorgaande rapportages van de Meet- en Regelcyclus. Deze passing heeft geleid tot een hogere bodemdalingssnelheid in Pinkegat in vergelijking met de drie voorgaande edities van de meet- en regelcyclus.
- Een combinatie van deze realisaties toegepast op verschillende voorkomens heeft geleid tot de definitie van een laag, basis en hoog bodemdalingsscenario.
- Het basis scenario geeft aan dat de gebruiksruimte in de kombergingsgebieden niet voor 2034 wordt overschreden.
- Volgens het basisscenario zal de bodemdaling de gebruiksruimte rond het jaar 2034 in Zoutkamperlaag overschrijden. Dit scenario past het best met de

beschikbare metingen. In Pinkegat wordt de gebruiksruimte volgens het verwachte scenario na 2038 overschreden.

- Wanneer rekening wordt gehouden met de bovengrens in de geomechanische onzekerheid bij het hoge drukdalingsscenario overschrijdt de bodemdaling de gebruiksruimte rond het jaar 2029 in Zoutkamperlaag en rond het jaar 2019 in Pinkegat. Opgemerkt dient te worden dat in deze periode het (conservatieve) richtscenario van de zeespiegelstijging geldt en dat dit scenario zeer onzeker is.
- De verandering t.o.v. de M&R 2013 in Pinkegat wordt met name gestuurd door de geobserveerde bodemdaling tussen Nes en Ameland in 2014 en de geplande continuering van de productie uit de sinds 2012 afgesloten lagen in het Nes voorkomen.
- De meet- en regelcyclus stuurt op basis van de verwachtingswaarde voor de belasting uitgaande van het basisscenario. Aangezien de bodemdaling volgens het basisscenario 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
	Overzicht veranderingen reservoirsimulatiemodellen t.o.v. M&R2013	11
	Kalibratie reservoirsimulatiemodellen	12
	Gaswinningsprognose	16
	Opstellen van bodemdalingsscenario's: minimum, laag, basis, hoog en maximum ..	18
	Modellering bodemdaling Anjum en Wadden voorkomens	19
	Onzekerheid gemodelleerde bodemdaling	22
2.4.	Berekenen volume en gemiddelde daling (stap 4)	27
	Bepaling volume en gemiddelde daling	27
	Bodemdalingsvolume voor bepaling belasting rapportagejaar 2014 met onzekerheid	29
	Actuele en voorspelde bodemdalingssnelheid en belasting.....	32
2.5.	Indien nodig aanpassen productie (stap 5)	34
2.6.	Actualiseren (stap 6).....	34
	Bodemdaling GPS locaties op Moddergat en Ameland	36
3.	Kwaliteitsborging.	38
4.	Conclusies.....	39
5.	Referenties	41
	Bijlage 1. Gemodelleerde en gemeten bodemdaling 2014.....	42

1. Inleiding

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 12).

Als onderdeel van de voorschriften behorende bij het voornoemde winningsplan is een Meet- en regelprotocol opgesteld², 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 11 en Referentie 3).

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".

Voor het jaar 2014 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. Deze deelprocessen zijn:

1. Meten
2. Analyseren meetgegevens
3. Verifiëren prognose
4. Berekenen volume en gemiddelde daling
5. Indien nodig aanpassen productie
6. Actualiseren

Hierna volgt een hoofdstuk over de kwaliteitsborging, zoals eveneens beschreven in het Meet- en regelprotocol. Als laatste worden alle conclusies van de Meet- regelcyclus 2014 nog op een rij gezet.

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 2005 t/m 2017 (Tabel 2-6 en Tabel 2-7).

² Meet- en regelprotocol Winning Waddenzeegas vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. Nederlandse Aardolie Maatschappij BV. EP200612202122.

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 2-9).
4. De in een bepaald jaar gerapporteerde belasting B wordt berekend voor de situatie op 1 januari van dat jaar. Voor de rapportage in 2015 (over het jaar 2014) wordt op deze manier een B voor 1 januari 2015 berekend.
5. Grafieken met de bodemdalingsbelasting voor de kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag vanaf start productie op de locatie Moddergat tot 2040 (Figuur 9 & Figuur 10) .
6. 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)
7. Geplande productie per voorkomen (jaarprofiel; Tabel 2-5).
8. 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 gebruiksruimte (G) vastgelegd.

Terminologie

In het document zullen veelvuldig de termen *realisatie* en *scenario* gebruikt worden.

- Bij *realisatie* wordt bedoeld op de variatie van parameters binnen het reservoirmodel, die tot een bepaald *drukprofiel* in het *reservoir* en onderliggend en aangrenzend watervoerend pakket zal leiden.
- Bij *scenario* wordt bedoeld op een combinatie van reservoir realisaties in combinatie met aannames over de geomechanische parameters. Deze zullen tot een bepaald *bodemdalingsprofiel* in de kombergingsgebieden leiden.

2. Deelprocessen

Op basis van de tot en met het jaar 2014 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 2014.

2.1. Meten (stap 1)

Vlakdekkende metingen

Volgens het meetplan voor de Waddenzee zijn in 2014 GPS metingen in de Waddenzee uitgevoerd op 18 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.

In plaats van een GPS meting elke 3 jaar op de platforms AWG1 en AME2 zijn ook daar in september 2014 permanente GPS stations geplaatst.

Verder is een waterpassing uitgevoerd op Ameland. Resultaten hiervan zijn gerapporteerd in Meetregister bij het meetplan Waddenzee 2014 - Rapportage van de nauwkeurigheidswaterpassing Ameland 2014 (zie Referentie 15).

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 2014.

Tabel 2-1 Meest recente resultaten van reservoirdrukmetingen met cumulatieve productie van het voorkomen op tijdstip van de meting.

Velden	Datum	Cumulatieve productie (10 ⁶ Nm ³)	Druk op reservoir niveau (bara)
Nes	09/05/2014	6113	295 (@ 3700 mTVDNAP, MGT-2)
Nes	17/04/2013	4655	347 (@ 3700 mTVDNAP, MGT-3)
Moddergat	08/05/2014	3094	215 (@ 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)
Vierhuizen-Oost	10/09/2013	1213	131 (@ 3850 mTVDNAP)

Tabel 2-2 Productie per voorkomen tot en met 31/12/2014.

Velden	Cumulatieve productie t/m 2014 (10 ⁶ Nm3)	Productie volgens 2011 winningsplan in 2014 (10 ⁶ Nm3)	Actuele productie* in 2014 (10 ⁶ Nm3)
Nes	6814	1550	1221
Moddergat	3297	256	354
Lauwersoog-C	97	3	20
Lauwersoog-West	1123	104	109
Lauwersoog-Oost	1484	164	185
Vierhuizen-Oost	1359	267	115
Totaal	14174	2344	2004

*Afwijking van de actuele productie t.o.v. de winningsplan productie valt binnen de toegestane bandbreedte.

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 twaalfstal permanente stations als vaste (statische) referentie gebruikt. De coördinaten van deze stations zijn voorafgaand aan de 2014 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.

Hoewel verondersteld kan worden, dat zetting heeft plaatsgevonden voor alle 3 nieuw geplaatste peilmerken van een cluster wordt voor de verdere analyse de meetwaarden van het meest stabiele peilmerk (zoals bepaald in het stabiliteitsonderzoek) gebruikt en als zodanig meegenomen in de kalibratie van het geomechanisch model.

Continue GPS metingen

Als onderdeel van het Meet- en regelprotocol 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. Tevens zijn er 2014 GPS antennes geplaatst op de AWG en AME productieplatforms. De lengte van de tijdserie van deze twee metingen is voor deze M&R cyclus onvoldoende om gebruikt te worden in de kalibratie van de geomechanische modellen. Ze zullen wel worden meegenomen in de 2015 M&R cyclus.

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

Locatie	Daling van 05/02/07 t/m 31/12/2014 [mm]	Dalingssnelheid in 2014 [mm/jaar]
Ameland	55	9,6 [$1\sigma = 0,9$ mm/jaar]
Anjum	30	4,3 [$1\sigma = 0,4$ mm/jaar]
Moddergat	25	6,7 [$1\sigma = 0,6$ mm/jaar]

2.3. Verifiëren prognose (stap 3)

Overzicht veranderingen reservoirsimulatiemodellen t.o.v. M&R2013

Enkele veranderingen hebben plaatsgevonden bij het updaten van de reservoirmodellen, die per voorkomen worden opgesteld. Hieronder volgt een overzicht van de belangrijkste veranderingen.

- Per veld zijn twee realisaties gegenereerd: één realisatie met een immobiele aquifer en één met een mobiele aquifer. Andere realisaties, die een gering effect op de bodemdaling hebben, zijn komen te vervallen:
 - Er zijn geen verschillende GIIP-realisaties voor elk veld als onzekerheid meegenomen, omdat deze onzekerheid veel minder invloed heeft op de bodemdaling dan de mobiliteit van de aquifer.
 - De hoge top reservoir structuur realisaties (vorig jaar opgesteld voor Metslawier, Nes en Moddergat) zijn komen te vervallen, omdat de huidige basisstructuurrealisaties een betere passing geven met de gemeten productie- en drukgegevens. Ook is het effect op de bodemdaling van de variatie van de topreservoirstructuur kleiner dan het effect van de variatie in aquifermobiliteit.
- In de realisaties met een mobiele aquifer is de breukdoorlaatbaarheid gemaximaliseerd, zolang de dynamische putdata dit toelaten.
- Zoals vermeld zijn de hoogstructuurrealisaties voor Metslawier, Moddergat en Nes komen te vervallen, omdat in 2014 de basisstructuurrealisaties verder als volgt zijn geoptimaliseerd:
 - Bij het basisstructuurmodel van Metslawier is de verticale permeabiliteit verminderd om een goede passing te verkrijgen met de bestaande bodemdaling.
 - Bij Moddergat is het statische model gewijzigd (aanpassing van de basis topstructuurkaart) om een betere passing te maken met dynamische putdata.

- Omdat bij Nes verlaagde waterdrukken zijn waargenomen bij de boring van MGT-3, is er een model gemaakt dat uitgaat van een residueel gas in de aquifer waarmee de aquifer beperkt mobiel is. De andere realisatie gaat uit van een mobiel aquifer waarbij de permeabiliteit t.o.v. van de gasreservoirpermeabiliteit is gereduceerd.
- De mobiliteit van de aquifers ten zuiden van Ameland is aangepast door middel van een residueel gasmodel zoals ook toegepast voor het Nes voorkomen om een betere passing te verkrijgen met de gemeten bodemdaling tussen Ameland en Nes. Dit vervangt de realisatie met een immobiele aquifer.
- Voor het Nes voorkomen wordt een deel van de toekomstige gasproductie door de te boren put MGT-4 geproduceerd. Deze put heeft als doel uit lagere zones te produceren zoals beschreven in het Winningsplan 2011. Dit heeft een versterkend effect op de depletie van de watervoerende laag van Nes en daarmee op de bodemdalingsprognose.

Kalibratie reservoirsimulatiemodellen

Met behulp van de geologische modellen zijn gedetailleerde driedimensionale dynamische modellen van de reservoirs gemaakt voor de Anjumvoorkomens (Anjum, Ezumazijl, Metslawier), Waddenvoorkomens (Lauwersoog C,O,W, Moddergat, Nes, Vierhuizen) en de Ameland voorkomens. Deze reservoir modellen zijn gekalibreerd op de meest recente productie- en drukdata.

De grootte en sterkte van de watervoerende laag is in het algemeen slecht te bepalen op basis van de in de put gemeten drukdata en introduceert daardoor een veel grotere onzekerheid dan een mogelijke variatie van de GIIP en de permeabiliteit in de berekening van het bodemdalingsvolume. De verschillende bodemdalingsscenario's zijn dan ook alleen op de variatie van de aquifermobiliteit gebaseerd.

Extra kennis over de hoeveelheid drukdaling in de watervoerende pakketten is verkregen op basis van geodetische informatie rond de Ameland en Anjum velden. Deze informatie suggereert dat er geen grootschalige bodemdaling plaatsvindt boven deze watervoerende pakketten. Daarmee is het onwaarschijnlijk dat er significante en snelle drukdaling plaatsvindt in deze pakketten (**Referentie 13**). De aangenomen theorie hiervoor is tweeledig. Ten eerste is op basis van kernmetingen aangetoond dat de permeabiliteit van de watervoerende laag meestal lager is dan voor de gasvoerende laag door de aanwezigheid van kleideeltjes beneden het gas-water contact. Tevens bestaan er aanwijzingen voor de aanwezigheid van residueel gas in de watervoerende laag, hetgeen de hogere druk in het waterpakket kan verklaren (Referentie 15) door effectieve permeabiliteitsreductie van het water en uitzetting van het residuele gas.

Per voorkomen zijn twee (drie voor Ameland) realisaties opgesteld, waarbij de mobiliteit van de aquifer centraal staat. Voor de Waddenvelden behalve Nes gaat één realisatie uit van een immobiele aquifer (waarbij de waterpermeabiliteit met een vermenigvuldigingsfactor van 10^{-4} is gereduceerd t.o.v. de gaspermeabiliteit), een tweede realisatie gaat uit van een volledig mobiele aquifer (waarbij de aquifer eenzelfde permeabiliteit heeft als het gas). Bij deze tweede realisatie is bovendien ook de breukdoorlaatbaarheid gemaximaliseerd, zolang de dynamische putdata dat toelaten. Voor deze voorkomens is een goede passing met de bodemdaling te maken voor zowel een mobiele als een immobiele aquifer.

Voor Nes en Ameland zijn de realisaties aangepast, omdat er meer data beschikbaar is voor deze voorkomens. Dit wordt verder omschreven onder de kopjes *Nes* en *Ameland* later in deze paragraaf.

De dynamische modellen worden hieronder kort beschreven voor de verschillende voorkomens. Het opstellen van de realisaties voor Ameland wordt apart omschreven.

Anjum, Ezumazijl en Metslawier

De dynamische modellen geven een goede passing met de gemeten putdata. Vanwege de lange productiegiedenis, resulterend in een uitgebreide hoeveelheid data, is de onzekerheid in de gasvolumes en toegepaste veldparameters relatief klein. De onzekerheid van de aquiferdrukken blijft groot: de mobiliteit van de aquifers heeft geen invloed op de passing van het model met de druk- en productiedata.

Voor Metslawier is het basisstructuurmodel verder aangepast om een betere passing te maken met de bodemdalingsmetingen; hierbij is de verticale permeabiliteit verminderd van zowel de gas als de waterlaag. Dit zorgt voor wat minder drukdaling in de watervoerende laag en dit komt meer overeen met de drukken van het hoogstructuurmodel dat gebruikt was in MR2013. Hierdoor is het hoogstructuurmodel, zoals gebruikt in M&R2013, komen te vervallen.

Moddergat

Voor Moddergat is de topstructuurkaart van het basisstructuurmodel aangepast aan de beste huidige schatting van de GIIP. Dit model ligt qua GIIP (9.6 bcm) tussen het basisstructuurmodel (5.6 bcm) en het hogestructuurmodel (11.4 bcm) van MR2013 in.

De resultaten van het reservoirsimulatiemodel van Moddergat vertonen een goede overeenkomst met de gemeten data. Een optimale passing wordt verkregen wanneer wordt aangenomen dat er gelimiteerde 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), betekent dit dat het zuidelijk deel van het veld minder in druk is gedaald. De ontwikkeling van de druk in de bodemaquifer is onzeker en daarom is een grote onzekerheid in aquifermobiliteit aangenomen.

Nes

De MGT-3 boring in het veld in 2012 heeft de druk gemeten in de aquifer nadat het veld (Nes) al enkele jaren had geproduceerd. Deze meting toonde een geringe drukdaling (45 bar t.o.v. 140 bar in de gaslaag) aan die achterliep bij de gasdruk. De mogelijkheid van drukdaling in de watervoerende pakketten wordt verder ondersteund door enige waterproductie van de onderste laag die is gemeten in de put MGT-2. De waterproductie in deze put is gestopt door de onderste watervoerende laag met cement af te dichten tot aan de daarboven liggende slecht doorlaatbare kleilaag.

Aangezien er dus bewijs lijkt te zijn voor een drukdaling in het watervoerende pakket onder Nes is voor dit veld een residueelgasmodel opgesteld ter vervanging van de realisatie met een immobiele aquifer. In dit model zal de drukdaling achterliggen bij de drukdaling in het gasveld zoals ook is aangetoond met de metingen. Een andere verklaring voor de achterliggende drukdaling is een reductie in de aquiferpermeabiliteit. Deze verklaring is meegenomen in de tweede realisatie voor dit voorkomen. Het

geologische model voor Nes in 2014 is gelijk aan het basisstructuurmodel zoals gebruikt in de M&R 2013.

Lauwersoog – C, –Oost en –West

Ook voor de velden Lauwersoog –C, –O en –W komen de resultaten van het reservoirsimulatiemodel goed overeen met de gemeten data. Voor deze voorkomens zijn de gebruikte modellen vergelijkbaar met de basismodellen zoals beschreven in de M&R2013 rapportage.

Voor Lauwersoog C is de grootste onzekerheid voor de bodemdaling de permeabiliteit en breukdoorlaatbaarheid in de aquifer, waardoor er een realisatie is gemaakt met een volledig mobiele aquifer en een realisatie met een volledig immobiele aquifer. Deze breuken zijn voor de mobiele aquifer zoveel mogelijk doorlatend gemaakt. Het effect van deze variatie op de bodemdaling boven dit veld blijft klein vanwege de geringe productie en daarmee gepaarde drukdaling van dit voorkomen .

Het model van Lauwersoog Oost is verfijnd op basis van de gemeten data t.o.v. M&R2013 (GIIP revisie van 8.6 naar 7.6 bcm), hetgeen heeft geleid tot een snellere drukdaling in het veld.

Voor Lauwersoog West lijken enkele bovenste lagen iets meer te produceren, wat voor meer drukdaling zorgt in het veld dan een jaar geleden werd voorspeld.

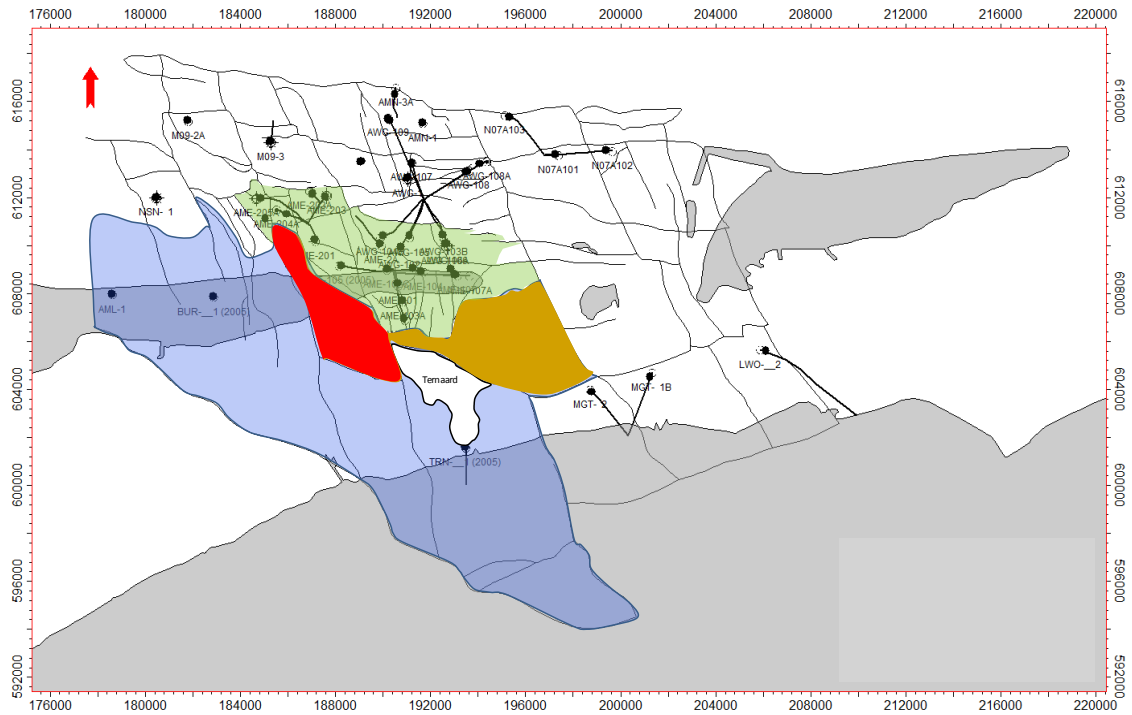
Vierhuizen-Oost

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), de permeabiliteit van het veld en de mobiliteit van de aquifer. Deze hoeveelheid gas en het al dan niet dalen van de druk in de watervoerende laag zijn de voornaamste onzekerheden van het veld.

De realisatie met een immobiele aquifer gaat uit van een hoge permeabiliteit met een wat kleinere GIIP. Bij de realisatie met een mobiele aquifer was het noodzakelijk om de permeabiliteit te verlagen en de GIIP te vergroten om een passing te verkrijgen met de gemeten data. Door het verlagen van de permeabiliteit voorspelt dit model wat minder drukdaling in de aquifer dan in M&R2013.

Ameland

Bodemdalingsmetingen in de Waddenzee tussen het voorkomen Nes en Ameland geven in 2014 aan dat er zekere mate van bodemdaling heeft plaatsgevonden. Deze daling kan niet direct worden verklaard door de onzekerheid van het geomechanisch model. De meest waarschijnlijke verklaring is dat de aquifers ten zuiden van Ameland langzaam in druk dalen. De rode en oranje aquifers in Figuur 1 tonen de in de modellen aangenomen actieve aquifers die door breuken met een groot verzet begrensd worden. De grote blauwe aquifer daalt waarschijnlijk niet in druk omdat er boven deze aquifer geen bodemdaling wordt gemeten. Om dit proces te modelleren is, net als bij Nes, dit jaar gebruik gemaakt van een residueelgasmodel. Er zijn meerdere realisaties gemaakt waarbij wordt uitgegaan van een vast percentage residueel gas (15%), waarbij de permeabiliteit van de aquifer met een factor wordt gevarieerd. Een factor 1 betekent dezelfde permeabiliteit voor de aquifers als de permeabiliteit van het gasreservoir. Deze realisaties zijn vervolgens doorgerekend met de analytische en numerieke geomechanische modellen en getoetst aan de gemeten daling.



Figuur 1 Laterale aquifers van het Ameland voorkomen (rood en geel).

Het nieuwe model voorspelt een drukdaling in zowel het watervoerende pakket onder de gaslaag als een drukdaling in de laterale watervoerende pakketten ten zuiden van het veld.

Een overzicht van de alle opgestelde realisaties is weergegeven in Tabel 2-4

Tabel 2-4 Overzicht van de opgestelde realisaties

Voorkomen	realisatie #	Residueel gas (%)	Permeabiliteitsfactor aquifer t.o.v. permeabiliteit reservoir	Aquiferdruk gepast op meting
Nes	1	15	0,7	RFT MGT-3
Nes	2	0	0,023	RFT MGT-3
Ameland	1	15	0,3	GPS Waddenzee
Ameland	2	15	0,5	GPS Waddenzee
Ameland	3	15	0,7	GPS Waddenzee
Overige Waddenvoorkomens	1	0	10 ⁻⁴	<i>Geen data beschikbaar</i>
Overige Waddenvoorkomens	2	0	1	<i>Geen data beschikbaar</i>

Gaswinningsprognose

Om een prognose te maken voor de mogelijke bodemdaling, wordt een gasproductieprognose aangenomen in de reservoir modellen. Deze prognose gaat ten eerste uit van productie die in overeenstemming is met de in 2011 ingediende wijziging winningsplan Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen (Referentie 1). Tabel 2-5 toont deze jaarlijkse productie per voorkomen.

Bij enkele velden, Nes en Lauwersoog C, is afgeweken van de productie omdat dit te ver afwijkt van de meest recente winningsprognoses.

- Nes: Het op productie- en drukdata gekalibreerde dynamische model van Nes voorspelt een substantieel lagere winning dan voorspeld werd in 2011 en is daardoor aangepast. Een derde toekomstige put MGT-4 is wel meegenomen in deze prognose. Deze put heeft als doel uit lagere zones te produceren zoals beschreven in het Winningsplan 2011. Dit heeft een versterkend effect op de depletie van de watervoerende laag van Nes en daarmee op de bodemdalingsprognose.
- Voor Lauwersoog C is de productie tussen 2011 en 2014 meer geweest dan geraamd in het winningsplan van 2011.

Tabel 2-5 Voorgenomen productie (miljoen m³ per jaar) per voorkomen per *Wijziging winningsplan Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen, 2011* (Referentie 1). In sommige gevallen is van deze prognose afgeweken voor de bodemdalingsberekeningen. De gemodelleerde productieprognose is tussen haakjes genoteerd wanneer er is afgeweken van het winningsplan.

Jaar	Moddergat	Nes	Lauwersoog- Oost	Lauwersoog- West	Lauwersoog- C	Vierhuizen- Oost
2015	209	1351 (670)	137	89	3	35
2016	174	1180 (920)	114	79	3	15
2017	144	1033 (1270)	97	47	3	15
2018	184	943 (950)	87	60	3	-
2019	191	856 (720)	82	78	16	-
2020	161	753 (490)	73	62	26	-
2021	138	662 (380)	66	54	20 (11)	-
2022	121	577 (440)	60	49	8 (0)	-
2023	108	504 (430)	55	46	3 (0)	-
2024	97	441 (330)	52	43	3 (0)	-
2025	88	383 (280)	49	40	3 (0)	-
2026	54	337 (210)	48	40	2 (0)	-
2027	22	303 (180)	49	40	3 (0)	-
2028	21	265 (150)	46	35	2 (0)	-
2029	-	230 (80)	43	24	2 (0)	-
2030	-	200 (60)	40	29	2 (0)	-
2031	-	175 (40)	38	25	2 (0)	-
2032	-	161 (0)	30	26	2 (0)	-
2033	-	164 (0)	9	24	2 (0)	-
2034	-	145 (0)	6	24	2 (0)	-
2035	-	128 (0)	6	23	2 (0)	-
Totaal	1712	10791 (7600)	1187	937	112 (68)	65

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 om de onzekerheid die kan worden geïntroduceerd door de geomechanische parameters beter te kwantificeren (Referentie 13). 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 RTCiM (Rate Type Compaction isotach Model, Referentie 16) - model gebruikt binnen de analytische omgevingen. Van beide modellen worden de invoergegevens gevarieerd en vergeleken met de metingen.

Opstellen van bodemdalingsscenario'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 waarbij de mobiliteit van de aquifer is gevarieerd.

Combinaties van deze realisaties heeft geleid tot het opstellen van een laag, basis en hoog bodemdalingsscenario voor de Waddenvoorkomens. De Anjum, Ezumazijl en Metslawier voorkomens gelden hier als kalibratie, aangezien deze velden de langste productiegeschiedenis kennen (sinds 1997) en de bodemdaling boven deze velden uitvoerig is gemeten.

- Het lage scenario wordt gevormd door de realisaties met een mobiele aquifer voor alle voorkomens. In dit scenario leidt de aanname van een mobiele aquifer in Anjum/Ezumazijl/Metslawier tot een verlaging van de gesteentecompressibiliteit, waardoor er in de toekomst minder daling zal optreden boven de Waddenvoorkomens.
- Het basisscenario wordt gedefinieerd door de realisaties met een immobiele aquifer voor de voorkomens Anjum/Ezumazijl/Metslawier. Voor Ameland en Nes wordt een beperkt mobiel aquifer (15% residueel gas en 0,5 permeabiliteitsreductie t.o.v. de permeabiliteit in het gasreservoir oftewel 0,5*Perm. gasreservoir) aangenomen. In dit scenario leidt de aanname van een immobiele aquifer in Anjum/Ezumazijl/Metslawier tot een wat hogere gesteentecompressibiliteit, hetgeen tot meer daling zal leiden boven de Waddenvoorkomens.
- Het hoge scenario wordt gevormd door de realisaties met een immobiele aquifer voor de velden Anjum, Ezumazijl en Metslawier in combinatie met een mobiele aquifer voor Ameland, Nes, Moddergat, LWO-C,-O,-W en Vierhuizen. De waarde van de gesteentecompressibiliteit is hiermee gelijk aan het basisscenario en in combinatie met de mobiele Waddenzeeaquifers leidt dit tot de hoogste bodemdalingssnelheid in de Waddenzee

De gebruikte stijfheid in de eindige elementen berekeningen past binnen de bandbreedte van de gemeten waarde die volgen uit core plug experimenten. 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 minimumscenario bestaat uit het lage (reservoir) scenario inclusief de minimumbegrenzing bepaald door de geomechanische onzekerheid.
- Het maximumscenario bestaat uit het hoge (reservoir) scenario inclusief de maximumbegrenzing bepaald door de geomechanische onzekerheid.

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

Hieronder volgt een overzicht van de belangrijkste wijzingen per voorkomen t.o.v. de M&R 2013 rapportage.

Modellering bodemdaling Ameland

De GPS metingen in de Waddenzee tussen Nes en Ameland tonen in 2014 een significante bodemdaling. De laatste metingen in 2011 in dit gebied toonden deze bodemdaling (nog) niet omdat de meetpunten pas in 2009 stabiel waren en daarmee de meetperiode te kort was. De metingen in 2014 geven echter aanleiding om de ideeën omtrent de mobiliteit van de aquifers te wijzigen. In 2011 was de gedachte om deze mobiliteit te reduceren op basis van bodemdalingsmetingen ten zuidwesten van het gasreservoir. Deze metingen toonden en tonen aan dat de mobiliteit van de aquifer en daarmee gepaarde drukdaling waarschijnlijk gering is/was. Tegelijkertijd tonen de huidige metingen ten zuiden van het gasveld een duidelijke bodemdaling aan waarbij de meest waarschijnlijke verklaring drukdaling in de aquifer onder deze meetpunten is.

Voor Ameland zijn de dynamische reservoir scenario's voornamelijk gebaseerd op variatie in aquiferactiviteit onder het gasveld en ten zuiden en zuidwesten van het Ameland veld (rode en oranje vlakken in Figuur 1). Referentie 13 gaat in op de passing van het Ameland Geomec model met de metingen die vooral boven het eiland zijn gedaan. De tijdsconstante voor het "time-decay" compactie model is net zoals in de M&R 2013 zeven jaar. De stijfheid is 10% verhoogd t.o.v. 2013 vanwege de lagere drukken in de bodemaquifer en gekoppeld aan de porositeit in het veld. Wanneer deze stijfheid wordt vertaald in een compressibiliteit komt de waarde voor de C_m -porositeitsrelatie op het gemiddelde van de core plug experimenten.

Modellering bodemdaling Anjum en Wadden voorkomens

Voor de Anjum voorkomens (Anjum, Ezumazijl en Metslawier) en de Wadden voorkomens blijven de genoemde time decay constante (3 jaar) en Youngs modulus (12 GPa) gelijk aan die zoals vermeld in de M&R 2013. Ook de creep strain rate coëfficiënt ($1,39 \cdot 10^{-10} \text{ s}^{-1}$) is gelijk gebleven aan die zoals gebruikt in de M&R 2013.

De passing van de gemeten daling en gemodelleerde 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.

Tweede orde verschillen tussen de rekenmethoden uiten zich voornamelijk in de vorm van de bodemdalingssom.

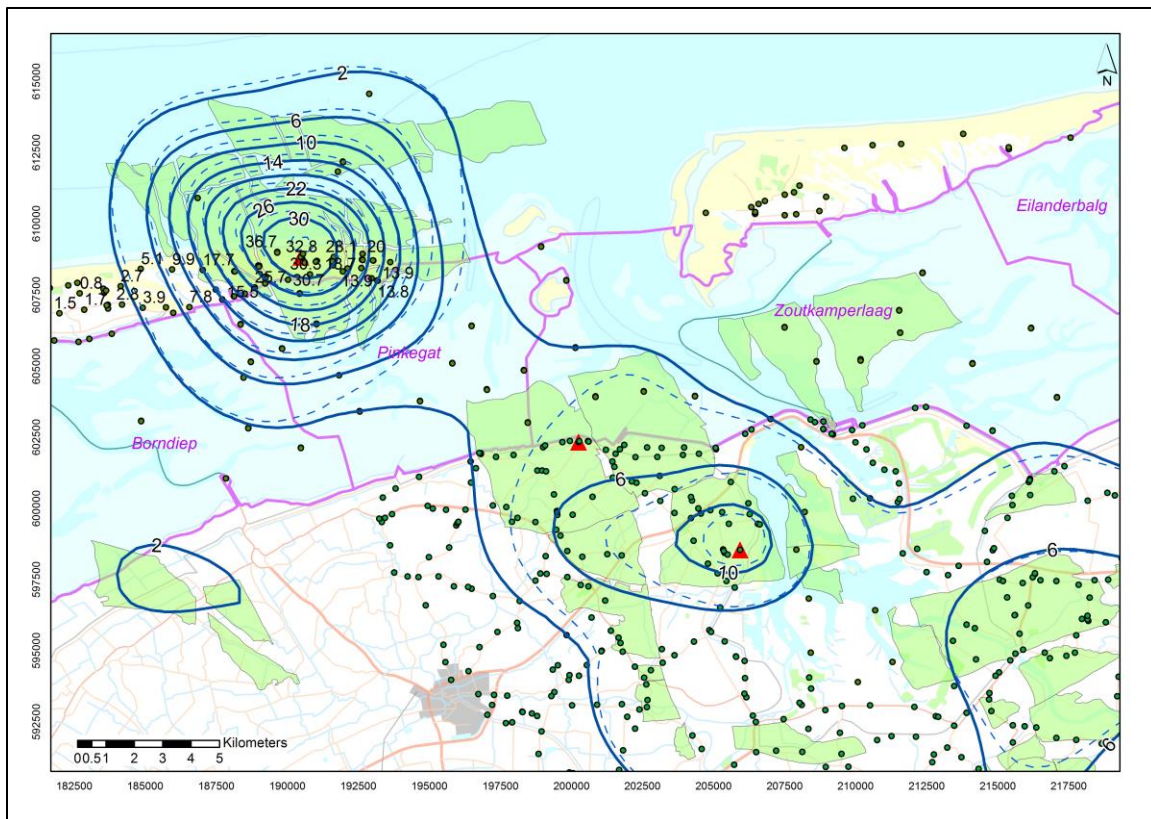
De conclusies op basis van de berekeningen zoals gedocumenteerd in Referentie 13 zijn als volgt:

- Het Geomec model zoals gebruikt in de M&R 2014 rapportage overschat de bodemdaling op de Anjum GPS locatie. De analytische compactiemodellen laten, binnen een bepaalde RMS begrenzing, een onderschatting van de bodemdaling in het diepste punt zien.
- Een verhoging van de viscositeit van het zout in het Geomec model geeft 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 bodemdalingssom smaller en dieper wordt.
- De bodemdalingssomvolumes in de kombergingsgebieden die volgen uit de berekeningen zijn vergelijkbaar. Met name de bijdrage van het Ameland voorkomen aan het bodemdalingssomvolume in Pinkegat zal volgens de analytische methode wat groter zijn.

Net als voor de M&R 2013 vormt het Geomec model de basis voor het genereren van de contourkaarten en de berekening van de bodemdalingssnelheden volgens het lage, verwachte en hoge scenario. Het RTCiM compactiemodel is niet beschikbaar in Geomec en is daarom niet gebruikt voor de base case. Dit model is wel gebruikt in de analytische modellen.

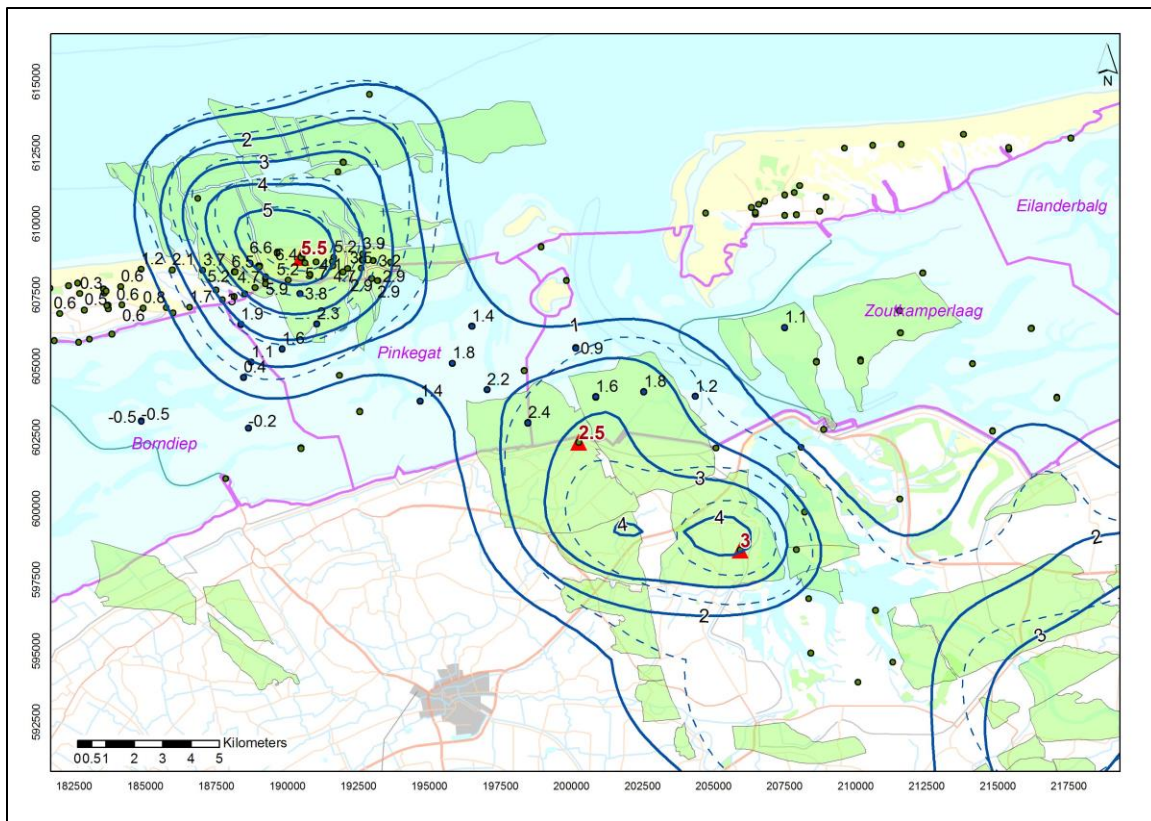
De geomechanische onzekerheid die volgt uit verschillende compactiemodellen en geomechanische parameters wordt m.b.v. deze analytische modellen geschat.

Figuur 2 toont de contouren van de gemodelleerde bodemdaling volgens het basis scenario. De contouren zijn gepresenteerd voor 1-1-2014 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 2013 zoals gerapporteerd in de Meet- en regelrapportage van 2013 (Referentie 4).



Figuur 2 Totale bodemdaling (status contour 1-1-2014) door gaswinning sinds de start van de productie. In blauw de contouren van de gemiddelde bodemdaling (gestreepte contouren geven de bodemdaling in 2013 zoals beschreven in de M&R rapportage over 2013). Boven de gasvelden Ameland-Oost, Nes/Moddergat en Anjum zijn op 3 posities continue GPS metingen uitgevoerd sinds 2007 (rode driehoek). Bodemdaling in cm.

Figuur 3 toont de gemeten en gemiddelde daling in 2014 sinds de nulmetingen van 2006. De contouren zijn gepresenteerd voor 1-1-2014 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 gemiddeld met de nieuwe modellen en parameterwaarden. Ter vergelijking geven de gestreepte contouren de gemiddelde bodemdaling voor 2013 zoals gepresenteerd in het M&R rapport 2013 weer.



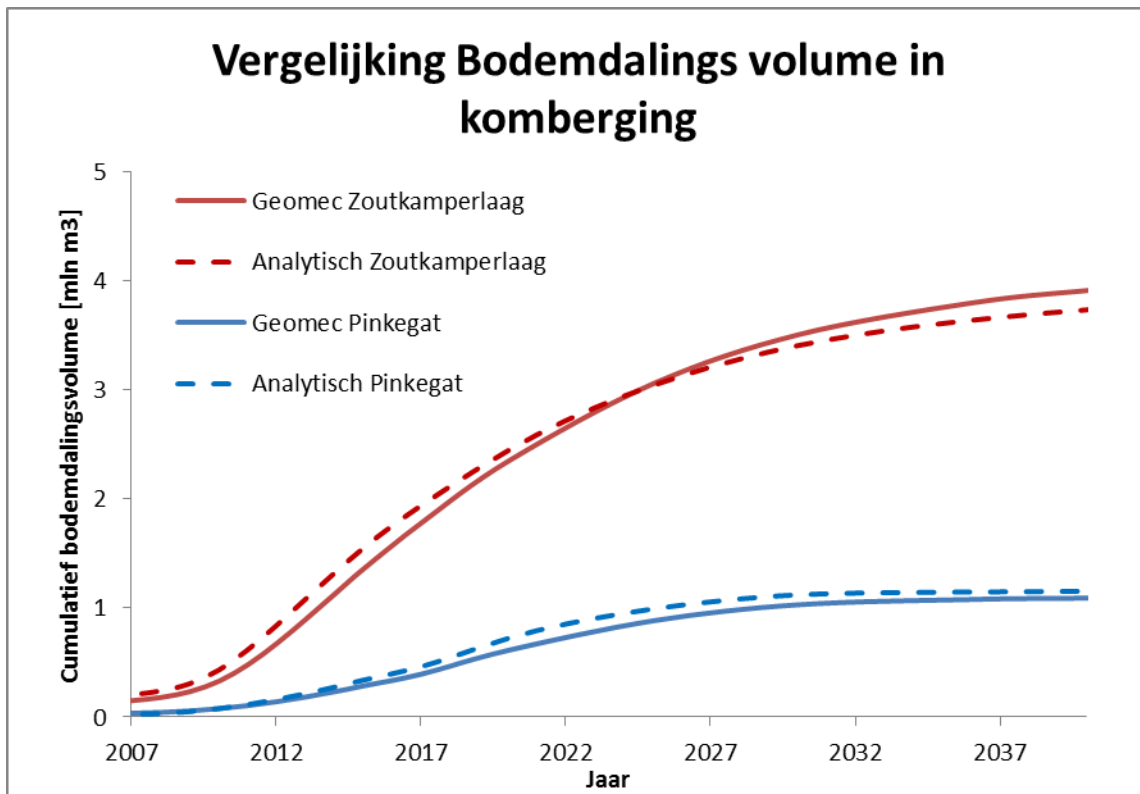
Figuur 3 Totale bodemdaling (status contour 1-1-2014) door gaswinning sinds de nulmeting Waddenzee in 2006. In blauw de contouren van de gemodelleerde bodemdaling volgens de aangepaste/gekalibreerde geomechanische modellen (gestreepte contouren geven de bodemdaling 2013 weer zoals getoond in de M&R rapportage over 2013). De punten met label representeren de peilmerken met de gemeten hoogteverschillen vanaf 2006 (nulmeting Waddenzee) tot de laatst uitgevoerde meting in mei 2014. Rode waarden geven de daling aan van de permanente GPS stations in de periode feb. 2007- jan. 2015. 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 RTCiM model mbv analytische modellen (zie ook Referentie 13 en Referentie 16).

In de meet en regelrapportage 2013 is beschreven dat de numerieke en de Geertsma en van Opstal modellering een vergelijkbare bodemdalingskom laat zien. Ook in het bodemdalingsvolume laten beide modellen een goede vergelijking zien (Figuur 4).

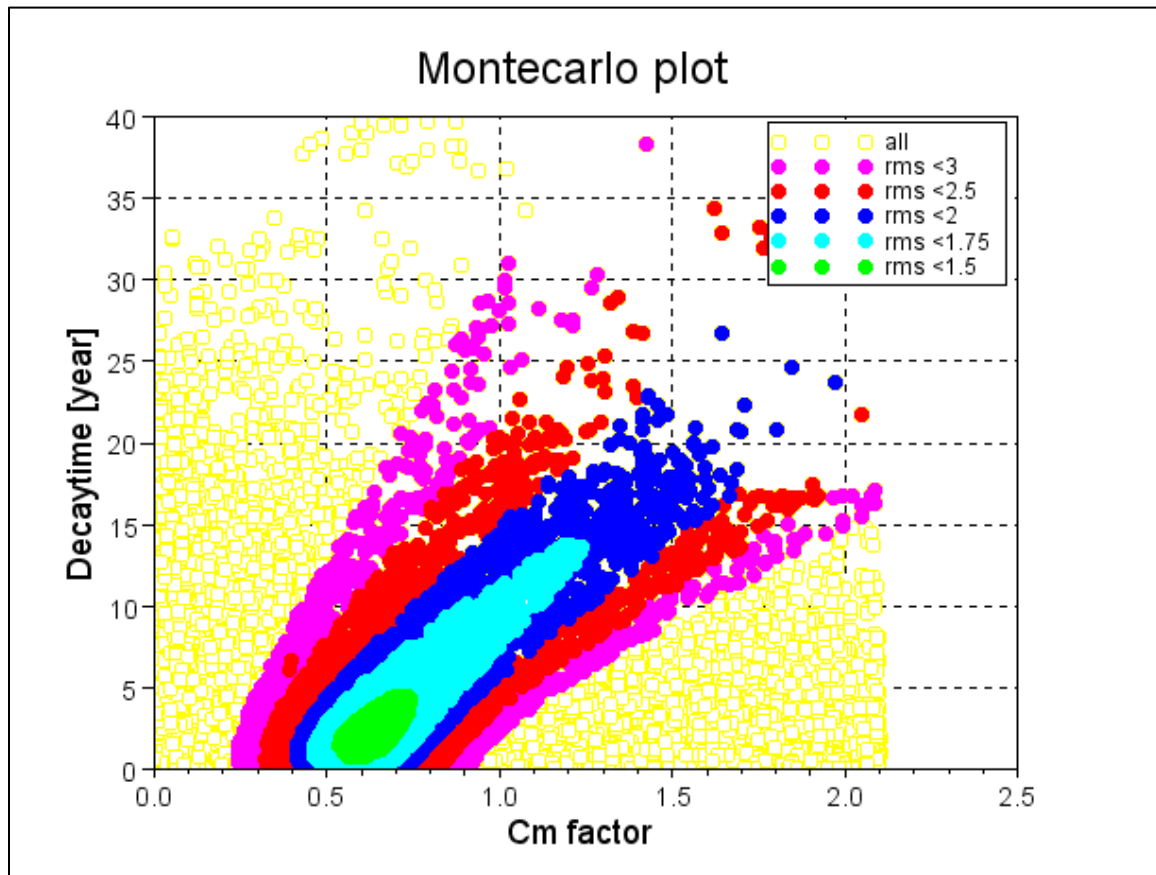


Figuur 4 Vergelijking van het bodemdalingsvolume voor de Waddenzee velden in de beide kombergingen. Het volume is berekend met de numerieke (Geomec) en met het analytische (Geertsma en Van Opstal) methode voor het basisscenario.

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 parameter variatie worden geconfronteerd met de resultaten van 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 voor het time-decay model is te zien in Figuur 5. Hierbij is het hoge bodemdalingsscenario als uitgangspunt gekozen om later het maximum scenario te bepalen.

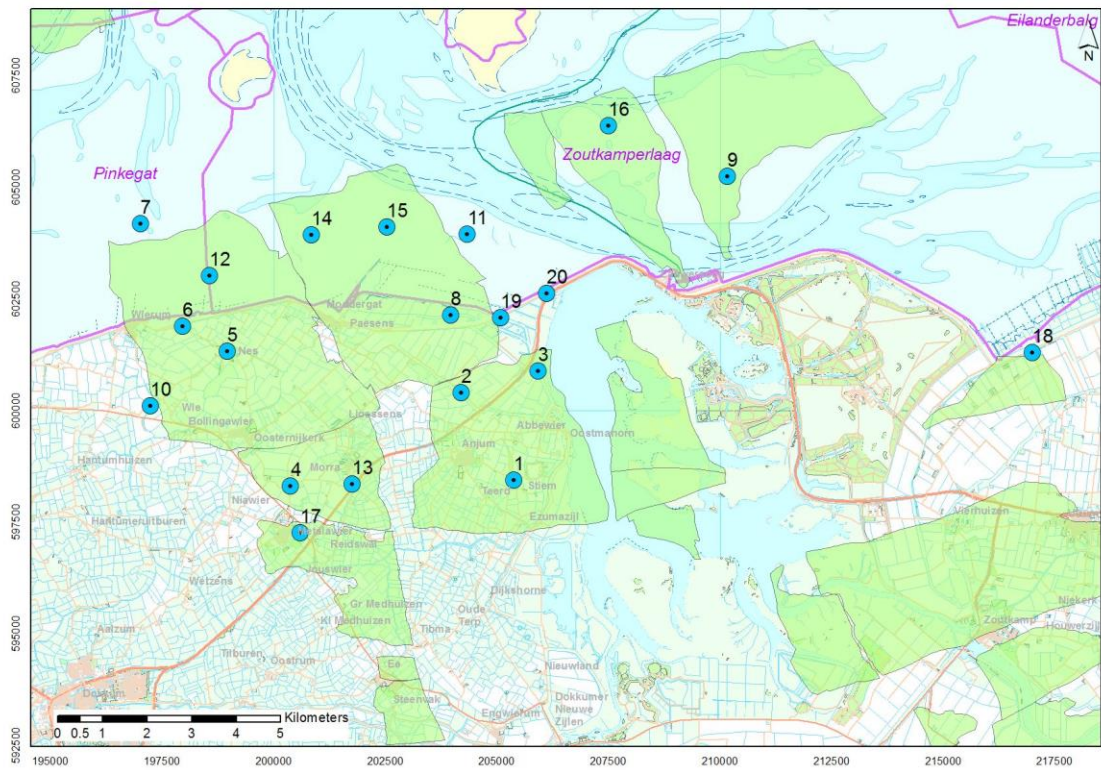
De Monte Carlo analyse wordt alleen gedaan voor de Wadden voorkomens en in alle analyses wordt aangenomen dat de C_m afhankelijk is van de porositeit. Deze afhankelijkheid volgt uit een polynome trend lijn door de datapunten (C_m bij een gegeven porositeit) van de laboratoriumexperimenten. In de parameter variatiestudie is gekozen om deze polynoom te variëren door middel van 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 van het gesteente 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 Cm waarden die volgen uit gesteentekernexperimenten. Daarom is in het basis scenario gekozen voor een time decay constante van 3 jaar.

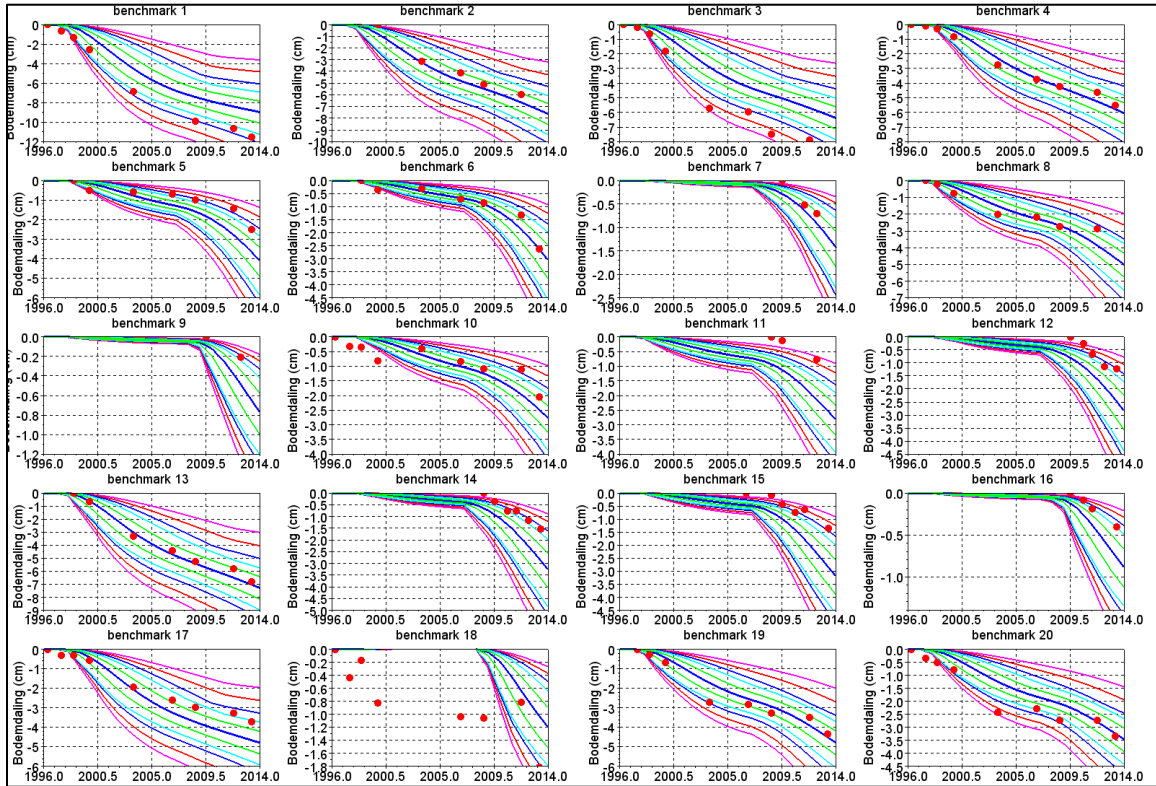


Figuur 5, RMS versus Cm factor en Time decay constante voor het hoge scenario, de groene punten geven de beste passing met de metingen aan (RMS < 1,5).

De passing van de Monte Carlo resultaten met de gemeten bodemdaling voor een 20-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 20 peilmerken zijn in Figuur 6 te zien.

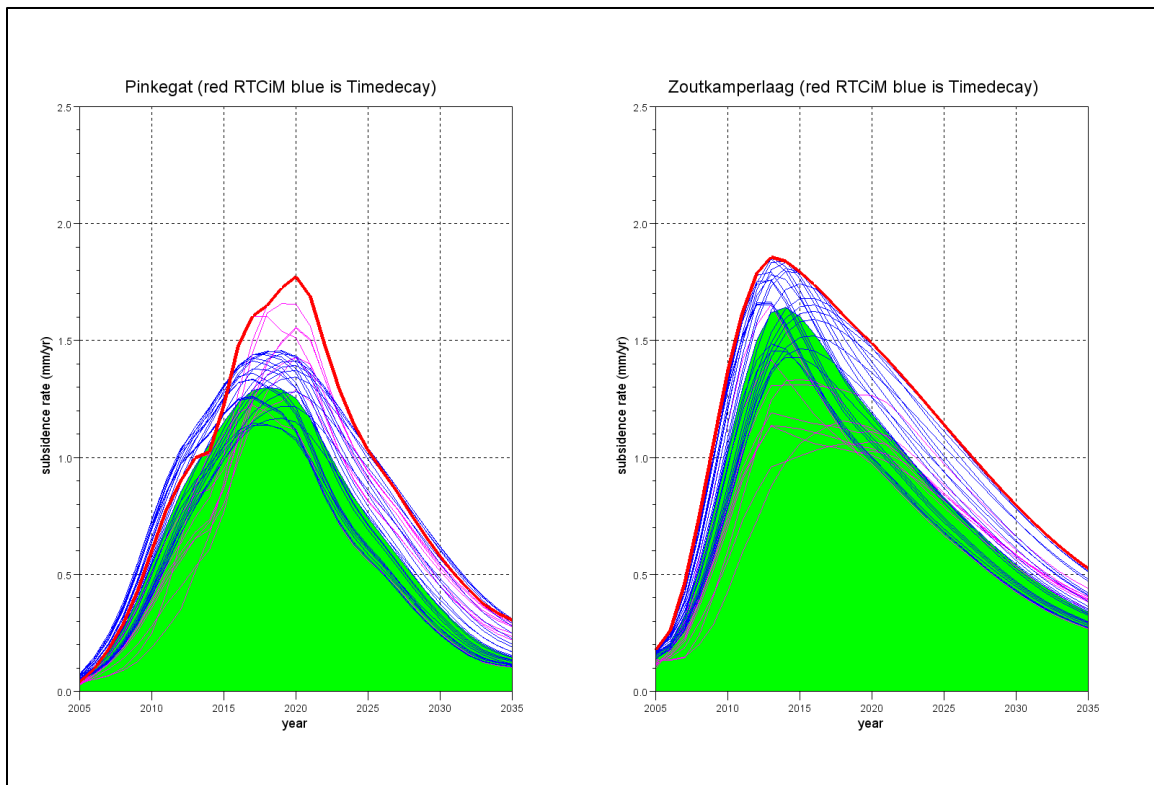


Figuur 6 Peilmerk locaties die geselecteerd zijn voor de vergelijking met de Monte Carlo uitkomsten (Figuur 7).



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 Cm factor en time decay met een RMS < 1,5 (groen 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 RTCiM model. De resultaten voor de bodemdalingssnelheid berekend met het RTCiM model zijn samen 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 RTCiM model geven in de beginperiode voor Pinkegat een iets hoger maximum dan het time decay model. Voor de definitie van het maximum scenario is om deze reden gekozen voor het RTCiM model, waarbij de boven- en ondergrens van de magenta en blauwe "lijnenwolk" gebruikt zijn, aangegeven in Figuur 8 met de rode dikke lijn. Voor het kombergingsgebied Zoutkamperlaag blijkt het Timedecay model de hoogste bodemdalingssnelheid te geven, daarom is voor het max scenario voor Zoutkamperlaag het Timedecay model gebruikt voor berekening van het max scenario.



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 (RTCiM) 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 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 bodemdalingsscenario, een hoog en laag scenario gedefinieerd op basis van verschillende dynamische realisaties. 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.

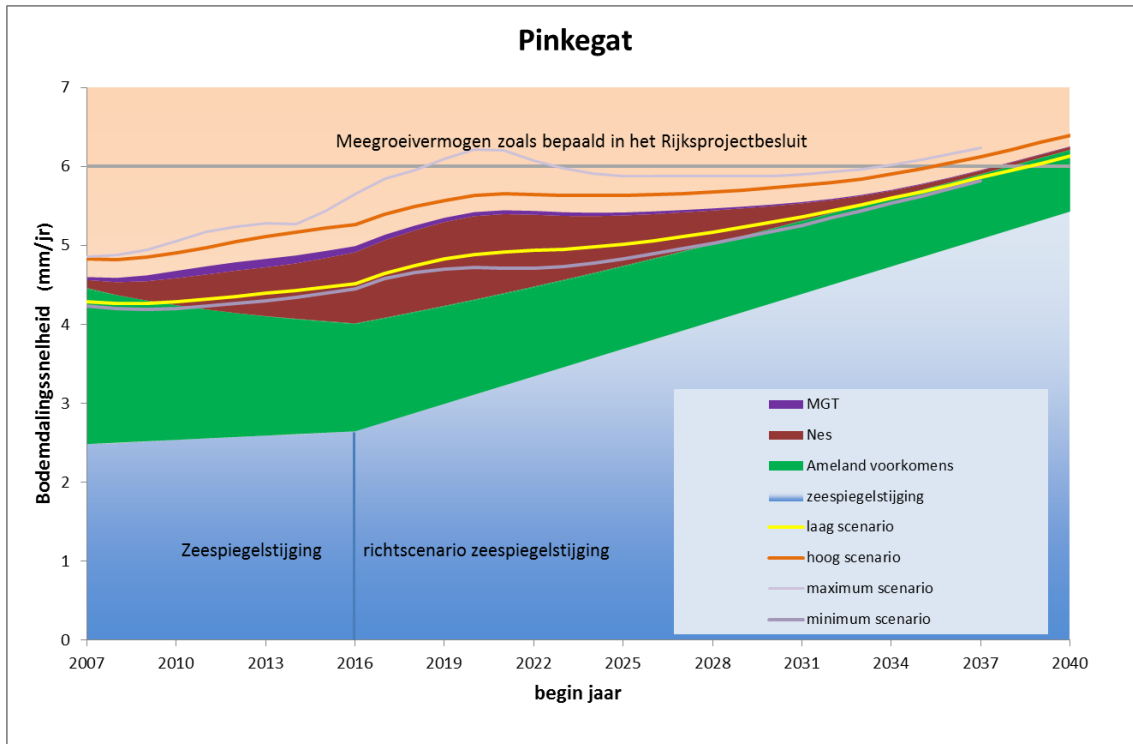
2.4. Berekenen volume en gemiddelde daling (stap 4)

Bepaling volume en gemiddelde daling

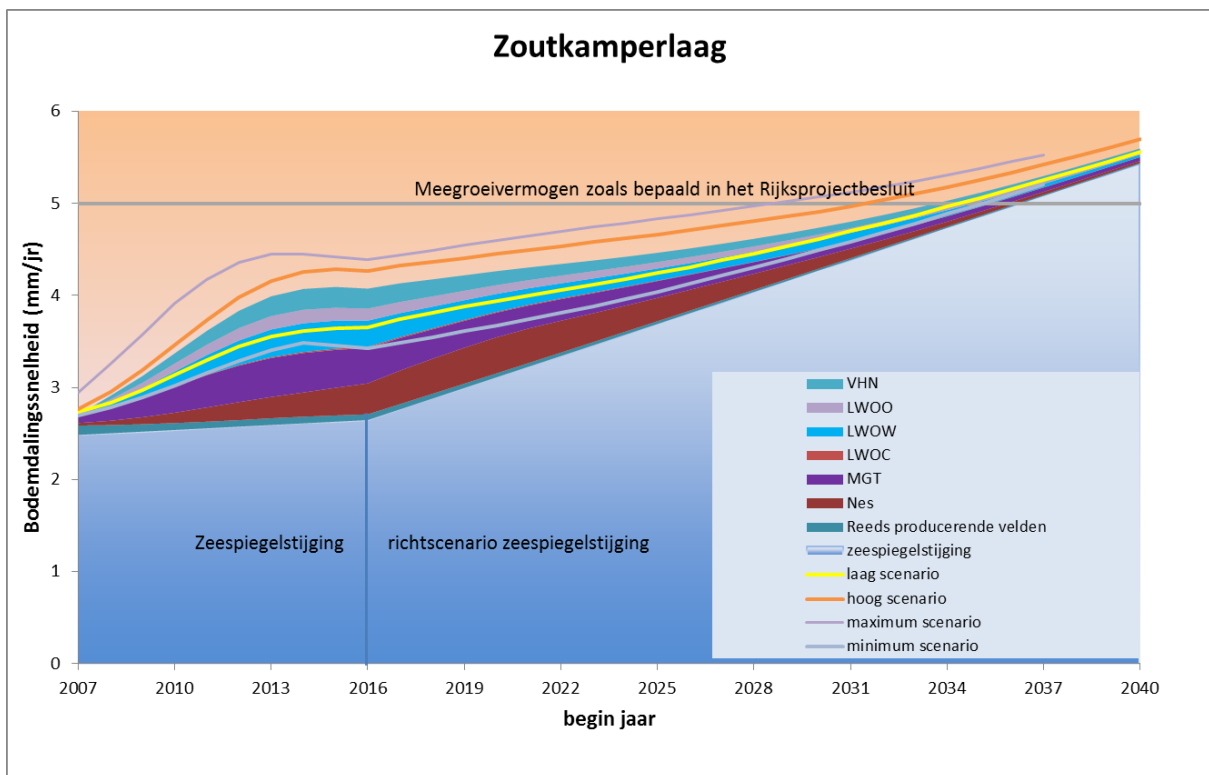
Met behulp van de gekalibreerde geomechanische modellen zijn zowel het reeds opgetreden dalingsvolume in de betreffende kombergingsgebieden als de nog in de toekomst te verwachten jaarlijkse toename bepaald. Door de jaarlijkse volumetoename te delen door het kombergingsoppervlak wordt de gemiddelde bodemdalingssnelheid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

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 2-6 t/m Tabel 2-9).

Bodemdalingsvolume voor bepaling belasting rapportagejaar 2014 met onzekerheid

Tabel 2-6 en Tabel 2-7 tonen de door gaswinning veroorzaakte bodemdalingssnelheden met bijbehorende onzekerheid per voorkomen voor de jaren J-3 t/m J+2 waarbij J-1 het rapportagejaar (2014) is. Voor de volledigheid zijn ook de resultaten voor het jaar 2005 tot en met 2017 getoond. Anjum heeft een verwaarloosbaar effect op de belasting in Pinkegat. 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 2-6).

De volgende afkortingen voor de voorkomens zijn gebruikt in de tabellen:

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

Tabel 2-6 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.

Pinkegat			
Jaar	Anjum/Ameland voorkomens	NES	MGT
	volume(onzekerheid)	volume(onzekerheid)	volume(onzekerheid)
2005	128 (110 - 142)		
2006	121 (105 - 135)		
2007	111 (94 - 124)	6 (5 - 6)	3 (3 - 3)
2008	104 (87 - 117)	12 (10 - 12)	5 (4 - 5)
2009	100 (83 - 113)	17 (13 - 17)	5 (5 - 6)
2010	97 (80 - 109)	22 (17 - 24)	6 (5 - 7)
2011	94 (77 - 105)	29 (22 - 32)	7 (5 - 8)
2012	90 (75 - 102)	36 (26 - 40)	7 (5 - 8)
2013	87 (72 - 98)	42 (31 - 47)	6 (5 - 8)
2014	84 (70 - 95)	47 (34 - 53)	6 (4 - 7)
2015	82 (68 - 92)	46 (37 - 53)	5 (4 - 6)
2016	79 (65 - 89)	51 (42 - 58)	4 (2 - 5)
2017	76 (63 - 86)	64 (49 - 68)	3 (1 - 4)

Tabel 2-7 Jaarlijks bodemdalingenvolume 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.

Zoutkamperlaag							
Jaar	Anjum voorkomens	NES	MGT	LWO-C	LWO-W	LWO-O	VHZ
2005	19 (19 - 19)						
2006	17 (17 - 17)						
2007	14 (14 - 14)	3 (2 - 3)	12 (12 - 12)				
2008	11 (8 - 13)	8 (6 - 8)	27 (25 - 29)		2 (1 - 2)	2 (2 - 2)	3 (2 - 6)
2009	8 (3 - 10)	12 (9 - 13)	38 (34 - 44)		14 (10 - 14)	10 (8 - 11)	11 (7 - 14)
2010	10 (5 - 12)	18 (13 - 19)	51 (44 - 61)		31 (20 - 31)	19 (12 - 20)	22 (12 - 23)
2011	12 (8 - 13)	26 (18 - 28)	62 (53 - 75)		43 (27 - 45)	22 (14 - 24)	29 (13 - 30)
2012	12 (10 - 13)	33 (23 - 36)	67 (57 - 81)	1 (1 - 1)	51 (30 - 54)	23 (14 - 25)	34 (14 - 34)
2013	11 (11 - 12)	40 (29 - 44)	68 (57 - 81)	2 (2 - 3)	51 (30 - 56)	23 (13 - 25)	36 (15 - 37)
2014	10 (10 - 11)	45 (32 - 50)	67 (57 - 79)	3 (3 - 4)	48 (28 - 54)	22 (13 - 24)	36 (15 - 39)
2015	10 (10 - 10)	44 (35 - 51)	62 (52 - 72)	2 (2 - 4)	44 (27 - 51)	21 (12 - 23)	35 (14 - 39)
2016	9 (9 - 9)	47 (42 - 53)	55 (46 - 69)	2 (2 - 3)	41 (24 - 47)	19 (11 - 22)	32 (13 - 32)
2017	8 (8 - 8)	58 (51 - 61)	47 (40 - 61)	1 (1 - 3)	36 (22 - 43)	17 (10 - 20)	29 (12 - 29)

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

Onderstaande Tabel 2-8 geeft de bodemdalingssnelheid S voor het rapportagejaar 20144 en belasting B op 1-1-20155. 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).

Tabel 2-8 Bodemdalingssnelheid en belasting (mm/jr) met onzekerheid (bandbreedte) per kombergingsgebied in het rapportagejaar 2014.

Zoutkamperlaag		Pinkegat	
S (laag-hoog)	B (laag-hoog)	S (laag-hoog)	B (laag-hoog)
1,57(1,07 - 1,76)	1,47(1,02 - 1,66)	2,29(1,81 - 2,58)	2,27(1,82 - 2,55)

Actuele en voorspelde bodemdalingssnelheid en belasting

Tabel 2-9 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 $B(J) = (S(J-3) + S(J-2) + \dots + S(J+2)) / 6$.

De metingen in 2014 geven aanleiding voor aanpassingen in drukdaling van het aquifer ten zuiden van het Ameland gasveld. Hierdoor neemt de belasting en bodemdalingssnelheid van Pinkegat toe waarmee de snelheid S en belasting B in Pinkegat buiten de bandbreedte van de vorige M&R cycli liggen.

Tabel 2-9 bodemdalingssnelheid S met bijbehorende onzekerheidsbereik bepaald door het lage en hoge scenario, belasting B en gebruiksruimte G voor de kombergingsgebieden 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.

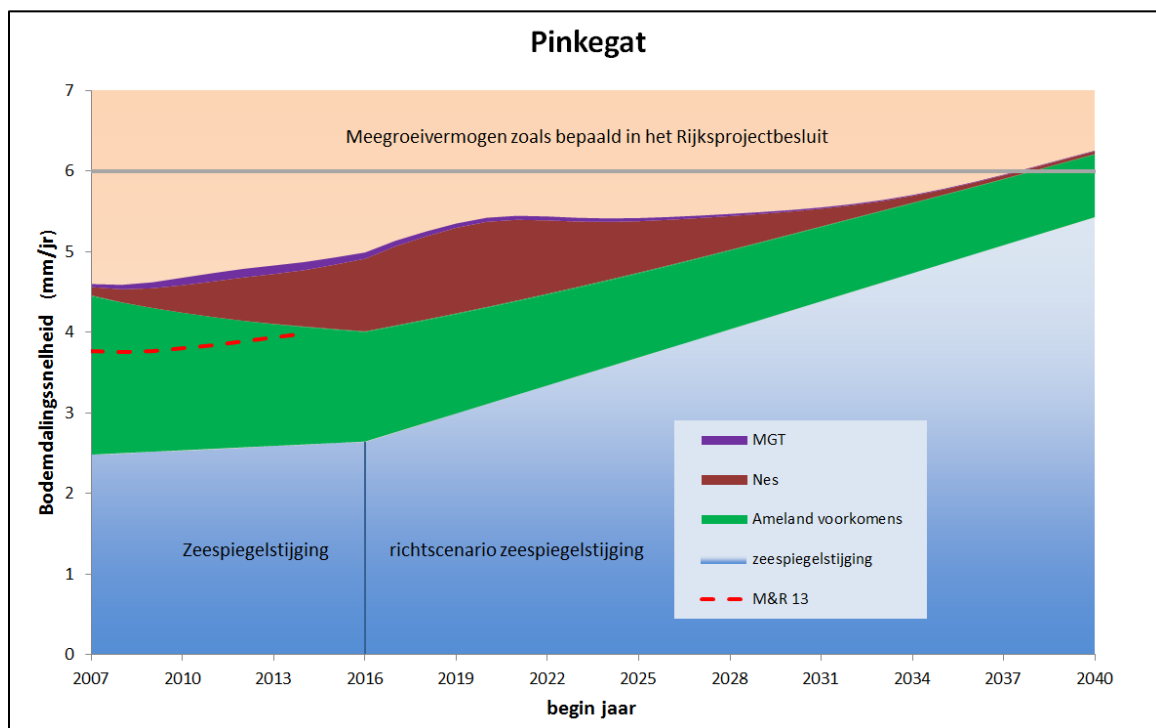
	Zoutkamperlaag			Pinkegat		
Jaar	S (laag-hoog)	B (laag-hoog)	G	S (laag-hoog)	B (laag-hoog)	G
2004	0,15(0,15 - 0,15)		2,57	2,24(1,94 - 2,48)		3,57
2005	0,13(0,13 - 0,13)		2,55	2,13(1,84 - 2,36)		3,55
2006	0,12(0,12 - 0,12)		2,53	2,09(1,83 - 2,31)		3,53
2007	0,20(0,20 - 0,21)	0,27(0,25 - 0,28)	2,52	1,99(1,70 - 2,21)	2,08(1,78 - 2,31)	3,52
2008	0,36(0,30 - 0,40)	0,41(0,34 - 0,45)	2,50	2,01(1,69 - 2,24)	2,06(1,74 - 2,29)	3,50
2009	0,63(0,48 - 0,72)	0,61(0,46 - 0,67)	2,48	2,04(1,69 - 2,27)	2,06(1,73 - 2,30)	3,48
2010	1,01(0,71 - 1,13)	0,83(0,60 - 0,93)	2,46	2,09(1,71 - 2,33)	2,09(1,72 - 2,33)	3,46
2011	1,31(0,90 - 1,45)	1,06(0,74 - 1,18)	2,44	2,16(1,74 - 2,42)	2,13(1,73 - 2,38)	3,44
2012	1,49(1,01 - 1,65)	1,26(0,87 - 1,41)	2,43	2,21(1,77 - 2,49)	2,18(1,75 - 2,44)	3,43
2013	1,56(1,06 - 1,74)	1,40(0,96 - 1,57)	2,41	2,26(1,80 - 2,54)	2,20(1,77 - 2,48)	3,41
2014	1,57(1,07 - 1,76)	1,46(1,01 - 1,65)	2,39	2,29(1,81 - 2,58)	2,23(1,79 - 2,52)	3,39
2015	1,47(1,03 - 1,68)	1,47(1,02 - 1,66)	2,37	2,21(1,80 - 2,53)	2,27(1,82 - 2,55)	3,37
2016	1,38(0,99 - 1,59)	1,43(1,01 - 1,62)	2,35	2,24(1,83 - 2,54)	2,31(1,84 - 2,58)	3,35
2017	1,33(0,97 - 1,52)	1,37(0,98 - 1,56)	2,24	2,39(1,90 - 2,63)	2,34(1,85 - 2,59)	3,24
2018	1,28(0,93 - 1,45)	1,30(0,94 - 1,49)	2,12	2,48(1,91 - 2,67)	2,34(1,84 - 2,58)	3,12
2019	1,21(0,88 - 1,38)	1,23(0,89 - 1,41)	2,01	2,43(1,86 - 2,61)	2,32(1,81 - 2,54)	3,01
2020	1,12(0,81 - 1,31)	1,16(0,84 - 1,34)	1,89	2,28(1,74 - 2,48)	2,28(1,75 - 2,49)	2,89
2021	1,04(0,74 - 1,23)	1,08(0,78 - 1,27)	1,77	2,12(1,61 - 2,33)	2,19(1,67 - 2,39)	2,77
2022	0,96(0,68 - 1,16)	1,00(0,72 - 1,20)	1,66	1,98(1,50 - 2,19)	2,07(1,57 - 2,27)	2,66
2023	0,88(0,62 - 1,09)	0,92(0,66 - 1,12)	1,54	1,85(1,41 - 2,07)	1,94(1,47 - 2,15)	2,54
2024	0,81(0,57 - 1,01)	0,85(0,60 - 1,05)	1,43	1,74(1,33 - 1,96)	1,81(1,38 - 2,03)	2,43
2025	0,73(0,52 - 0,94)	0,77(0,55 - 0,98)	1,31	1,64(1,26 - 1,86)	1,70(1,30 - 1,91)	2,31
2026	0,67(0,48 - 0,87)	0,71(0,50 - 0,90)	1,19	1,55(1,19 - 1,76)	1,60(1,23 - 1,81)	2,19
2027	0,60(0,44 - 0,80)	0,64(0,46 - 0,83)	1,08	1,46(1,13 - 1,66)	1,50(1,17 - 1,71)	2,08
2028	0,54(0,40 - 0,73)	0,58(0,42 - 0,77)	0,96	1,36(1,08 - 1,57)	1,41(1,11 - 1,62)	1,96
2029	0,49(0,36 - 0,67)	0,52(0,38 - 0,70)	0,85	1,27(1,03 - 1,47)	1,32(1,06 - 1,52)	1,85
2030	0,43(0,32 - 0,61)	0,47(0,34 - 0,64)	0,73	1,17(0,98 - 1,38)	1,23(1,01 - 1,43)	1,73
2031	0,38(0,29 - 0,55)	0,42(0,31 - 0,59)	0,61	1,09(0,93 - 1,30)	1,14(0,96 - 1,35)	1,61
2032	0,34(0,26 - 0,50)	0,37(0,28 - 0,53)	0,50	1,02(0,89 - 1,23)	1,07(0,92 - 1,27)	1,50
2033	0,30(0,24 - 0,45)	0,33(0,25 - 0,48)	0,38	0,96(0,86 - 1,16)	1,01(0,88 - 1,21)	1,38
2034	0,27(0,21 - 0,41)	0,29(0,23 - 0,44)	0,27	0,91(0,83 - 1,11)	0,95(0,85 - 1,15)	1,27
2035	0,24(0,19 - 0,38)	0,26(0,21 - 0,40)	0,15	0,88(0,80 - 1,07)	0,91(0,82 - 1,10)	1,15
2036	0,22(0,18 - 0,35)	0,24(0,19 - 0,37)	0,03	0,86(0,77 - 1,03)	0,88(0,79 - 1,06)	1,03
2037	0,20(0,16 - 0,32)	0,21(0,17 - 0,34)	0,00	0,85(0,75 - 1,01)	0,86(0,77 - 1,03)	0,92
2038	0,18(0,15 - 0,29)	0,20(0,15 - 0,31)	0,00	0,83(0,73 - 0,98)	0,84(0,75 - 1,00)	0,80
2039	0,17(0,13 - 0,27)	0,18(0,14 - 0,28)	0,00	0,82(0,72 - 0,96)	0,83(0,73 - 0,97)	0,69
2040	0,16(0,12 - 0,25)	0,17(0,13 - 0,26)	0,00	0,81(0,70 - 0,94)	0,81(0,71 - 0,95)	0,57
2041	0,15(0,11 - 0,23)	0,15(0,12 - 0,24)	0,00	0,79(0,68 - 0,92)	0,79(0,69 - 0,92)	0,45
2042	0,14(0,10 - 0,22)	0,15(0,11 - 0,23)	0,00	0,77(0,66 - 0,89)	0,77(0,66 - 0,89)	0,34

2.5. Indien nodig aanpassen productie (stap 5)

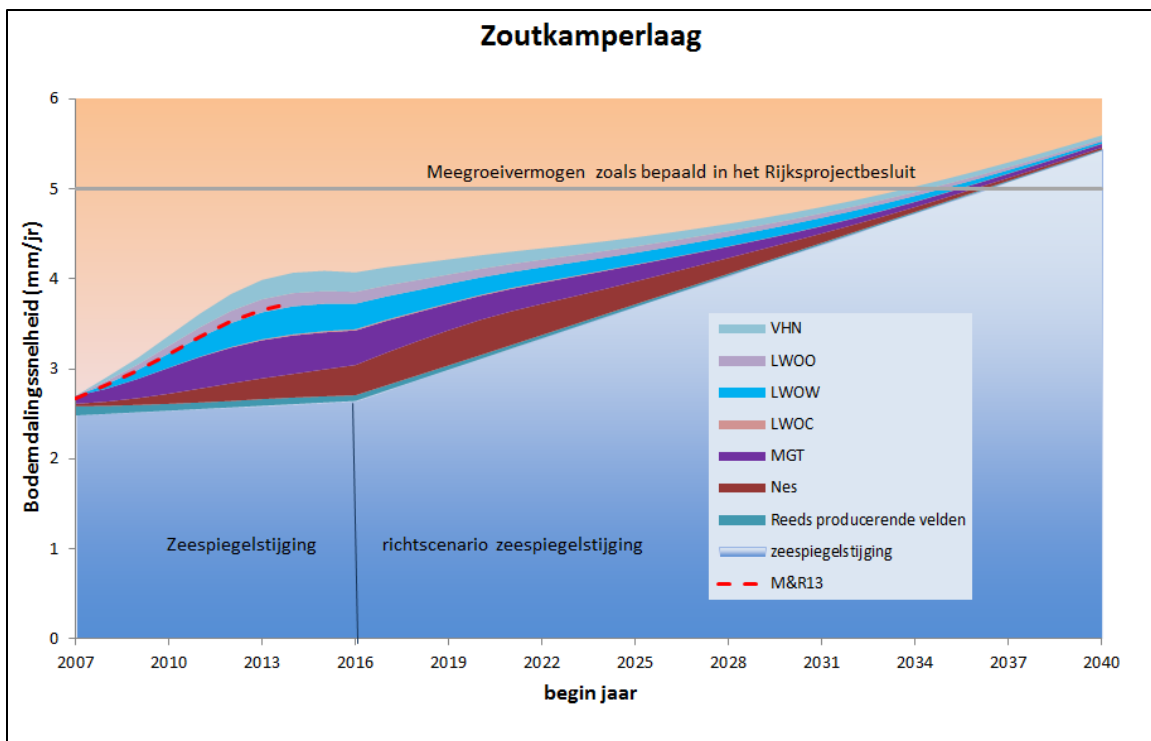
Uitgaande van het basisscenario en de productie volgens Referentie 1, volgen waarden voor de bodemdalingssnelheid S en de resulterende belasting B die niet leiden tot overschrijding van de gebruiksruimte eerder dan het jaar 2034 (zie Tabel 2-9). In ieder geval zal de gebruiksruimte niet voor 1-1-2016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

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 voor 2034. In de figuren is tevens de belasting en zoals gerapporteerd in de Meet- en regelcyclus rapportage over 2013 (gerapporteerd in 2014) voor de jaren 2007 t/m 2014 weergegeven.



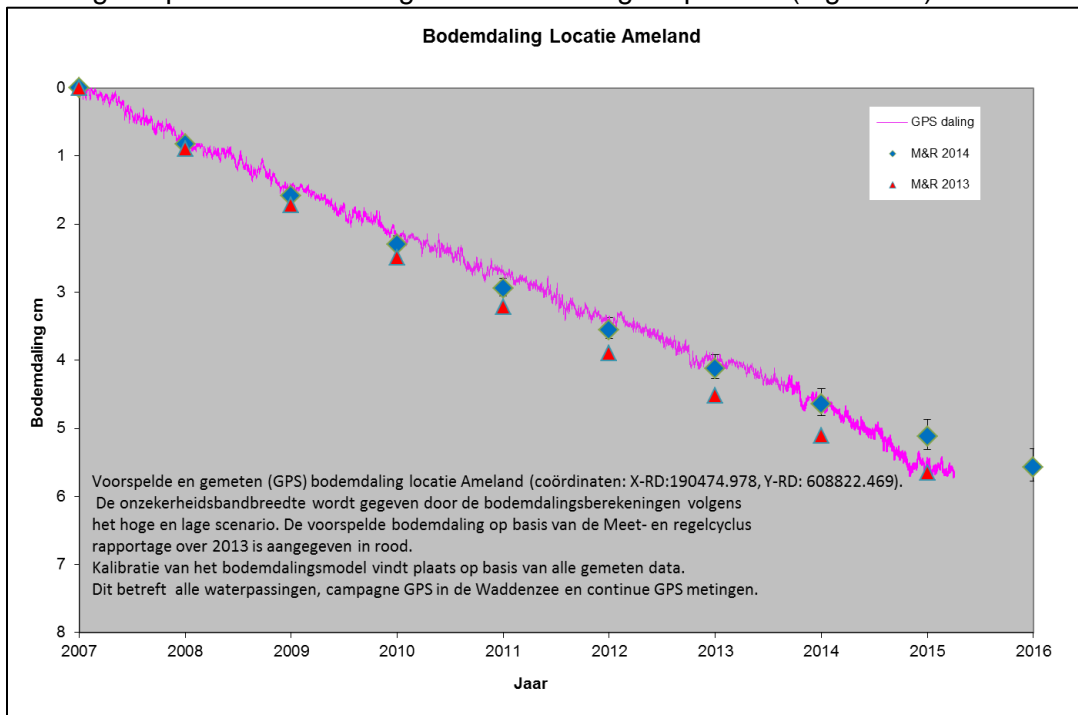
Figuur 11 Voorspelde belasting inclusief Zeespiegelstijging voor het kombergingsgebied Pinkegat. Voor de modellering van de bodemdaling tengevolge van de gaswinning van Ameland is het meest recente geomechanische model toegepast. De rood gestreepte lijn geeft berekende belasting aan zoals gerapporteerd in de Meet- en regelcyclusrapportage over 2013 (gerapporteerd in 2014).



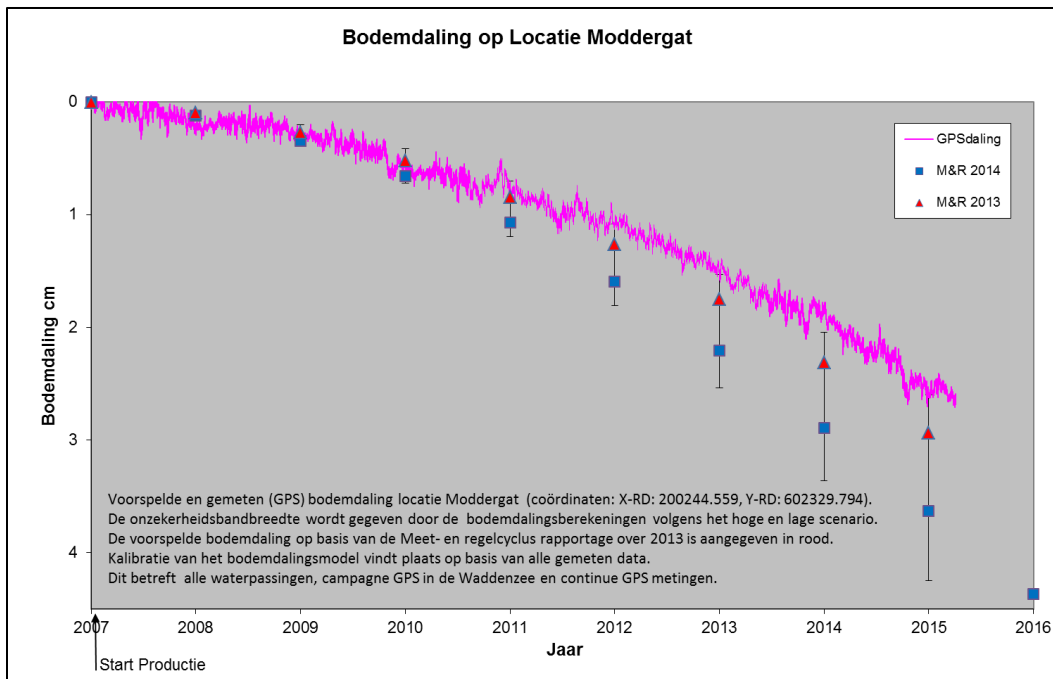
Figuur 12 Voorspelde belasting inclusief Zeespiegelstijging + autonome daling voor het kombergingsgebied Zoutkamperlaag. De rood gestreepte lijn geeft berekende belasting aan zoals gerapporteerd in de Meet- en regelcyclusrapportage over 2013 (gerapporteerd in 2014).

Bodemdaling GPS locaties op Moddergat en Ameland

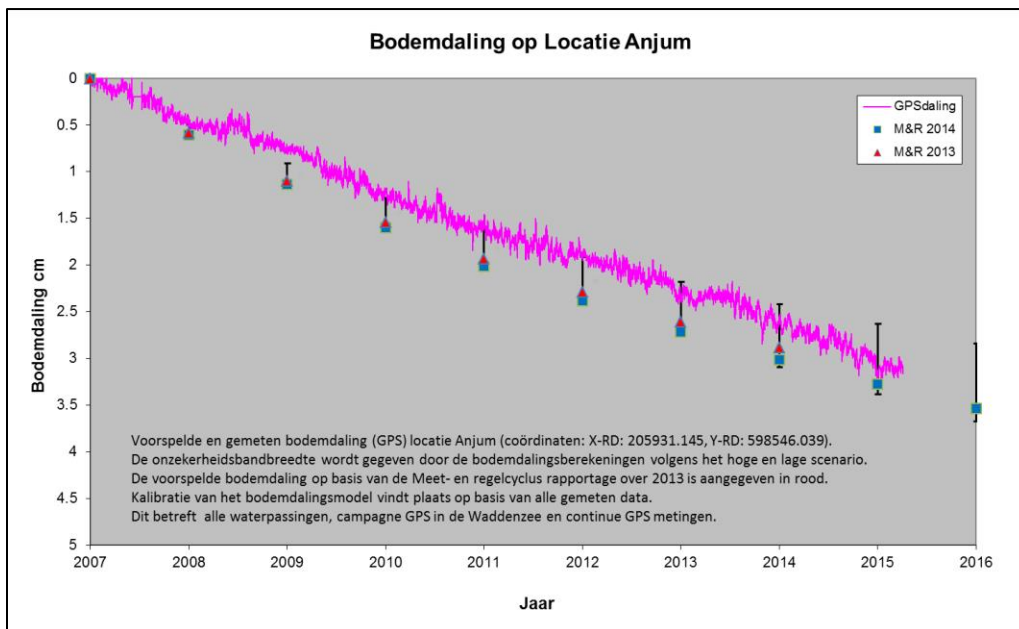
Figuur 13, Figuur 14 en Figuur 15 geven de geprognosticeerde daling tot en met 2016 plus de gemeten daling vanaf begin 2007 op de GPS locaties grafisch weer. Afwijkingen tussen het model en het GPS punt worden voornamelijk veroorzaakt door de keuze om de kalibratie te optimaliseren voor het minimale verschil op basis van alle meetpunten. Volgens het M&R protocol (**Referentie 11**) 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. De GPS snelheid voor 2014 is hoger dan gerapporteerd in de M&R 2013. In de laatste maanden lijkt deze snelheid weer af te nemen (Figuur 13). De waterpassing van 2014 op het eiland Ameland toont aan dat het model goed past met de metingen over een langere periode (Figuur 17).



Figuur 13 Voorspelde en gemeten (GPS) bodemdaling locatie Ameland (coördinaten: X-RD:190474.978, Y-RD: 608822.469). De onzekerheidsbandbreedte wordt gegeven door de bodemdalingberekeningen volgens het hoge en lage scenario. De voorspelde bodemdaling op basis van de Meet- en regelcyclus rapportage over 2013 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 2013 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 2013 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 2014 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 2014 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=61252138&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=61251921&objAction=browse&sort=name	P.18

4. Conclusies

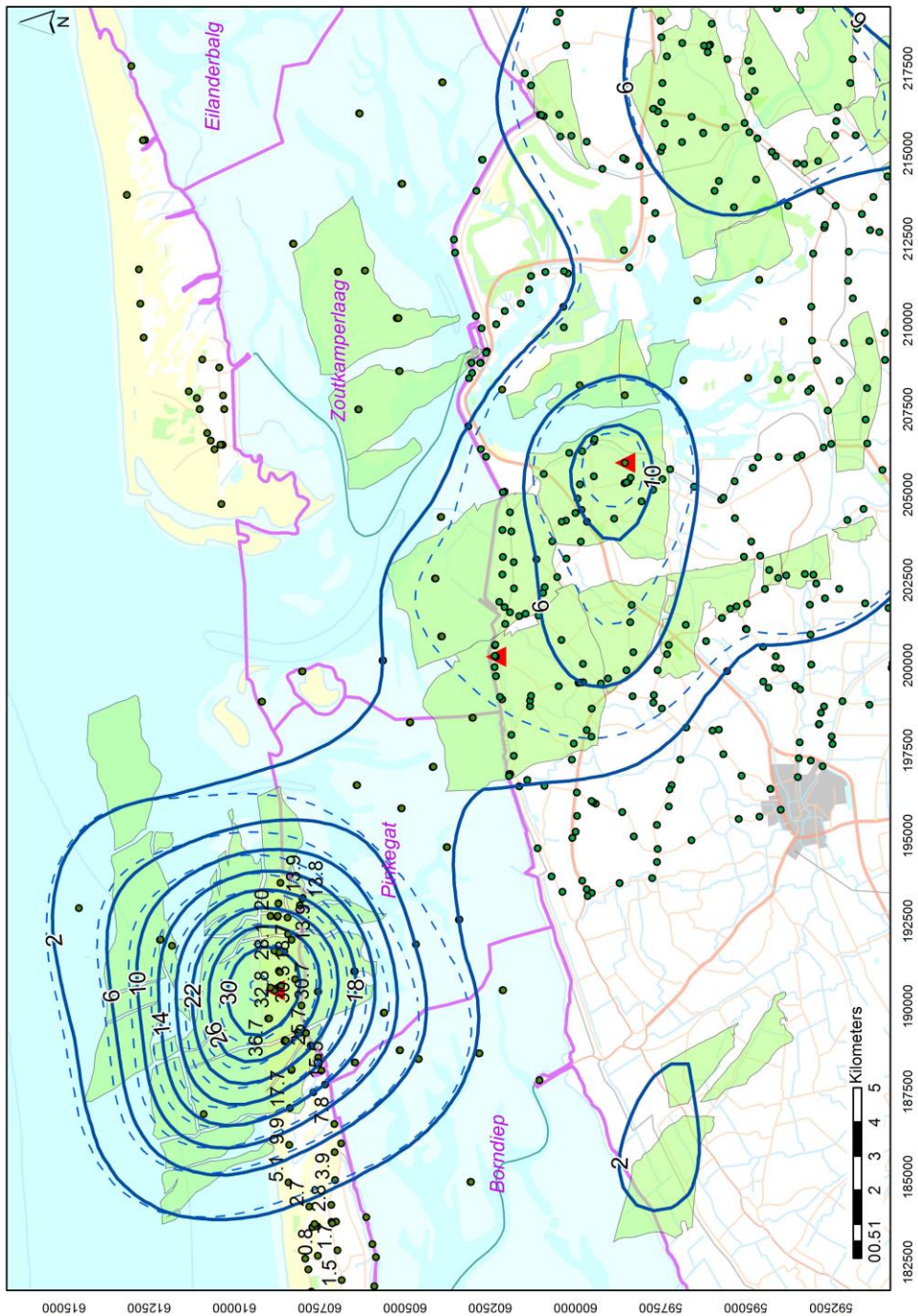
- De beschikbare modellen voor de voorkomens onder en rondom de Waddenzee zijn grondig geëvalueerd en gekalibreerd met de beschikbare metingen. De resultaten van metingen en modellen komen goed met elkaar overeen
- Op basis van het meetplan Waddenzee zijn in 2014 GPS metingen in de Waddenzee uitgevoerd op 18 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 2014 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 gasproductie 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 13 .
- 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.
- Bij het opstellen van de realisaties van de dynamische reservoir modellen voor Anjum en de Wadden voorkomens is de activiteit van de aquifer (het watervoerend pakket) gevarieerd omdat uit de vorige M&R (2013) bleek dat deze variatie veruit het meeste effect had op de bodemdaling in de kombergingsgebieden. Bij één realisatie wordt ervan uitgegaan dat de aquifer niet of nauwelijks meedepleteert (door de aanwezigheid van zowel kleideeltjes die de permeabiliteit beperken als residueel gas in de aquifer dat de relatieve permeabiliteit verkleint). Bij de tweede realisatie kan de aquifer wel volledig meedepleteren.
- Voor de Ameland voorkomens is de aquifer activiteit dusdanig gevarieerd zodat deze past binnen de bandbreedte van de metingen boven het Ameland eiland en met name in de Waddenzee waar nieuwe metingen aanleiding lijken te geven dat de mobiliteit van de aquifer hoger is dan aangenomen in voorgaande rapportages van de Meet- en Regelcyclus. Deze passing heeft geleid tot een hogere bodemdalingssnelheid in Pinkegat in vergelijking met de drie voorgaande edities van de meet- en regelcyclus.
- Een combinatie van deze realisaties toegepast op verschillende voorkomens heeft geleid tot de definitie van een laag, basis en hoog bodemdalingsscenario.
- Het basis scenario geeft aan dat de gebruiksruimte in de kombergingsgebieden niet voor 2034 wordt overschreden.
- Volgens het basisscenario zal de bodemdaling de gebruiksruimte rond het jaar 2034 in Zoutkamperlaag overschrijden. Dit scenario past het best met de beschikbare metingen. In Pinkegat wordt de gebruiksruimte volgens het verwachte scenario na 2038 overschreden.

- Wanneer rekening wordt gehouden met de bovengrens in de geomechanische onzekerheid bij het hoge drukdalingsscenario overschrijdt de bodemdaling de gebruiksruimte rond het jaar 2029 in Zoutkamperlaag en rond het jaar 2019 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.
- De verandering t.o.v. de M&R 2013 in Pinkegat wordt met name gestuurd door de geobserveerde bodemdaling tussen Nes en Ameland in 2014 en de geplande continuering van de productie uit de sinds 2012 afgesloten lagen in het Nes voorkomen.
- De meet- en regelcyclus stuurt op basis van de verwachtingswaarde voor de belasting uitgaande van het basisscenario. Aangezien de bodemdaling volgens het basisscenario binnen de gebruiksruimte valt (in ieder geval voor de komende 20 jaar), worden er geen maatregelen genomen om de productie bij te stellen.

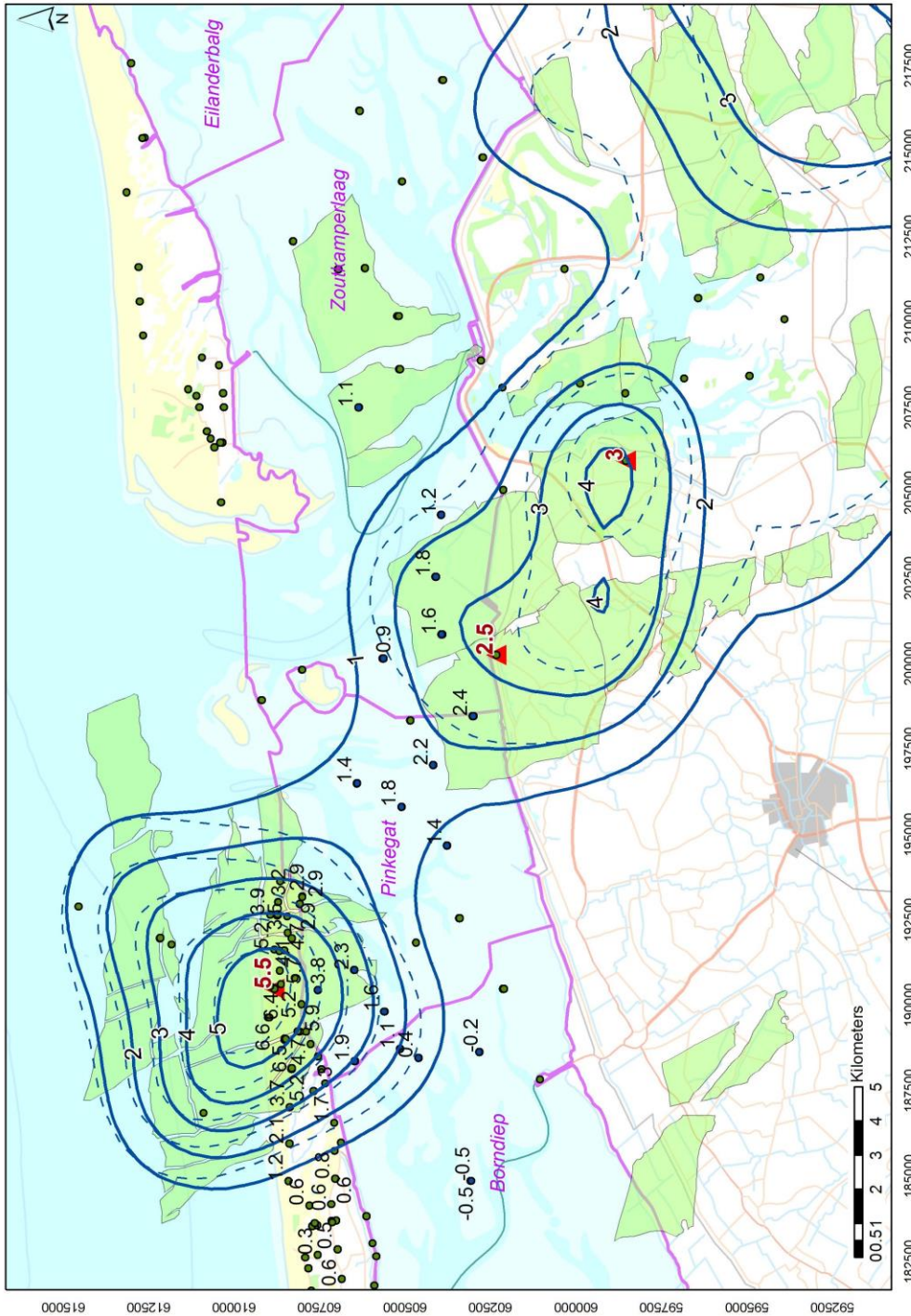
5. Referenties

- 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 2013; Rapport EP201403202106, mei 2014
- Referentie 5 GPS Survey NAM Waddenzee v. 1.19. 06-GPS B.V., 01/2015.
- Referentie 6 Check reference station coordinates NAM v.1.6. 06 GPS B.V., 06/2014.
- Referentie 7 NLGEO2004: het geoïdemodel 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 02/12/2013) Meetplan Waddenzee 2014 (EP Report No: EP201311203398)
- Referentie 11 NAM (2012) Gaswinning Moddergat, Lauwersoog, Vierhuizen: Actualisering meet- en regelprotocol n.a.v. wijziging winningsplannen 2011 NAM EP200612202112
- Referentie 12 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 13 NAM (2014) Subsurface Technical Report. Subsidence Modelling of Anjum, Ameland and Waddenzee Fields. EP Report No: EP201403205558
- Referentie 14 Meetregister bij het meetplan Waddenzee 2014 - Rapportage van de nauwkeurigheidswaterpassing Ameland 2014 . EP Report No: EP201404210659
- Referentie 15 NAM (2005) Methodology of predicting gas- and aquifer pressures in the proposed Waddenzee development area. EP Report No: EP200512206995
- Referentie 16 TNO (2013) A general framework for rate dependent compaction models for reservoir rock. TNO 2013 R11405

Bijlage 1. Gemodelleerde en gemeten bodemdaling 2014



Figuur 16 Totale bodemdaling (status 1-1-2014) door gaswinning sinds de start van de productie. In blauw de contouren van de gemodelleerde bodemdaling (gestreepte contouren geven de bodemdaling in 2013 zoals beschreven in de M&R rapportage over 2013). 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 contour 1-1-2014) 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 2013 weer zoals getoond in de M&R rapportage over 2013). De punten met label representeren de peilmerken met de gemeten hoogteverschillen vanaf 2006 (nulmeting Waddenzee) tot de laatst uitgevoerde meting in mei 2014. Rode waarden geven de daling aan van de permanente GPS stations in de periode feb. 2007- jan. 2015. Bodemdaling in cm.